



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

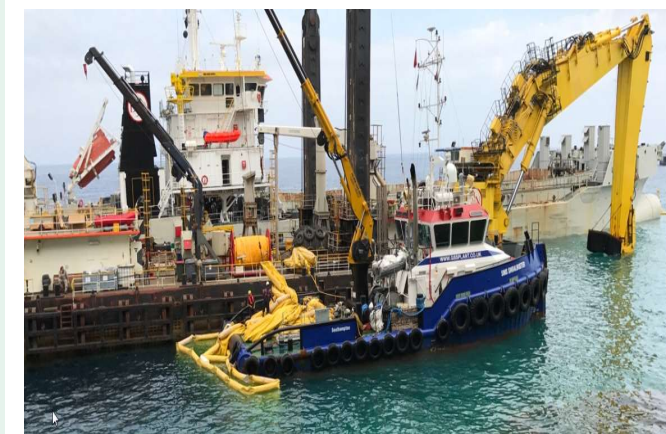


Avec la collaboration du MTES

Dragages et immersions en mer et en estuaire

Revue des bonnes pratiques
environnementales

Février 2018



Membres du comité de pilotage de l'étude

La rédaction de ce guide a été pilotée par des représentants de la Direction des Service de Transports (DGITM/DST), de la Direction de l'Eau et de la Biodiversité (DGALN/DEB), d'IFREMER, des Grands Ports Maritimes.



Guide rédigé par



Table des matières

1. Objectifs	2	3. Synthèse des impacts environnementaux des opérations de dragage.....	21
1.1 Sensibiliser les acteurs du dragage.....	2	3.1 Caractérisation des pressions du projet sur son environnement.....	21
1.2 Les « bonnes pratiques » environnementales (BPE) ..	2	3.2 Synthèse des impacts génériques sur l'environnement.....	22
1.3 Aperçu du document	3	3.3 Des enjeux et impacts différents selon les façades maritimes et les opérations de dragage	25
1.4 Méthodologie et limites de la revue des BPE.....	3		
2. Rappel des enjeux du dragage en France.....	4	4. Introduction aux Bonnes Pratiques Environnementales (BPE)	30
2.1 Les enjeux technico-économiques	4	4.1 Que sont les bonnes pratiques environnementales ?	30
2.1.1 <i>Le dragage portuaire : rappel historique.....</i>	<i>4</i>	4.2 Les BPE appliquées aux travaux de dragage.....	31
2.1.2 <i>Le dragage des ports de commerce.....</i>	<i>5</i>	4.3 Revue des BPE	31
2.1.3 <i>Les ports de plaisance</i>	<i>9</i>		
2.2 Les enjeux environnementaux	11	5. Les BPE dans la conception du projet.....	32
2.2.1 <i>Enjeux et valeurs à respecter</i>	<i>11</i>	5.1 Inscrire chaque opération de dragage dans une démarche stratégique	32
2.2.2 <i>Prise en compte dans les politiques publiques des enjeux environnementaux liés aux opérations de dragage</i>	<i>11</i>	5.2 Concevoir un projet global : de l'extraction à la gestion finale des matériaux de dragage.....	33
2.3 Les enjeux sociétaux	16	5.2.1 <i>Les techniques d'extraction.....</i>	<i>33</i>
2.3.1 <i>L'immersion des matériaux de dragage : une pratique régulièrement contestée</i>	<i>16</i>	5.2.2 <i>Modes de gestion des sédiments.....</i>	<i>34</i>
2.3.2 <i>Une réglementation plus exigeante.....</i>	<i>16</i>		
2.3.3 <i>Une vision partagée des opérations de dragage : les schémas d'orientation des opérations de dragage</i>	<i>17</i>		

5.3	L'apport de l'évaluation environnementale	36
5.3.1	<i>Un outil d'aide à la conception du projet.....</i>	<i>36</i>
5.3.2	<i>L'évolution réglementaire récente.....</i>	<i>37</i>
5.3.3	<i>Adopter la séquence « Éviter, réduire, Compenser ».....</i>	<i>38</i>
5.3.4	<i>La participation des parties prenantes</i>	<i>43</i>
5.4	Eléments de choix des modalités de dragage	46
5.4.1	<i>Caractérisation des matériaux à draguer</i>	<i>46</i>
5.4.2	<i>Définition des modes de gestion les plus appropriés pour les matériaux dragués</i>	<i>48</i>
5.5	Eléments de choix des techniques de dragage et des sites d'immersion.....	49
5.5.1	<i>Les critères de choix.....</i>	<i>49</i>
5.5.2	<i>Les enjeux environnementaux.....</i>	<i>50</i>
5.5.3	<i>Un outil d'aide à la décision : les modélisations numériques</i>	<i>54</i>
6.	Les BPE dans les appels d'offres des marchés publics de travaux de dragage	60
6.	Les BPE dans les appels d'offres des marchés publics de travaux de dragage	61
6.1	Les exigences environnementales dans les appels d'offres	61
6.1.1	<i>Le décret n° 2016-360 du 25 mars 2016 relatif aux marchés publics.....</i>	<i>61</i>
6.1.2	<i>Clauses techniques et critères d'environnement.....</i>	<i>62</i>
6.2	Exemples de prise en compte des critères environnementaux dans les dossiers de consultation	63
6.2.1	<i>DCE n°1 : Dragage d'entretien des bassins Est du port de Marseille</i>	<i>63</i>
ARTICLE 1.6 -	PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT	64
6.2.2	<i>DCE n° 2 : Dragage d'entretien de bassins à flot dans le port de Bordeaux</i>	<i>64</i>
6.2.3	<i>DCE n° 3 : Dragage d'entretien d'un port de plaisance de Loire-Atlantique</i>	<i>65</i>
6.2.4	<i>DCE n° 4 : Dragage d'entretien d'un port mixte commerce/pêche/plaisance dans le Calvados.....</i>	<i>66</i>
6.2.5	<i>DCE n°5 : Dragage du chenal d'accès d'un port de plaisance et de pêche en Vendée.....</i>	<i>67</i>
6.2.6	<i>DCE n° 6 : Dragage d'un chenal d'accès dans une lagune de l'Hérault.....</i>	<i>68</i>
7.	Les BPE dans l'exécution des travaux de dragage	70
7.1	La turbidité : impact des dragages	70
7.1.1	<i>La turbidité naturelle.....</i>	<i>70</i>
7.1.2	<i>La turbidité produite par les dragages.....</i>	<i>72</i>
7.1.3	<i>Impact des MES provoquées par les dragages et comparaison avec les valeurs naturelles.....</i>	<i>75</i>
7.2	La turbidité : exemples de BMP pour éviter ou réduire les impacts environnementaux	82
7.2.1	<i>Techniques de dragage « environnemental »</i>	<i>82</i>
7.2.2	<i>Optimisation des paramètres du dragage par l'instrumentation embarquée</i>	<i>95</i>
7.2.3	<i>Ecrans anti-turbidité</i>	<i>99</i>

7.2.4	<i>Le dragage flexible ou adaptatif.....</i>	110	7.6	Qualité de l'air.....	153
7.2.5	<i>Gestion des matériaux de dragage pour la récupération de terrains sur la mer.....</i>	112	7.6.1	<i>Dragages et émissions atmosphériques.....</i>	153
7.2.6	<i>Gestion des matériaux de dragage utilisés pour la conservation du domaine public maritime naturel.....</i>	112	7.6.2	<i>Cadre réglementaire.....</i>	155
7.2.7	<i>Gestion des opérations d'immersion des matériaux de dragage.....</i>	114	7.6.3	<i>Améliorations techniques pour diminuer la consommation de carburant et les émissions atmosphériques.....</i>	156
7.2.8	<i>Stratégie de contrôle de la turbidité pendant le chantier.....</i>	117	7.7	Activités et usages de la mer, autres enjeux.....	159
7.2.9	<i>Plans de maîtrise de la turbidité d'une opération de dragage.....</i>	121	7.7.1	<i>Pêche.....</i>	159
7.3	Biodiversité marine.....	125	7.7.2	<i>Elevages marins.....</i>	161
7.3.1	<i>Mesures pour réduire l'impact sur les habitats et les espèces associées.....</i>	125	7.7.3	<i>Baignade.....</i>	163
7.3.2	<i>Fenêtres environnementales.....</i>	134	7.7.4	<i>Prévention du transfert des macro-déchets.....</i>	164
7.4	Bruit sous-marin.....	138	7.7.5	<i>Archéologie et patrimoine sous-marin.....</i>	165
7.4.1	<i>Rappels acoustiques et impacts de la pollution sonore sur les mammifères marins.....</i>	138	8.	Les BPE dans le suivi environnemental des travaux de dragage.....	168
7.4.2	<i>Sources de bruit émis par les opérations de dragage.....</i>	138	8.1	Définition et objectifs des suivis environnementaux..	168
7.4.3	<i>Impacts des bruits de dragage sur les mammi- fères marins.....</i>	138	8.1.1	<i>Champ d'application.....</i>	168
7.4.4	<i>Bonnes pratiques environnementales pour éviter ou réduire l'impact du bruit des dragages sur les mammifères marins.....</i>	138	8.1.2	<i>Objectifs.....</i>	168
7.5	Bruit aérien.....	147	8.2	Principes méthodologiques.....	169
7.5.1	<i>Prévision des niveaux sonores par modélisation.....</i>	147	8.2.1	<i>Etape n°1 : Analyse du contexte et évaluation environnementale.....</i>	169
7.5.2	<i>Adaptation du matériel de dragage pour réduire les niveaux sonores.....</i>	150	8.2.2	<i>Etape n°2 : Définir les objectifs de suivi.....</i>	169
			8.2.3	<i>Etape n°3 : Détermination des indicateurs et de la situation de référence.....</i>	170
			8.2.4	<i>Etape n°4 : Définition des méthodes de suivi.....</i>	170
			8.2.5	<i>Etape n°5 : Analyse des données et évaluation..</i>	170
			8.2.6	<i>Etape n°6 : Evaluation du dispositif d'ensemble</i>	171
			8.2.7	<i>Etape n°7 : Définition des moyens à engager.....</i>	171

8.3	Exemple de suivi environnemental des dragages d'entretien du GPMH.....	172
8.3.1	<i>Benthos</i>	172
8.3.2	<i>Ichtyologie</i>	173
8.3.3	<i>Bathymétrie</i>	174
9.	Sélection de références bibliographiques	177
	Auteurs	183
	Gestion des matériaux de dragage utilisés pour la récupération de terrains sur la mer.....	50
	Gestion des matériaux de dragage utilisés pour la conservation du domaine public maritime	54

Liste des annexes

Annexe 1 : Plan d'Action pour le Milieu marin de la sous-région marine Mers Celtiques - Extrait du programme de mesures : Thème « Dragages et clapages »	2	Annexe 9 : Détermination de seuils de turbidité en fonction de l'intensité, la durée et la fréquence de l'évènement	56
Annexe 2 : Synthèse des effets des dragages et rejets y afférents sur les compartiments de l'environnement marin et estuarien	5	Annexe 10 : Seuils de tolérance à la turbidité : application à trois espèces méditerranéennes	60
Annexe 3 : Etude d'impact : les dix principes clefs	18	Annexe 11 : Surveillance de la turbidité et de la sédimentation pendant les chantiers de dragage	65
Annexe 4 : Opérations de dragage d'entretien du chenal de navigation et des installations portuaires de l'estuaire aval de la Seine (Haropa / Grand Port Maritime de Rouen) : démarche environnementale	22	Annexe 12 : Fenêtres environnementales : le retour d'expériences de l'USACE aux Etats Unis	74
Annexe 5 : Dragage de la passe du canal des Quilles dans l'étang de Thau : démarche environnementale	32	Annexe 13 : Le bruit sous-marin : rappels acoustiques et impacts des bruits de dragage sur les mammifères marins	78
Annexe 6 : La turbidité des eaux des différentes façades maritimes métropolitaines et ultramarines	39		
Annexe 7 : Description du fonctionnement d'une « green pipe » équipant une drague hydraulique	46		
Annexe 8 : Gestion des matériaux de dragage utilisés pour la récupération de terrains sur la mer et la conservation du domaine public maritime naturel	49		

Liste des illustrations

Figure 1 : Quantités de matières sèches draguées en 2015 dans les grands ports maritimes (en millions de tonnes)	5
Figure 2 : Quantités de matières sèches draguées (en millions de tonnes) par département métropolitain en 2015 hors grands ports maritimes de métropole	5
Figure 3 : Techniques de dragage utilisées dans l'ensemble des grands ports maritimes	6
Figure 4 : Volume moyen dragué en m ³ par port lors du dernier dragage.....	9
Figure 5 : Nature des sédiments dragués	10
Figure 6 : Qualité physico-chimique des matériaux dragués	10
Figure 7 : Destination des matériaux dragués.....	10
Figure 8 : Carte des vocations des espaces maritimes et littoraux (Source : SCoT du bassin de Thau).....	15
Figure 9 : Schéma (1/2) de synthèse des relations de causes à effets des opérations de dragage (extraction) sur les différents compartiments de l'environnement.....	23
Figure 10 : Schéma (2/2) de synthèse des relations de causes à effets des opérations de dragage (immersion) sur les différents compartiments de l'environnement.....	24
Figure 11 : Filières de gestion des sédiments (adapté de)	34
Figure 12 ci-contre : Démarche de projet intégrant les critères environnementaux.....	36
Figure 13 : Logique de la séquence ERC	38
Figure 14 : Démarche pour la caractérisation des sédiments marins (source : adapté de Environnement Canada, 1994)	47
Figure 15 : Exemple de simulation du panache de MES généré par le dragage d'une souille le long d'une digue portuaire. Cartographie prédictive des concentrations moyennes et maximales en MES pour différentes situations météo-océaniques.....	55
Figure 16 : Épaisseur des dépôts après 3 jours de rejet : impact transfrontalier	57

Figure 17 : Épaisseur cumulée des sédiments dragués après immersions et clapages	58
Figure 18 : Variations de courbes de régression turbidité / MES selon les sites d'échantillonnage	71
Figure 19 : Corrélation turbidité / MES en milieu ultramarin (Réunion), Egis	71
Figure 20 : Evolution de la concentration en MES en Seine, sur le site de Fatouville du 18/09/2010 au 3/10/2010.....	75
Figure 21 : Distribution spatiale des concentrations en MES de surface mesurée par le satellite MODIS, le 3 mars 2007 (données qualitatives) ; marée à mi-jusant, débit : 535 m ³ /s	76
Figure 22 : Distribution des taux de remise en suspension des MES par les dragues hydrauliques et mécaniques.....	77
Figure 23 : Distribution des concentrations en suspension des MES par les dragues hydrauliques et mécaniques.....	77
Figure 24 : Comparaison des concentrations en MES produites par les chantiers de dragage aux seuils létaux et sublétaux des espèces aquatiques considérées	78
Figure 25 : Comparaison des concentrations en MES liées aux dragages mécaniques dans la région de Los Angeles avec celles du bruit de fond régional et celles correspondant aux seuils létaux et sublétaux des espèces aquatiques considérées.....	79
Figure 26 : Influence d'un dragage sur la teneur en MES dans la colonne d'eau à la Réunion (source : Egis).....	81
Figure 27 : Génération de turbidité par surverse.....	83
Figure 28 : Evolution des pratiques du dragage d'entretien dans l'estuaire de la Loire (les surverses - en rose sur le graphe - sont abandonnées en 2006). Source : GPMNSN.....	83
Figure 29 : Principe de la soupape « basse turbidité » (« Green Valve ») et coupe schématique d'un puits de drague équipé d'un entonnoir de débordement muni dans sa partie inférieure, d'une soupape « basse turbidité » (« Green Valve »). Source: courtesy of Jan De Nul Dredging and Land Reclamation)	84
Figure 30 : Génération de turbidité pendant le remplissage avec surverse (à gauche) et avec une soupape « basse turbidité » en action (à droite). Source : courtesy of Jan De Nul Dredging and Land Reclamation	85

Figure 31 : Différences entre une drague hydraulique classique et une drague équipée d'une soupape "basse turbidité"	86	Figure 48 : Utilisation d'écrans anti turbidité (orange) lors de la construction d'un terre-plein (MCDC, 2008)	103
Figure 32 : Génération de turbidité avec recyclage de l'eau de surverse (« green pipe »).....	87	Figure 49 : Différents cas d'implantation d'un écran anti-turbidité pour isoler la zone à draguer	104
Figure 33 : Comparaison des différentes techniques de réduction de la surverse.....	87	Figure 50 : Positionnement d'un écran anti-turbidité au-dessus du fond pour protéger un herbier de posidonies	105
Figure 34 : Comparaison des panaches de dispersion de la turbidité selon les différentes options de remplissage.....	88	Figure 51 : Illustration de l'utilisation d'un écran de fond pour protéger une zone sensible lors de l'exécution de travaux maritimes	105
Figure 35 : Drague hydraulique à vis-d'Archimède.....	89	Figure 52 : Exemples des limites d'utilisation des écrans anti-turbidité	106
Figure 36 : Différents types de pompes hydrauliques submersibles.....	90	Figure 53 : Utilisation d'un rideau de bulles pour confiner un bassin portuaire en Finlande.....	107
Figure 37 : Détails techniques d'une benne environnementale	91	Figure 54 : Evolution des teneurs en MES à l'intérieur et à l'extérieur du bassin, séparés par un écran à bulles.....	108
Figure 38 : Comparaison de l'impact environnemental sur la turbidité entre un godet classique à gauche et une benne environnementale, à droite. De haut en bas : contact avec le fond, prélèvement, remontée. (extrait vidéo : http://www.cablearm.com/Buckets/Enviro.htm)	91	Figure 55 : Mesure de l'efficacité d'un rideau à bulles à l'entrée d'un bassin portuaire.....	109
Figure 39 : Détail de fonctionnement de la benne environnementale (de gauche à droite et de bas en haut) : évacuation de l'eau excédentaire à la descente ; prélèvement ; remontée de la benne, les volets mobiles sont fermés et évitent les pertes de sédiments ; à la sortie de l'eau, en surface.....	92	Figure 56 : Logigramme d'une démarche de dragage flexible ou adaptative (source : DEME).....	110
Figure 40 : Modélisation des sédiments remis en suspension lors de la remontée d'une benne classique à godet (source ERDC /USACE).....	93	Figure 57 : Dragage pour les installations maritimes d'une usine de GNL en Australie (source : DEME).....	111
Figure 41 : Comparaison entre des bennes ordinaires et une benne « environnementale » en fonction du flux de matériaux remis en suspension et de leur granulométrie	93	Figure 58 : Illustration de la phase de refoulement sur plage à partir d'une drague.....	113
Figure 42 : Dragues à injection d'eau <i>Le Milouin</i> (en haut) et <i>La Brotonne</i> (en bas)	94	Figure 59 : Refoulement de sable par une drague hydraulique dans des casiers de ressuyage.....	113
Figure 43 : Principe du dragage à injection d'eau (MEYER 2000) et visualisation graphique du courant de densité (DELFT-VAN OORD).....	94	Figure 60 : Adaptation du calendrier de dragage	115
Figure 44 : Déploiement d'un écran anti-turbidité par un plongeur	99	Figure 61 Modification de la localisation des sites de clapage des sédiments de dragage du port de Bayonne.....	115
Figure 45 : Nappe, flotteur, lest et grément d'un écran anti-turbidité	100	Figure 62 : Site d'immersion de Machu : organisation des bandes alternées et des casiers de la zone d'immersion pour les dix premières années d'exploitation du site... 117	
Figure 46 : Exemples de mise en œuvre d'écrans anti-turbidité au cours de travaux maritimes	100	Figure 63 : Illustration du protocole appliqué lors de l'opération de transplantation de Grandes nacres à Monaco (Photos Créocéan)	128
Figure 47 : Modélisation de l'efficacité d'un écran libre sur l'évolution d'un panache turbide, sans écran (en bas) et avec interposition d'un écran (en haut).....	102	Figure 64 : Délimitation d'une zone tampon pour protéger la population locale d'hippocampes	129

Figure 65 : Différentes méthodes d'éradication de <i>Caulerpa taxifolia</i> : découpage du substrat porteur et confinement dans un sac étanche (en haut) ; aspiration à l'aide d'un air-lift opéré par des plongeurs (milieu) ; recouvrement par des couvertures au cuivre (en bas)	130
Figure 66 : Prises accidentelles de tortues dans les opérations de dragage	132
Figure 67 : Evolution des prises de tortues dans les dragues avant et après l'équipement des élinde avec des déflecteurs (flèche jaune)	133
Figure 68 : Calendrier d'établissement de fenêtres environnementales s'appliquant à une opération de dragage en milieu lagunaire	135
Figure 69 : Méthodologie d'évaluation des impacts acoustiques et de définition d'une stratégie de gestion et de réduction adaptée. Les mesures in-situ permettent de calibrer les champs sonores (source : Quiet Oceans)	139
Figure 70 : Exemple de cartographie des risques liés à une activité de dragage par une drague aspiratrice en marche. Source : Ecocean Institut et Quiet-Oceans	139
Figure 71 : Exemple des effets acoustiques potentiels d'un dragage sur les zones fréquentées par le Grand dauphin et le cachalot, moyennes fréquences. Source : Ecocean Institut et Quiet-Oceans	141
Figure 72 : Rideaux de bulles pour atténuer le bruit sous-marin	142
Figure 73 : Exemple de schémas des zones de surveillance pour les activités de dragage, clapage et engins de navigation (source : Impact Mer)	143
Figure 74 : Exemple de schéma décisionnel des procédures de gestion des risques pour les mammifères marins (source : Impact Mer)	145
Figure 75 : Port de Southampton. Impact sonore du dragage du chenal d'accès. Isophones pendant la période diurne (ci-dessous) et nocturne (page suivante) LAeq dB (Associated British Ports ; Xodus Group)	147
Figure 76 : Simulation des niveaux de bruit pour différentes phases de chantier	149
Figure 77 : Impact environnemental du cycle de vie d'une drague THSD (CEDA, 2011)	153
Figure 78 : Variations des émissions de CO ² par m ³ de matériaux dragués, en fonction des modalités de rejet, de la distance au site de dépôt (10 à 20 milles nautiques) et de la nature du carburant	153

Figure 79 : Exemple de calcul des émissions atmosphériques produites par les navires mobilisés sur un chantier de dragage (dragues, navires de support, engins terrestres (Ramboll Environ)	154
Figure 80 : Localisation des clapages de la drague dans la zone d'immersion	159
Figure 81 : Carte des épaisseurs de dépôts après clapage dans les différents casiers de la zone d'immersion située dans le golfe de Fos	160
Figure 82 : Positionnement de la prise d'eau conchylicole par rapport au site de dragage et de confinement des matériaux dragués	161
Figure 83 : Exemple de simulation de distribution spatiale des concentrations en MES issues des travaux de dragage dans la grande rade de Cherbourg	162
Figure 84 : Station de mesures des paramètres physico-chimiques du milieu spécialement conçue pour les élevages aquacoles en mer (Nortek AS, AKVA group ASA, AquaCulture Engineering AS (SINTEF) and NortekMED AS)	163
Figure 85 : Etapes méthodologiques pour la conception d'un programme de suivi	169
Figure 86 : Illustration de l'évolution du protocole de suivi des peuplements benthiques du GPMH sur son site d'immersion et ses zones d'influence	172
Figure 87 : Illustration de l'évolution du protocole de suivi ichtyologique du GPMH sur son site d'immersion et ses zones d'influence	174
Figure 88 : Exemple de problèmes cartographiques rencontrés suite à l'interpolation entre des profils de sondage sur des reliefs marqués en zone d'influence sud	175
Figure 89 : Exemple de profils intercalaires supplémentaires sur les reliefs	175
Figure 90 : Localisation des différentes variantes étudiées par le Port de Rouen en première approche afin d'identifier des sites potentiels d'immersion et sites écartés (croix rouge)	24
Figure 91 : Synthèse des enjeux sur le secteur de Machu/Banc de Seine (GPMR, 2011)	25
Figure 92 : Localisation des sites d'immersion potentiels d'Octeville 2 et de Machu (et du site du Kannik 2, site de référence)	26
Figure 93 : Scénario 2 : Plan de clapage et morphologie du site à 10 ans	29
Figure 94 : Scénario 3 : Plan de clapage et morphologie du site à 10 ans	29
Figure 95 : Localisation de la passe du canal des Quilles et de la zone à draguer	33

Figure 96 : Zone de dragage et de dépôt adjacente	34
Figure 97 : Modalités de dépôt et de ressuyage.....	35
Figure 98 : Principe de dépôts sous forme de cordons sédimentaires	35
Figure 99 : Ecran de confinement des particules fines sur la zone de dépôt.....	35
Figure 100 : Variations saisonnières de la charge en turbidité en Guadeloupe.....	42
Figure 101 : Valeurs de turbidité (FNU) mesurées dans les masses d'eau côtières de la Martinique entre juin 2012 et juin 2013.....	44
Figure 102 : Localisation du polder et des points d'entrée du mélange et de sortie des eaux d'exhaure après décantation	50
Figure 103 : Construction de la digue d'enclôture qui délimite le casier qui sera rempli avec les sédiments dragués par refoulement hydraulique	52
Figure 104 : Remplissage du casier par refoulement hydraulique.....	53
Figure 105 : Travaux de protection du lido de Sète (tranche 1) : organisation de l'atelier de ressuyage des sables destinés à recharger la plage.....	54
Figure 106 : Schéma conceptuel (exemple) des seuils de tolérance d'un récepteur sensible (herbier marin) pour une variable environnementale (In Erftemeijer, 2016)	62
Figure 107 : Visualisation de la zone des travaux du projet d'extension en mer de la Principauté de Monaco : caméras aériennes et sous-marines de vidéosurveillance (Bouygues TP et Direction de la Communication de la Principauté)	66
Figure 108 : Suivi du travail de la drague et des panaches de turbidité par moyens aéroportés (ULM) dans le cadre des travaux de la NRL.....	66
Figure 109 : Utilisation opérationnelle d'un écran anti-turbidité dans l'étang de Berre.....	67
Figure 110 : Transect de turbidité à partir d'un atelier de dragage (à gauche).....	68
Figure 111 : en haut à droite : principe de suivi automatisé et télétransmis	68
Figure 112 : Bouée d'enregistrement et de télétransmission des paramètres physico-chimiques de l'eau.....	68
Figure 113 : Sondes optiques / granulométriques pour la mesure de la turbidité et des paramètres associés	69
Figure 114 : Travaux de protection contre la mer et de mise en valeur du lido de Frontignan. Emplacement des travaux et localisations des herbiers de posidonies.....	69

Figure 115 : Emplacement des bouées de suivi de la turbidité à Frontignan	70
Figure 116 : Evolution de la turbidité (moyennes mobiles sur 6 h) pendant les travaux, aux bouées HO /HE (en haut) et PR1 / PR2 (en bas)	70
Figure 117 : Répartitions granulométriques des particules de 0 à 2 mm et > 2 mm (en % volume) dans les sédiments piégés (source : IX Survey)	73
Figure 118 : Fenêtres environnementales et périodes recommandées pour la réalisation des travaux	75
Figure 119 : Audiogramme du Marsouin commun (Kastelein et <i>al.</i> , 2002 in OSPAR, 2009)	79
Figure 120 : Exemples d'audiogrammes de quelques mammifères marins (Johnson, 1967 ; Popov & Klishin, 1998 ; Kastelein et <i>al.</i> , 2002 ; Pacini et <i>al.</i> , 2010).....	82
Figure 121 : Schéma des niveaux d'effets du bruit sur les cétacés autour de la source.....	84
Figure 122 : Sources de bruit à bord d'une drague suceuse à désagregateur en haut) et d'une drague à benne preneuse (en bas)	86
Figure 123 : Sources de bruit à bord d'une drague suceuse à élinde (en haut) et d'une drague avec pelle rétrocaveuse (en bas)	86

Crédits photographiques

Photos pleine page :

Page de couverture : Egis
Page 2 après page de couverture : Egis (Fresque murale dans le parking souterrain de la gare Saint-Charles à Marseille)
Page 1 : Egis
Page 20 : Egis
Page 29 : GPMNSN
Page 60 : Egis
Page 69 : Egis
Page 167 : Yannis Turpin, Agence des aires marines protégées

Liste des tableaux

Tableau 1 : Evolution des quantités de matières sèches draguées en France. Entre 2007 et 2015 (source : rapports annuels d'enquête dragage du Cetmef, devenu Cerema).....	4
Tableau 2 : Principales pressions associées aux dragages et aux immersions	21
Tableau 3 : Variété des situations des dragages sur les façades maritimes métropolitaines et ultramarines.....	26
Tableau 4 : Modulation des enjeux environnementaux en fonction de la typologie des dragages (les chiffres renvoient aux cas décrits dans le tableau 3).....	28
Tableau 5 : Avantages et inconvénients du dragage mécanique.....	33
Tableau 6 : Avantages et inconvénients du dragage hydraulique	34
Tableau 7 : Principales filières de gestion des sédiments (d'après IDRA, 2013).....	35
Tableau 8 : Conditions de soumission des projets de dragage à l'examen au cas par cas ou à évaluation environnementale (catégorie 25 du tableau de l'annexe à l'article R. 122-2).....	37
Tableau 9 : Hiérarchisation des mesures compensatoires en mer (DREAL PACA, 2018).....	41
Tableau 10 : Exemples de mesures compensatoires relatives à des opérations de dragage	42
Tableau 11 : Critères à prendre en compte pour concevoir une opération de dragage : choix des techniques et des sites d'immersion	49
Tableau 12 : Enjeux potentiels du dragage et critères de choix des sites d'immersion en fonction des enjeux identifiés par thèmes de l'environnement (liste de base à adapter en fonction des caractéristiques du dragage et du milieu).....	51
Tableau 13 : Génération des volumes de particules fines remises en suspension par section de digue.....	55
Tableau 14 : Comparaison des différents sites d'immersion au large de Monaco en conditions printanières	57
Tableau 15 : Comparaison des différents sites de clapage au large de Monaco en conditions printanières	58
Tableau 16 : DCE n° 1 : Règlement de consultation : critères de jugement des offres	63
Tableau 17 : DCE n° 2 : Règlement de consultation : critères de jugement des offres	64
Tableau 18 : DCE n° 3 : Règlement de consultation : critères de jugement des offres	65
Tableau 19 : DCE n° 4 : Règlement de consultation : critères de jugement des offres	66
Tableau 20 : DCE n° 5 : Règlement de consultation : critères de jugement des offres	67
Tableau 21 : Méthodes pour estimer la corrélation entre teneurs en MES et turbidité.....	71
Tableau 22 : Mesures de la turbidité produite par des engins de dragage hydraulique.....	73
Tableau 23 : Mesures de la turbidité produite par des engins de dragage mécanique	73
Tableau 24 : Mesures de la turbidité produite par d'autres techniques de dragage.....	74
Tableau 25 : Répartition statistiques des effets létaux et sublétaux des matières en suspension sur les organismes aquatiques recensés	78
Tableau 26 : Comparaison des distributions de la turbidité naturelle aux valeurs ayant des effets sur les espèces aquatiques.....	78
Tableau 27 : Sensibilité relative des coraux suivant leur type de réponse aux stress de turbidité (mg/l) (d'après Erftemeijer <i>et al.</i> , 2012)	81
Tableau 28 : Modalités et limites d'utilisation des écrans de protection.....	102
Tableau 29 : Avantages et inconvénients comparés d'un rideau de bulles	108
Tableau 30 : Modification des modalités d'immersion des sédiments de dragage du port de Bayonne.....	116
Tableau 31 : Valeurs-seuils de la turbidité imposées par les arrêtés préfectoraux d'autorisation de travaux de quelques opérations de dragage.....	118
Tableau 32 : Exemple de mesures préventives à inscrire dans le PMT pour l'exécution du transport et de l'immersion des matériaux de dragage	121
Tableau 33 : Exemple de mesures préventives à inscrire dans le PMT pour le dragage (extraction)	122
Tableau 34 : Différents types de suivi pour la surveillance de la turbidité et de la sédimentation dans les chantiers de dragage	123

Tableau 35 : Appréciation des risques d'impacts liés aux bruits et aux vibrations d'un chantier de dragage sur les mammifères marins (source Impact Mer).	140
Tableau 36 : Calendrier de présence des espèces de mammifères marins à Galisbay à Saint-Martin (source : Impact mer)	141
Tableau 37 : Seuils critiques physiologiques des émissions des engins retenus pour le dragage de Galisbay	142
Tableau 38 : Dragage du chenal de Galisbay : nature des travaux et engins utilisés.....	148
Tableau 39 : Contribution au niveau sonore des divers équipements d'une drague (source : CSTI Acoustics)	150
Tableau 40 : Estimation des émissions globales pendant la durée du chantier (en tonnes)	154
Tableau 41 : Estimation des consommations en carburant pendant la durée du chantier (en tonnes)	154
Tableau 42 : Rappel de l'intégration de l'archéologie dans les différentes phases d'un projet.....	166
Tableau 43 : Synthèse, typologie critères et outils d'évaluation des effets sur le compartiment physique de l'environnement	6
Tableau 44 : Synthèse, typologie critères et outils d'évaluation des effets sur la qualité des matériaux et des eaux	9
Tableau 45 : Synthèse, typologie critères et outils d'évaluation des effets sur le compartiment biologique	10
Tableau 46 : Synthèse, typologie critères et outils d'évaluation des effets sur les activités et les usages	15
Tableau 47 : Pondération des enjeux pour chaque critère de l'analyse multicritère	27
Tableau 48 : Evaluation des impacts des immersions des sédiments des dragages d'entretien de l'estuaire aval pour chacun des sites retenus et pour le site de référence pour l'analyse multicritère	27
Tableau 49 : Grille de notation de l'analyse multicritère.....	27
Tableau 50 : Principales étapes mises en œuvre par le Port de Rouen pour la recherche d'un nouveau site d'immersion	28
Tableau 51 : Modalités et principes d'exploitation des scénarios étudiés	29

Tableau 52 : Critères de comparaison des techniques de dragage.....	30
Tableau 53 : Valeurs de turbidité considérées comme environnementales à la suite des traitements statistiques (PARETO & IMPACT MER, 2012).....	58
Tableau 54 : Seuils de turbidité MAX et LIMITE en NTU définis pour les stations Nord et Sud.....	58
Tableau 55 : Limites de durées de temps acceptables pour les pics de turbidité en fonction des stations et des saisons.....	58
Tableau 56 : Seuils de turbidité MAX et LIMITE en NTU aux stations Caye à Dupont et Goyave.....	59
Tableau 57 : Seuils de turbidité MAX et LIMITE (en NTU) définis pour l'ensemble des stations « clapage »	59
Tableau 58 : Limites de durées de temps acceptables pour les pics de turbidité en fonction des stations et des saisons.....	59
Tableau 59 : Durées (en minutes) et fréquences des pics de turbidité tolérables > au seuil LIMITE en fonction des saisons pour les stations « clapage »	59
Tableau 60 : Seuils de tolérance : Intensité.....	64
Tableau 61 : Seuils de tolérance : Durée	64
Tableau 62 : Résultats des taux de sédimentation (source : IX Survey)	72
Tableau 63 : Récapitulatif du nombre d'opérations de dragage menées aux Etats-Unis par l'USACE et respectant des fenêtres environnementales, classées par enjeu environnemental et masse d'eau	75
Tableau 64 : Augmentation des coûts de l'application de fenêtres environnementales (FE) dans les opérations de dragage de l'USACE aux Etats-Unis	76
Tableau 65 : Effet en fonction de la pression acoustique en dB _{ht} (espèces).....	80
Tableau 66 : Tableau d'équivalence pour la même énergie acoustique reçue (pour un seuil de blessure auditive à 90 dB _{htL_{ep,d}}) (Nedwell <i>et al.</i> , 2007)	80
Tableau 67 : Gamme d'audition fonctionnelle définissant trois groupes de mammifères marins (Ketten, 1998).....	82
Tableau 68 : Gammes de fréquences d'audition par groupe fonctionnel de mammifères marins (Southall <i>et al.</i> , 2007).....	83

Acronymes et abréviations

ACCOBAMS	<i>Agreement on the Conservation of Cetaceans in the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic area</i>
ADCP	<i>Acoustic Doppler Current Profiler</i> (Profileur de courant à effet Doppler)
ARS	Agence Régionale de Santé
BPE	Bonnes Pratiques Environnementales
BRGM	Bureau de Recherche Géologique et Minière
CCAP	Cahier des Clauses Administratives Particulières
CCTP	Cahier des Clauses Techniques Particulières
CEDA	<i>Central Dredging Association</i>
CEREMA	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CGDD	Commissariat Général au Développement Durable
CGEDD	Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable
DAM	Drague Aspiratrice en Marche
DAS	Drague Aspiratrice Stationnaire
DCE	Directive Cadre sur l'Eau
DCSMM	Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin
DDTM	Direction Départementale des Territoires et de la Mer
DOO	Documents d'objectif et d'orientation (SCoT)

DRAC	Direction Régionale des Affaires Culturelles
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
ERC	Eviter, Réduire et Compenser
ETM	Eléments traces métalliques
FNU	<i>Formazin Nephelometric Unit</i>
GEODE	Groupement d'Étude et d'Observation sur les Dragages et l'Environnement
GES	Gaz à effet de serre
GPM	Grand Port Maritime
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HBCD	Hexabromocyclododécane
HCH	Lindane ou gamma-hexachlorocyclohexane
IADC	<i>International Association of Dredging Companies</i>
ICPE	Installation classée pour l'environnement
IFREMER	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
INERIS	Institut National de l'Environnement industriel et des Risques
MES	Matières en suspension
MEST	Matières en suspension totales
MMO	<i>Marine Mammals Observers</i>
MNHN	Muséum national d'Histoire naturelle

MTES	Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire
NECA	<i>NOx Emission Control Area</i> ou Zones d'émissions spéciales de NOx
NQE	Norme de Qualité Environnementale (relatif à la DCE)
NTU / FTU	<i>Nephelometric Turbidity Unit</i>
OMI	Organisation Maritime Internationale
ONG	Organisation non gouvernementale
OSPAR	Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est (Ospar pour « Oslo-Paris »)
PADD	Plan d'Aménagement et de Développement Durable
PAE	Plan d'assurance environnement
PAMM	Plan d'action pour le milieu marin
PAQ	Plan d'assurance qualité
PBDE	Polybromodiphényléthers
PCB	Polychlorobiphényles
PDM	Programme de mesures
PIANC	<i>Permanent International Association of Navigation Congresses</i>
PMT	Plan de maîtrise de la turbidité
PS	Projet stratégique (Grands Ports Maritimes)
RC	Règlement de Consultation
REMI	Réseau de surveillance microbiologique

REPHY	Réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines
REPOM	Réseau de surveillance de la qualité des sédiments des ports maritimes
RINBIO	Réseau intégrateurs biologiques
ROCCH	Réseau d'observation de la contamination chimique (anciennement RNO)
RSE	Responsabilité Sociale des Entreprises
SCoT	Schéma de Cohérence Territoriale
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SECA	<i>Sulphur Emission Control Areas</i> ou Zones d'émissions spéciales de soufre
SIC	Site d'Intérêt Communautaire (désignation au titre de la directive « Habitats » préalable à la désignation en ZSC)
SMVM	Schéma de Mise en Valeur de la Mer
TBT	Tributylétain
USACE	<i>U.S.A. Corps of Engineers</i>
WODA	<i>World Organisation of Dredging Associations</i>
ZNIEFF	Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique
ZPS	Zone de Protection Spéciale (désignation au titre de la directive « Oiseaux »)
ZSC	Zone Spéciale de Conservation (désignation au titre de la directive « Habitats »)

1. Objectifs
2. Rappel des enjeux du dragage en France



1. Objectifs

1.1 Sensibiliser les acteurs du dragage

Cette revue des **bonnes pratiques environnementales** a pour objectif de sensibiliser les acteurs du dragage (gestionnaires des ports, opérateurs, élus, socio-professionnels) aux questions que posent les dragages dans les infrastructures portuaires et les chenaux de navigation. Sont concernées les opérations de dragage (travaux neufs et entretien) des ports maritimes de commerce, de pêche et de plaisance.

De nombreux documents et guides méthodologiques, notamment ceux produits par **GEODE**, permettent d'avoir aujourd'hui une connaissance assez précise des impacts directs et indirects des opérations de dragage et d'immersion sur les milieux marins et estuariens, pour les différentes composantes physiques et biologiques de l'environnement et le cadre socio-économique.

Selon la nature technique des opérations, les volumes dragués et les milieux concernés, les techniques de dragage peuvent être variées et, en conséquence, entraîner des incidences différentes, non significatives pour l'environnement dans une situation donnée ou, au contraire, très pénalisantes dans une autre situation.

1.2 Les « bonnes pratiques » environnementales (BPE)

Les opérateurs de dragage, s'ils répondent d'abord à des impératifs industriels de performance des engins de dragage et de rendements (volumes extraits sur une période donnée), sont aussi amenés à considérer la protection de l'environnement marin et à l'intégrer dans la conception, l'organisation et la réalisation de leurs actions.

Cette prise en compte de l'environnement est le plus souvent dictée par les obligations réglementaires (évaluation environnementale, prescriptions de l'arrêté préfectoral autorisant l'opération) et les demandes sociétales (réactions vives de l'opinion publique aux immersions de matériaux en mer). Elle peut aussi résulter d'une démarche volontaire de la part de l'opérateur, ce critère pouvant être différenciant dans le cadre de la mise en concurrence des appels d'offres publics.

Il existe donc des « **bonnes pratiques** », émergentes ou établies, pour éviter ou réduire les effets dommageables des dragages sur l'environnement marin. Celles-ci ne sont pas « universelles », mais sont à adapter en fonction des techniques de dragage utilisées et de la sensibilité du milieu marin concerné.

1.3 Aperçu du document

Le document comprend les parties suivantes :

- un rappel des enjeux du dragage en France (**chapitre 2**),
- une synthèse des impacts environnementaux des opérations de dragage (**chapitre 3**) et une introduction aux bonnes pratiques environnementales ou BPE (**chapitre 4**),
- une revue commentée des BPE dans la conception de l'opération (**chapitre 5**), la consultation des entreprises (**chapitre 6**), l'exécution des travaux (**chapitre 7**) et le suivi environnemental (**chapitre 8**),
- 13 **annexes** sur des thèmes particuliers,
- une sélection de **références bibliographiques**, majoritairement internationales.



1.4 Méthodologie et limites de la revue des BPE

L'élaboration du document s'est appuyée sur :

- la bibliographie internationale (B, CDN, NL, GB, USA, AUS),
- des exemples de dossiers de dragage (F),
- une dizaine d'entretiens avec des acteurs du dragage (Grands Ports Maritimes, services de l'Etat, collectivités, représentants professionnels d'entreprises de dragage).

La revue traite :

- l'extraction des sédiments,
- l'immersion,
- le dépôt pour travaux de récupération de territoires sur la mer,
- le rechargement de plages.

La revue ne traite pas :

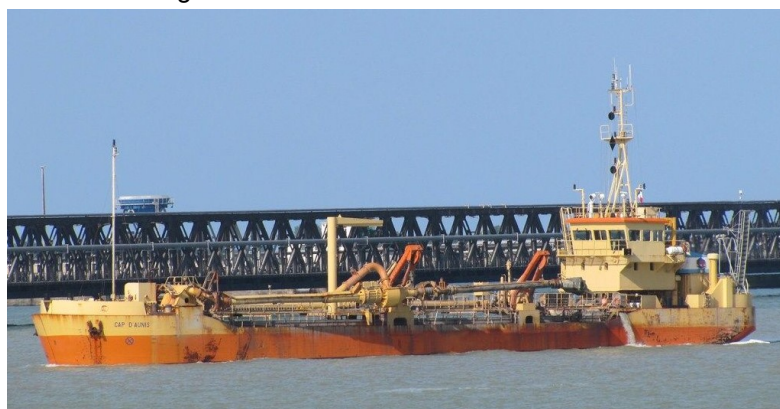
- le dépôt temporaire ou définitif des sédiments à terre,
- les filières de gestion à terre des sédiments dragués, notamment contaminés.

2. Rappel des enjeux du dragage en France

2.1 Les enjeux technico-économiques

Dans un contexte de concurrence régionale forte, l'attractivité de nos ports de commerce dépend largement du **dragage d'entretien** pour maintenir l'accès des navires aux infrastructures portuaires et pour garantir la sécurité de la navigation. Les dragages d'entretien font aussi partie des travaux périodiques pour permettre l'accès et la sécurité de la navigation dans les **ports de pêche et de plaisance**.

La taille des navires allant croissant, les ports et les chenaux doivent s'adapter et des **dragages d'investissement** sont nécessaires pour réaliser ces aménagements.



©Olivier Arnaud

2.1.1 Le dragage portuaire : rappel historique

En 2015¹, la quantité de sédiments dragués en France, dans le cadre des travaux d'investissement et d'entretien, s'élevait à 31,08 millions de tonnes en matières sèches² (tableau 1).

Tableau 1 : Evolution des quantités de matières sèches draguées en France. Entre 2007 et 2015 (source : rapports annuels d'enquête dragage du Cetmef, devenu Cerema)

Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
France et Outre-mer, hors Guyane	26.95	22.22	33.23	18.60	21.15	27.02	26.85	29.02	31.08
Grands Ports Maritimes	22.44	19.45	29.60	15.20	18.35	24.04	23.61	24.83	25.55
Proportions draguées par les GPM (%)	83.3	87.5	89.0	81.7	86.8	89.0	87.9	85.6	82.2

(en millions de tonnes de matières sèches)

¹ Les données les plus récentes (2013) sont synthétisées par le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA), dans l'enquête nationale sur les dragages des ports maritimes (année 2013). Collection « Données », juin 2017. Elles sont complétées par les données 2015 disponibles.

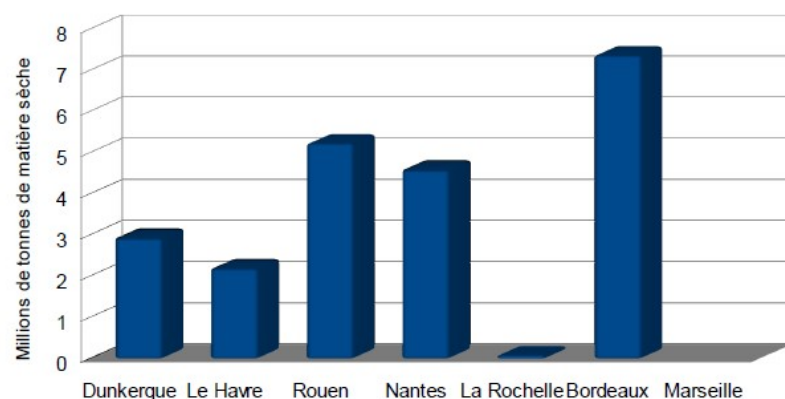
² Depuis 2009, le CEREMA exprime les données de dragage en quantités de matières sèches (tonnes), de préférence aux volumes mesurés en m³. d'évaluation des volumes utilisées et les techniques de dragage employées. L'annexe 3 de l'enquête CEREMA (cf. note 1) donne la méthodologie de calcul de la quantité de matières sèches en fonction de la nature des matériaux et de leur densité et des techniques de dragage (hydraulique ou mécanique).

2.1.2 Le dragage des ports de commerce

2.1.2.1 Quelles sont les quantités extraites ? ³

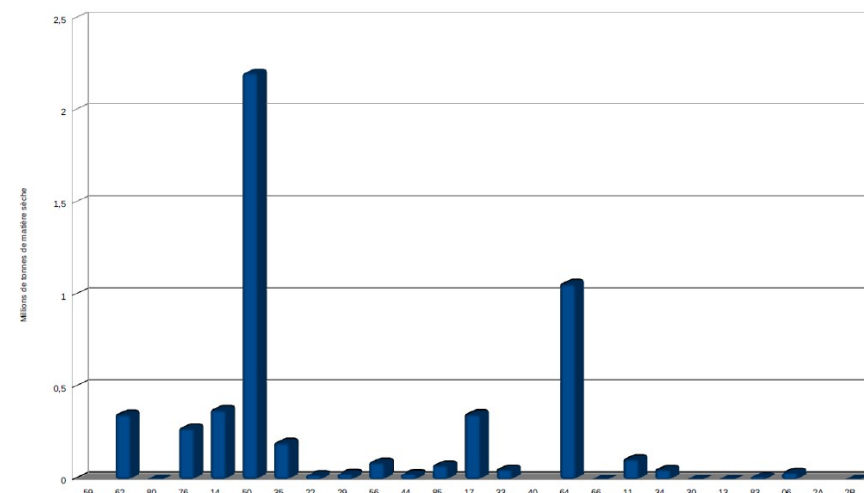
En 2015, les sept grands ports maritimes métropolitains représentaient à eux seuls 22,32 millions de tonnes de sédiments dragués, soit 81 % du total métropolitain. La répartition par grands ports maritimes est donnée sur la figure 1.

Figure 1 : Quantités de matières sèches draguées en 2015 dans les grands ports maritimes (en millions de tonnes)



Dans les autres ports français, autres que les grands ports maritimes, 5,32 millions de tonnes de sédiments ont été dragués, ce qui représente 19 % du total des quantités draguées en 2015 en métropole.

Figure 2 : Quantités de matières sèches draguées (en millions de tonnes) par département métropolitain en 2015 hors grands ports maritimes de métropole

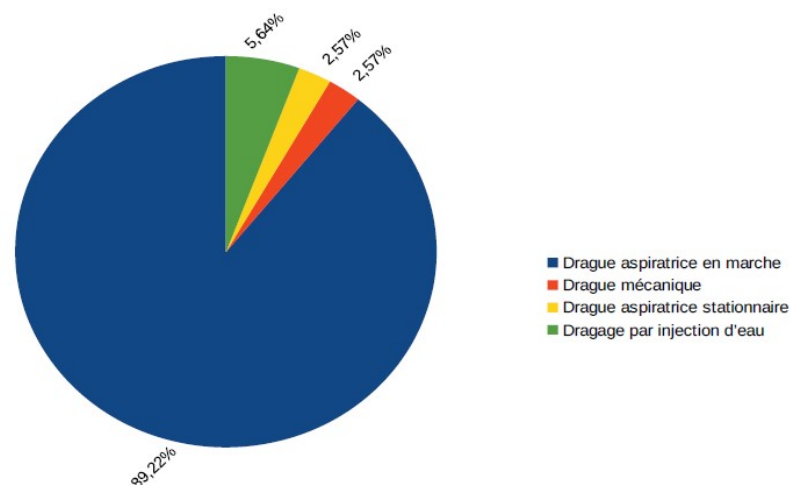


2.1.2.2 Quelles sont les techniques de dragage employées ?

Grands ports maritimes

La technique la plus utilisée reste largement le dragage hydraulique (89,2 % des opérations), utilisant de préférence des dragues aspiratrices en marche.

Figure 3 : Techniques de dragage utilisées dans l'ensemble des grands ports maritimes



Un exemple : les dragages d'entretien du chenal maritime du Grand Port Maritime de Nantes Saint-Nazaire

Le GPMNSN utilise :

- ❶ la drague aspiratrice en marche *Samuel de Champlain* pour la grande majorité des sédiments du chenal maritime. Une fois son puits rempli, d'une capacité de 8 500 m³, la drague va claper son chargement en mer, sur le site de la Lambarde.
- ❷ la drague aspiratrice stationnaire *André Gendre* pour le chenal aval. Elle intervient sur les souilles et bassins, en transférant les sédiments par des conduites souples vers le chenal, sur une distance de 80 m à 400 m. Les matériaux sont ensuite repris par les courants ou par une drague aspiratrice en marche (DAM).

- ❸ la drague par injection d'eau *Milouin* qui intervient dans le chenal, la zone d'évitage amont et les souilles. Les sédiments dragués par injection d'eau (débit de l'ordre de 6 000 m³/h) sont déplacés par le courant de densité résultant du mélange eau-sédiments.

En 2016, les quantités de sédiments déplacés ou remobilisés par ces deux dernières techniques étaient d'environ 316 000 t par la drague aspiratrice stationnaire et 844 000 t par injection d'eau.

Entre 2009 et 2016, la quantité moyenne annuelle draguée a été de 7 090 000 m³ soit environ 5 431 000 t de sédiments secs dont 4 115 000 m³ immergés sur le site de la Lambarde, soit environ 2 570 000 t de sédiments secs.

❶



❷



❸



Autres ports

Le dragage hydraulique reste la technique dominante (71,15 % des sédiments exprimés en quantités de matières sèches). Viennent ensuite les techniques de dragage mixtes (14,72 % des sédiments) qui associent une drague hydraulique et une drague mécanique sur une même zone homogène. Enfin, le reste des opérations de dragage est conduit avec des dragues mécaniques seules.

2.1.2.3 Quelles est la destination des matériaux extraits ?

La destination des matériaux de dragage peut se rapporter à cinq catégories ou filières :

- **l'immersion ou le rejet en mer ou en zone estuarienne,**
- **le rechargement de plages,**
- **le dépôt à terre,**
- **e dépôt en mer (confinement),**
- **les autres destinations :** remobilisation par injection d'eau, remise en suspension par roto-dévasage ou suite à refoulement par drague, remblais, utilisation des matériaux pour les routes, la construction...).

Immersion et rejet des sédiments en mer⁴

L'immersion et le rejet direct des sédiments demeurent de très loin la principale destination des sédiments de dragage en France.

⁴ Hors Guyane.

Ainsi en 2013, quelque 25,24 millions de tonnes de matériaux ont été immergés ou rejetés en mer ou en zone estuarienne⁵, ce qui représente 94 % de la quantité totale de sédiments dragués pour l'année. Les grands ports maritimes représentent à eux seuls 22,26 millions de tonnes de matériaux immergés ou rejetés en mer ou en zone estuarienne, soit 88,2 % de la quantité totale de sédiments immergés.

Rechargement de plages

En 2013, on compte 149 400 t de matières sèches, contre 456 400 t en 2012 et 170 600 t en 2011, déplacées pour recharger les plages :

- 14 500 t sur la façade Manche-Mer du Nord,
- 23 900 t sur la façade Atlantique,
- 52 000 t sur la façade Méditerranée,
- 59 000 t sur la façade ultra-marine (La Réunion).

Les tonnages importants atteints en 2012 s'expliquaient par le tonnage déposé sur les plages de la façade Atlantique (utilisation des matériaux sableux dragués dans le cadre des travaux du port de Lorient, pour le rechargement de plages). Comme chaque année, la façade méditerranéenne est celle sur laquelle le rechargement de plages est la destination préférentielle des matériaux de dragage, si l'on considère le nombre de plages.

⁵ À noter qu'au sein de la catégorie immersion et rejet en mer ou en zone estuarienne sont comptabilisés, pour le Grand Port Maritime de Nantes Saint-Nazaire, les rejets dans le chenal de navigation des sédiments dragués par la drague aspiratrice stationnaire *André Gendre*.

Dépôt à terre

Le dépôt à terre de matériaux a été utilisé sur les trois façades maritimes. La façade Manche-Mer-du-Nord concentre la majorité des dépôts à terre comme l'année précédente, avec 33 456 t, suivie de près par la façade Atlantique avec 30 055 t, avec en particulier des dépôts dans les départements du Finistère et du Morbihan. La Méditerranée est en troisième position avec 1 396 t. Soit, pour l'ensemble des façades, un total de 64 908 t déposées à terre.

Dépôts dans un bassin de confinement

Un seul dépôt a été signalé dans le cadre de l'enquête dragage conduite pour l'année 2013 : il s'agit du dépôt dans le bassin Mirabeau du port de Marseille, cet ancien bassin étant dédié au confinement de matériaux dragués contaminés.

Les autres destinations

Les autres destinations recensées en 2013 sont des opérations de dispersion des matériaux par injection d'eau, par rotodévasage, ou par dragage à l'américaine. En France métropolitaine, c'est sur la façade atlantique que l'on rencontre ces méthodes avec l'injection d'eau (Jetsed) utilisée par le seul Grand Port Maritime de Nantes Saint-Nazaire et le rotodévasage en Charente-Maritime. Outre-mer, la Guyane procède en 2013 comme en 2012 à la dispersion d'environ 3,5 millions de tonnes de sédiments par dragage à l'américaine.

2.1.2.4 Quelle est la qualité des sédiments ?

Les informations suivantes ne prennent en compte que les sédiments immergés ou rejetés directement, soit 94 % de la totalité des matériaux dragués.

Les éléments traces métalliques

Conformément aux critères d'exception de la circulaire n° 2000-62 du 14 juin 2000⁶, si le sédiment répond à plusieurs conditions, dont un niveau de concentration sans dépassement du seuil N1 pour tous les paramètres datant de moins de trois ans, les mesures chimiques ne sont pas à réaliser chaque année. La présentation des dépassements de seuil ci-dessous concerne donc uniquement les sédiments ayant fait l'objet d'analyses en 2013.

Le seuil N2 des éléments traces métalliques réglementés n'a pas été dépassé en 2013. Le seuil N1 a été dépassé sur 9 zones homogènes de dragage pour les éléments traces métalliques. Ces dépassements de N1 concernent le cadmium, le mercure, l'arsenic, le cuivre et le nickel.

⁶ Pour rappel, l'arrêté interministériel du 9 août 2006 définit un référentiel de qualité pour la caractérisation physico-chimique des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire. Ce référentiel établit pour un ensemble donné de contaminants, des seuils de classification N1 et N2 permettant de mieux apprécier l'incidence que peut avoir la mobilisation des matériaux dragués destinés à être immergés. Ces niveaux ne sont pas des seuils visant à autoriser ou à interdire de fait l'immersion des sédiments, ni des seuils d'évaluation d'une qualité environnementale du milieu.

Les polychlorobiphényles (PCB)

En 2013, on n'observe aucun dépassement de N1 ou de N2 pour les ports du littoral français pour lesquels des données d'analyses ont été recueillies dans le cadre de l'enquête annuelle.

Le tributylétain (TBT)

Deux sites de dragage ont dépassé le niveau N1 pour le TBT (avant-port de Boulogne-sur-Mer et port de plaisance des Minimes à La Rochelle).

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

En 2013, 23 zones homogènes de dragage présentent une ou plusieurs analyses avec dépassement du niveau N1 pour les HAP. Deux zones homogènes sont concernées par des dépassements du niveau N2.

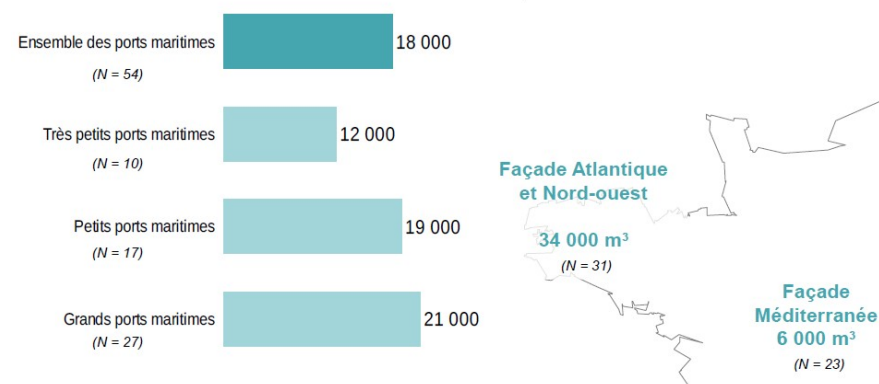
2.1.3 Les ports de plaisance

D'après l'enquête menée par le MEDD en 2015⁷, les volumes moyens dragués dans les ports maritimes métropolitains s'établissaient à environ 18 000 m³ par port. Pour les ports ayant effectué un dragage, le volume moyen dragué s'établissait à 34 000 m³ pour les 31 ports de la façade

⁷ Mission de la navigation de plaisance et des loisirs nautiques. Observatoire des ports de plaisance. Résultats de l'enquête « Dragage ». Décembre 2015. Enquête en ligne auprès de 711 ports (maritimes, fluviaux et lacustres) ; 192 retours de questionnaires ; 158 ports retenus dans le champ d'analyse.

atlantique et nord-ouest et 6 000 m³ pour les 23 ports de la façade méditerranéenne.

Figure 4 : Volume moyen dragué en m³ par port lors du dernier dragage



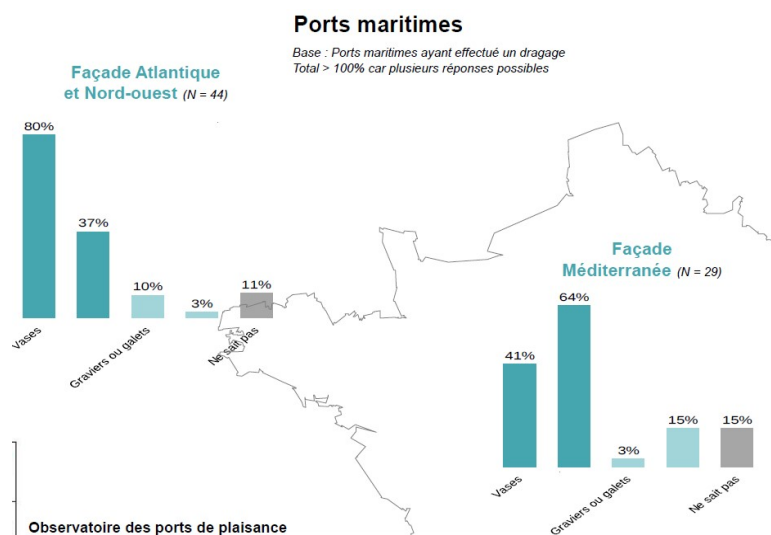
Définition de la taille des ports de plaisance

Très petits ports	200 places ou moins
Petits ports	201 à 500 places
Grands ports	501 à 1 000 places
Très grands ports	> 1 000 places

Les ports de plaisance font appel à proportion égale, au dragage hydraulique (48 %) et au dragage mécanique (47 %).

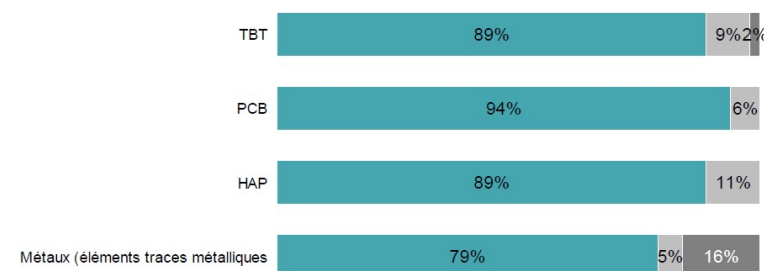
La nature des sédiments dragués (Figure 5) est dominée par les vases sur la façade atlantique (80 % des réponses des ports ayant effectué un dragage) et par les sables en Méditerranée (64 % des réponses).

Figure 5 : Nature des sédiments dragués



La qualité des matériaux est indiquée sur la figure 6. La majorité des sédiments présente des teneurs en contaminants inférieures à N1. Pour les TBT, PCB, HAP et métaux, les teneurs comprises entre N1 et N2 sont citées respectivement par 9 %, 6 %, 11 % et 5 % des ports. Pour les seuils dépassant N2, 16 % des ports répondent que les sédiments sont contaminés par les métaux et 2 % pour le TBT.

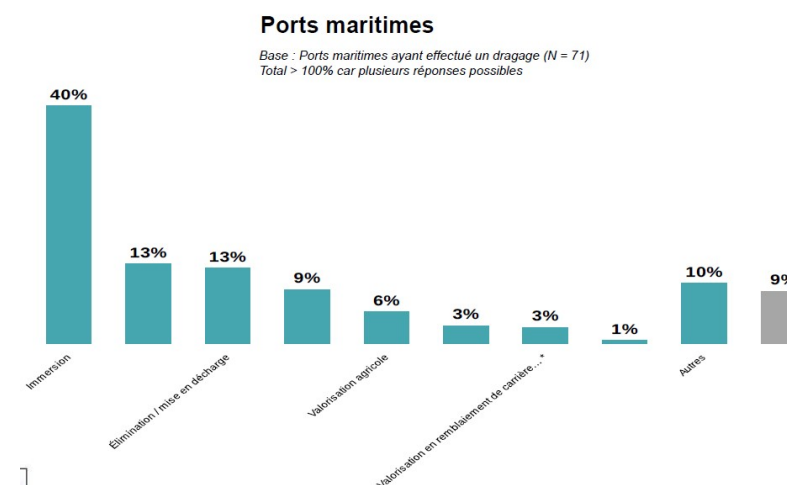
Figure 6 : Qualité physico-chimique des matériaux dragués



Légende. Bleu <N1 - gris clair <N2 – gris foncé > N2

La destination des matériaux dragués privilégie l'immersion (40 %), suivie par le rechargement des plages (13 %), la mise en décharge (13 %), puis la valorisation pour diverses utilisations.

Figure 7 : Destination des matériaux dragués



2.2 Les enjeux environnementaux

Un **enjeu environnemental** désigne la valeur prise par une fonction ou un usage, un territoire ou un milieu au regard des préoccupations écologiques, patrimoniales, sociologiques, de qualité de la vie et de santé. Définir un enjeu, c'est déterminer le degré d'acceptabilité à voir se dégrader, voire disparaître, une ou plusieurs composantes de l'environnement. On parle alors d'enjeux faibles, modérés ou majeurs.

2.2.1 Enjeux et valeurs à respecter

Les enjeux environnementaux peuvent s'apprécier par rapport à diverses valeurs :

- **le respect de la réglementation nationale et internationale** : considération des seuils N1 et N2 ; aires marines protégées (réserves naturelles, Natura 2000, Parcs Marins, zones de conservation halieutiques, etc) ; loi pour la reconquête de la biodiversité et des paysages (loi n° 2016-1087 du 8 août 2016) ; sujétions de la DCE (via le SDAGE) et de la DCSMM (via les PAMM) ; espèces protégées au titre du code de l'environnement ; arrêtés (notamment l'arrêté du 25 avril 2017 fixant la liste des coraux protégés en Guadeloupe, en Martinique et à Saint-Martin et les modalités de leur protection) ; diverses conventions (OSPAR, Berne, Barcelone, Carthagène),
- **les niveaux de risque acceptables eu égard à la nature qualitative des matériaux à draguer** (et notamment leur niveau de contamination en composés organiques et inorganiques) et quantitative (volume par type de catégorie granulométrique),
- **la préservation de la biodiversité et du patrimoine marin** : habitats et espèces d'intérêt communautaire, écosystèmes

protégés ou nécessaires aux équilibres biologiques, espèces végétales ou animales protégées ou remarquables (rareté), ressources naturelles renouvelables (frayères, nourriceries), paysages sous-marins, vestiges subaquatiques,

- **le maintien et la pérennité des usages socio-professionnels de la mer et de ses rivages** : sécurité de la navigation, zones de pêche et de cultures marines, zones d'extraction de granulats, zones de production d'énergies marines renouvelables, ...
- **la compatibilité avec les autres usages de la mer** : baignade et usages des plages, plaisance, pêche plaisancière et pêche à pied, activités subaquatiques, loisirs nautiques en général,
- **les valeurs sociétales** : principe de précaution, caractère renouvelable des ressources naturelles, droit des générations futures à disposer d'un environnement préservé et d'un accès à la mer, droit à la santé et tout principe compatible avec le développement durable.

2.2.2 Prise en compte dans les politiques publiques des enjeux environnementaux liés aux opérations de dragage

Il s'agit ici de présenter brièvement comment sont considérées les opérations de dragage dans les stratégies nationales, régionales ou locales de mise en valeur de la mer et de protection de l'environnement ainsi que dans les plans et programmes relatifs à la mer, notamment :

- le Grenelle de la Mer,
- les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE),
- les Plans d'Action pour le Milieu Marin (PAMM),
- les Projets Stratégiques des grands ports maritimes,
- les Schémas de Mise en Valeur de la Mer (SMVM),
- les contrats de milieux (baie ou rade).

2.2.2.1 Le Grenelle de la Mer et le groupe de travail n° 11

Dans le cadre du **Grenelle de la mer** conduit en 2009, le groupe de travail n°11 sur les sédiments de dragage a été créé pour traiter l'engagement 29 du Grenelle de la mer intitulé « *Réduire les pollutions de la mer par les activités maritimes autres que le transport* » et plus particulièrement l'engagement 29a intitulé « *Interdire le rejet en mer des boues de dragage polluées : mettre en place une filière de traitement des boues et de récupération des macrodéchets associés* » et l'engagement 29c intitulé « *Faire évoluer les pratiques d'entretien des estuaires, espaces portuaires et chenaux d'accès* et les modalités de gestion des sédiments et boues de dragage ».

Le groupe de travail n°11 a formulé quatre recommandations :

- Réduire les risques de contamination des sédiments marins, en agissant, en amont, sur les principales activités polluantes, à l'échelle des bassins versants.
- Accompagner et faire évoluer la réglementation, sur la base des connaissances scientifiques et techniques disponibles.

- Poursuivre l'acquisition de connaissances scientifiques et techniques.
- Promouvoir les bonnes pratiques, les connaissances acquises et les retours d'expériences en renforçant la communication.

2.2.2.2 Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux

Selon les enjeux propres à chaque SDAGE, la question des dragages peut être traitée de manière circonstanciée.

Exemple du SDAGE Rhône Méditerranée 2016-2021

Aucune disposition⁸ particulière n'est consacrée directement aux dragages, mais certaines dispositions s'appliquent pleinement :

- Disposition 2-01. Mettre en œuvre de manière exemplaire la séquence « Eviter-Réduire-Compenser ».
- Disposition 5A-07. Réduire les pollutions en milieu marin.
- Disposition 5C-04. Conforter et appliquer les règles d'une gestion précautionneuse des travaux sur les sédiments aquatiques contaminés.

« Dans le cas des milieux marins, et dans l'attente de directives nationales, les dossiers de demande d'autorisation d'extension ou de réaménagement des installations portuaires au titre des articles L.214-1 à 6 du code de l'environnement intégreront un diagnostic des flux de substances dangereuses qu'ils génèrent. Il est par ailleurs nécessaire de gérer le devenir des sédiments portuaires à une échelle supra-communale en recherchant des solutions techniques innovantes en matière de

⁸ On entend par Dispositions (au sens du SDAGE), les mesures et orientations sur lesquelles le SDAGE entend porter un effort particulier en vue d'un objectif déterminé au niveau du bassin.

stockage à terre ou de traitement de la décontamination de ces sédiments ».

Exemple du SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021

L'orientation 10B – « Limiter ou supprimer certains rejets » vise « la réduction ou la suppression des émissions de substances prioritaires ou prioritaires dangereuses [qui] est un objectif de la directive cadre sur l'eau (l'atteinte du bon état chimique) (...). D'autre part, sur le littoral, certaines activités justifient des approches spécifiques : dragage des ports et rejets des vases, rejets des eaux de ballast et des sédiments des navires, rejets d'hydrocarbures, de substances nocives ou de déchets, des résidus de carénage... Il est souhaité que l'identification et la réduction des rejets concernés fassent l'objet d'une approche cohérente à une échelle adaptée. »

Disposition 10B-1. Afin de planifier et de garantir une bonne gestion des matériaux de dragage, l'élaboration des schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragage et des filières de gestion des sédiments, évolutifs et adaptés aux besoins locaux, est recommandée. Lors de la mise en place d'un schéma, il est fortement recommandé de l'accompagner de la création d'un comité de suivi pour permettre l'information et la consultation des différentes parties prenantes et du public. L'association du ou des Sage concernés est recommandée tant au moment de l'élaboration du schéma que dans son comité de suivi.

Conformément à la convention de Londres de 1972 et à son protocole du 7 novembre 1996, les solutions de réutilisation, recyclage, valorisation ou élimination des déblais de dragage à terre seront recherchées et mises en œuvre dans le respect des réglementations applicables au titre du code de l'environnement (ICPE et/ou IOTA et/ou loi « déchets ») si elles ne présentent pas un coût disproportionné.

Disposition 10B-2. Pour les activités de dragage en milieu marin et les rejets des produits de ces dragages, soumises à la rubrique 4.1.3.0 de la nomenclature eau, il est fortement recommandé que les demandes de rejet en mer comportent une

étude des solutions alternatives à ce rejet. La valorisation à terre des sables, graviers, galets sera recherchée en priorité.

2.2.2.3 Plans d'action pour le milieu marin

Les PAMM et leurs programmes de mesures (PDM) déclinent l'ensemble des actions concrètes et opérationnelles pour répondre aux différents objectifs environnementaux et atteindre ou maintenir ainsi le bon état écologique des eaux marines à l'horizon 2020, au regard de l'évaluation initiale des eaux marines.

Exemple du PDM relatif à la sous-région marine Mers Celtiques

Le thème « Dragages et clapages » est traité dans le descripteur 6 : « Intégrité des fonds marins préservée » et fait l'objet de l'orientation opérationnelle OO 33 : « Exercer les activités en mer dans des conditions durables, gérer les sédiments de dragage dans des conditions durables. » (Voir annexe 1).

Cette orientation est accompagnée de trois mesures :

- *GdG-MC_06_33_06 (mesure existante) : « Plans départementaux de gestion des dragages et des sédiments, de leurs traitements et valorisations à terre. ».*
- *GdG-MC_06_33_07 (mesure existante) : « Pour les activités soumises à autorisation, évaluation de leurs impacts à l'aide de suivis afin d'affiner les conditions de gestion. ».*
- *GdG-MC_06_33_03 (mesure nouvelle nationale) : « Favoriser la mise en œuvre de schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragage et des filières de gestion des sédiments, évolutifs et adaptés aux besoins locaux. ».*

2.2.2.4 Projets stratégiques des grands ports maritimes

Les Grands Ports Maritimes établissent des **Projets Stratégiques** qui comportent 5 volets :

- Volet 1 : Le positionnement stratégique et la politique de développement du GPM,
- volet 2 : Les aspects économiques et financiers de l'établissement.
- volet 3 : Les modalités de l'exploitation portuaire,
- volet 4 : La politique d'aménagement et de développement durable,
- volet 5 : Les dessertes portuaires et le développement de l'intermodalité.

Les volets 4 et 5 font l'objet d'une évaluation environnementale. L'Autorité Environnementale (CGEDD) a rendu un avis sur l'évaluation environnementale des 11 grands ports maritimes institués par l'État ainsi que les pistes d'amélioration possibles pour la mise en œuvre de ces projets stratégiques.

2.2.2.5 Schémas de mise en valeur de la mer

Le **SMVM et le volet littoral et maritime d'un SCoT** ont vocation à fixer des « orientations fondamentales » pour les zones et les activités présentes sur l'interface terre-mer. Ils doivent aussi « définir et justifier les orientations retenues ». A cet effet :

- ils précisent les vocations des différents secteurs de l'espace maritime et les principes de compatibilité applicables aux usages correspondants, ainsi que les conséquences qui en résultent pour l'utilisation des divers secteurs de l'espace terrestre qui lui sont liés ;

- ils peuvent enfin édicter des sujétions particulières si elles sont nécessaires à la préservation du milieu marin et littoral.

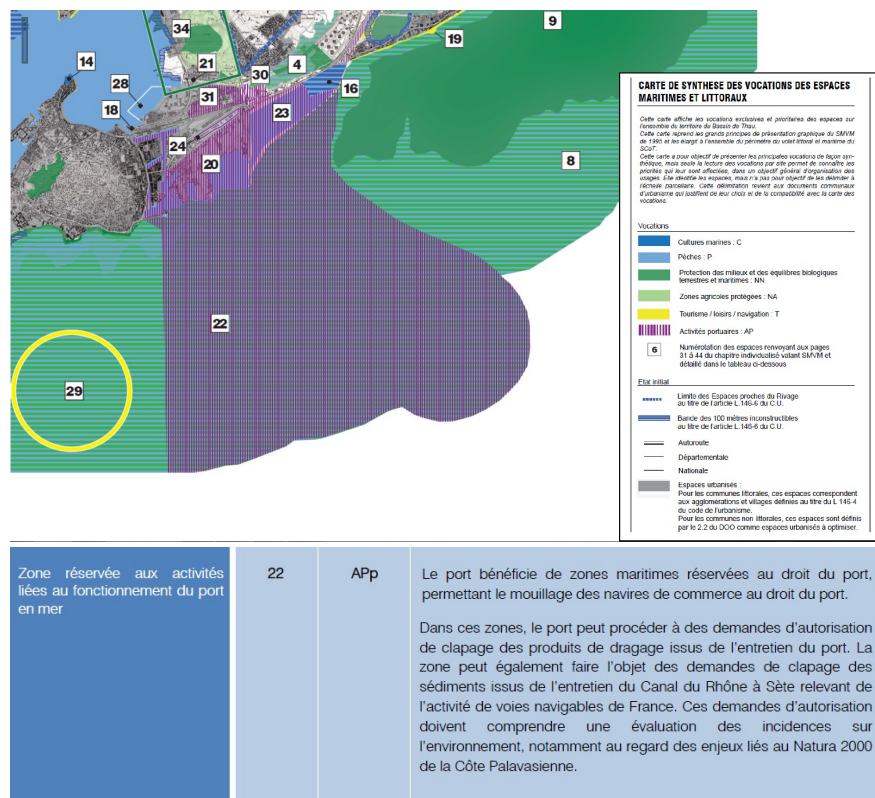
S'agissant des dragages et de la gestion des produits dragués, ces documents peuvent :

- en mer, inscrire le zonage des secteurs autorisés à l'immersion des sédiments ou donner des sujétions relatives aux espaces naturels à préserver (interdiction de rejet de matériaux de dragage),
- et à terre, prévoir la mise en œuvre de solutions de gestion des sédiments extraits pour qu'elles ne soient pas bloquées par les règles d'urbanisme en vigueur.⁹

A titre d'exemple, dans le SCoT du bassin de Thau, le chapitre individualisé valant SMVM définit la carte des vocations des espaces maritimes et littoraux (Figure 8). Les activités réservées au fonctionnement du port de Sète en mer sont identifiées (zone 22) et des dispositions particulières visent les opérations de clapage en mer des matériaux issus du port de Sète.

⁹ En ce sens et pour les SCoT, les orientations concernant le devenir des matériaux – notamment leur stockage temporaire ou définitif à terre – pourront être formulées de manière assez générale dans le Plan d'Aménagement et de Développement Durable (PADD). Pour être opérationnelles, elles doivent être traduites dans le Document d'Orientation et d'Objectifs (DOO).

Figure 8 : Carte des vocations des espaces maritimes et littoraux (Source : SCoT du bassin de Thau)



2.2.2.6 Contrats de baie ou de rade

Le contrat de baie (ou de rade) est une démarche globale et concertée pour la reconquête de la qualité des eaux et des milieux aquatiques engageant l'ensemble des acteurs sur un programme d'actions de 5 ans.

Exemple du contrat de baie de la rade de Toulon

Le contrat de baie n° 2 (2013-2018) privilégie la réduction des pollutions chimiques qui conditionne la réussite de la reconquête du bon état écologique dans les différents compartiments et écosystèmes de la rade. La rade de Toulon est en effet tout particulièrement concernée par la pollution chimique, en particulier les métaux lourds. L'origine de cette contamination, en grande partie due aux activités historiques de la rade, est aujourd'hui partiellement connue. La part des apports provenant du bassin versant ou du relargage des sédiments marins contaminés, est méconnue.

Le dossier définitif de candidature du contrat de baie note que « cette dernière problématique doit être particulièrement suivie dans le cadre du futur contrat de baie au regard des projets de dragages d'envergure que la Marine Nationale et Ports Toulon Provence, notamment, projettent dans les années à venir ». A ce titre, le contrat de baie de la rade de Toulon programme six actions en relation directe avec la problématique des dragages :

- 18a - Elaboration d'un protocole environnemental pour les opérations de dragage et de travaux maritimes dans la rade de Toulon,
- 18b - Opération pilote de dragage de la Marine Nationale : évaluation des phénomènes de remobilisation des contaminants,
- 19 - Projet pilote SEDIPLATEFORME dont l'objectif final est de développer un ensemble de solutions durables de gestion et de valorisation des sédiments non-immérgeables,
- 19a - Pôle méditerranéen de recherches SEDIPLATEFORME sur les sédiments continentaux et marins,
- 20 - CAP SEDIMENT : projet de capitalisation, collecte et mutualisation des données locales, nationales et internationales sur la gestion des sédiments.

2.3 Les enjeux sociétaux

2.3.1 L'immersion des matériaux de dragage : une pratique régulièrement contestée

Les **enjeux sociétaux** sont relatifs à l'acceptation de plus en plus difficile des opérations de dragage et d'immersion de matériaux de dragage considérés par les associations de protection de l'environnement et les ONG, comme des déchets.



Ainsi la majorité des opérations de dragage impliquant l'immersion en mer des matériaux de dragage, même lorsqu'elles présentent des contaminations faibles au regard des seuils réglementaires, sont régulièrement contestées par les associations, les organisations socio-professionnelles (pêche, cultures marines) et les élus des communes riveraines.

Les associations et ONG^{10 11} mettent en avant les impacts de ces immersions sur l'environnement et la santé, notamment du fait de leur contamination par des substances chimiques, mais elles militent aussi

¹⁰ France nature Environnement, mai 2016. Dragage : une pollution inavouée. Communiqué de presse.

¹¹ Pianté C., Ody D., 2015. Méditerranée: La croissance bleue face au défi du Bon État Écologique. Projet MedTrends. WWF-France. 168 pages.

pour la création d'une filière de valorisation des sédiments de dragage. A noter qu'une fois sortis de l'eau, les sédiments dragués sont considérés comme des déchets.

2.3.2 Une réglementation plus exigeante

- Dans le cadre de la DCSMM et de la DCE et de leurs objectifs d'atteinte du bon état, notamment au travers du respect des normes de qualité environnementale (DCE), la réglementation est susceptible d'évoluer en exigeant des analyses spécifiques des substances pertinentes susceptibles d'être présentes dans un sédiment (en lien avec les propriétés physiques et les apports). Dans le cahier des charges pour la mise en œuvre du programme du REPOM, le volet « sédiment » modifié inclut ainsi le suivi des substances réglementées dans le cadre des opérations de dragage (ETM, TBT, PCB, HAP), mais également des organochlorés, dioxines, furanes, phénols, composés bromés (HBDC, PBDE), phtalates, HCH...¹²
- L'émergence relativement récente des nouveaux concepts écotoxicologiques fondés sur les faibles doses et les effets « cocktails » des perturbateurs endocriniens, doit être prise en compte au titre de l'impact la santé humaine. En effet, cette question est en train de bouleverser les conceptions anciennes basées sur l'idée que « la dose fait le poison ». La notion d'intoxication diffuse et transgénérationnelle, de plus en plus fondée scientifiquement, doit être intégrée en parallèle aux effets toxiques aigus de la contamination « classique ». D'ailleurs, même si une stricte réglementation n'est pas encore établie, la Stratégie Nationale sur les Perturbateurs Endocriniens - et le plan national associé, souvent décliné

¹² GEODE. Bonnes pratiques pour la caractérisation des matériaux en vue d'une opération de dragage et d'immersion en milieu marin et estuarien. Novembre 2016.

régionalement -, ainsi que la prise en compte de cette problématique au niveau européen, en soulignent l'importance.

- La loi du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, fixe comme objectif la protection de 75 % des récifs coralliens dans les outre-mer français d'ici à 2021. Ainsi un arrêté du 25 avril 2017 établit la liste de 16 espèces de coraux protégés en Guadeloupe, en Martinique et à Saint-Martin et les modalités de leur protection.

Dans le cadre de ce plan d'action, l'Etat se fixe pour objectif d'interdire, dans les zones sous souveraineté ou juridiction françaises, les opérations de dragage des fonds marins dans lesquels des récifs coralliens sont présents, à l'exception des opérations de dragage qui visent à assurer la continuité du territoire par les flux maritimes. En outre, les opérations de dragage des fonds marins qui visent à assurer la continuité du territoire par les flux maritimes doivent éviter au maximum la destruction des récifs coralliens (article 113 de la loi du 8 août 2016).

- Une approche plus restrictive est aussi engagée par voie parlementaire : la loi n° 2016-816 du 20 juin 2016 pour l'économie bleue édicte en effet dans l'article 85 qu'« *à partir du 1^{er} janvier 2025, le rejet en mer des sédiments et résidus de dragage pollués est interdit. Une filière de traitement des sédiments et résidus et de récupération des macro-déchets associés est mise en place. Les seuils au-delà desquels les sédiments et résidus ne peuvent être immergés sont définis par voie réglementaire.* »
- On notera *a contrario* que le décret n° 2016-1110 du 11 août 2016 modifiant la nomenclature des études d'impact, privilégie un examen au cas par cas des projets de dragage répondant à des seuils

particuliers, réduisant ainsi le champ d'application de l'étude d'impact pour les opérations de dragage.

2.3.3 Une vision partagée des opérations de dragage : les schémas d'orientation des opérations de dragage

Les schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragage et des modalités de gestion des sédiments sont des outils d'aide à la décision. Ils ont vocation à accompagner les opérateurs, notamment portuaires, pour l'organisation de l'activité de dragage et de gestion des sédiments, au regard des caractéristiques du territoire et de ses enjeux environnementaux, économiques et sociétaux. Ils visent à anticiper les besoins des acteurs en leur proposant des outils adaptés à l'optimisation environnementale des dragages et de la gestion des sédiments dragués.

Le schéma d'orientation présente une utilité pour de nombreux acteurs :

- en ciblant les enjeux recensés sur un territoire dépassant les seules infrastructures portuaires,
- en éclairant les réflexions des maîtres d'ouvrage et de leurs interlocuteurs lors du dépôt d'un dossier de déclaration ou d'une demande d'autorisation de dragage, d'immersion ou de gestion à terre,
- en facilitant l'instruction des demandes d'autorisation par les services locaux de l'État, par un meilleur cadrage des enjeux,
- en participant à la mesure des impacts cumulés des activités de dragage sur un territoire défini,
- en incitant au partage de connaissances, à l'expression des besoins et des perspectives des acteurs (notamment concernant les options de traitement des sédiments à terre), et en contribuant

à la promotion du travail collectif lors de l'élaboration des schémas.

La réalisation d'un schéma d'orientation territorialisé implique la mise en place d'une structure de gouvernance, regroupant les acteurs qui auront la charge de coordonner, piloter puis rédiger le schéma d'orientation¹³.

Exemple des schémas d'orientation en Bretagne

Des départements (Finistère, Morbihan) ont élaboré au début des années 2000, des schémas de gestion de dragage pour développer une vision partagée sur les opérations de dragage et mutualiser l'organisation de l'activité pour l'ensemble des ports de leurs façades maritimes.

Par exemple, le Schéma de Référence des Dragages en Finistère répond à une demande exprimée par le Comité Départemental d'Information et de Suivi des Opérations de Dragages (CoDISOD), pour définir à la fois une méthode de travail commune et une vision départementale partagée sur les opérations de dragages et sur le devenir de leurs déblais. Le CoDISOD a été créé en 2003 par arrêté préfectoral, afin d'échanger et d'informer l'ensemble des acteurs maritimes concernés sur les opérations de dragages portuaires.

L'objectif est de mieux partager la connaissance de ce sujet sensible en Finistère sur ces opérations, leur réglementation et leurs impacts, aussi bien lors du dragage proprement dit que lors du traitement à terre ou du rejet en mer des matériaux dragués.

En 2011, les maîtres d'ouvrages portuaires bretons ont souhaité collectivement élaborer une Charte des dragages des ports bretons pour mieux identifier les enjeux liés aux dragages et ainsi engager un développement portuaire durable. Cette charte s'appuie sur une gouvernance à double niveau : chaque maître d'ouvrage reste acteur dans le champ de ses compétences, avec le souci d'une réflexion portée à l'échelle régionale. Un comité des maîtres d'ouvrages portuaires se réunit régulièrement afin de partager cette réflexion. La charte a permis la mise en œuvre d'axes de développement et d'actions partagées. Elle a facilité le dialogue avec l'État sur la réglementation.

Cependant, face à l'inquiétude des usagers, des professionnels et des associations environnementales, des évolutions réglementaires et de la volonté des maîtres d'ouvrage d'optimiser les opérations, la Conférence Régionale de la Mer et du Littoral (CRML), a décidé d'ouvrir un groupe de travail spécifique pour prolonger les réflexions. L'objectif était de renforcer les connaissances des participants du groupe sur ce sujet complexe, pour établir un socle commun de connaissances, un diagnostic, et co-construire des propositions d'amélioration pour la gestion des opérations de dragage et de clapage en Bretagne avec les acteurs concernés.

¹³ Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer. Élaboration de schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragage et des filières de gestion des sédiments. Juin 2016



Le dragage d'entretien de nos ports est un enjeu majeur pour maintenir l'accès des navires aux infrastructures portuaires et garantir la sécurité de la navigation. En 2015, la quantité de sédiments dragués en France s'élevait, hors Guyane, à environ 31 millions de tonnes (en poids sec).

La technique la plus utilisée dans les grands ports maritimes reste largement le dragage hydraulique, utilisant de préférence des dragues aspiratrices en marche. L'immersion et le rejet des sédiments demeurent de loin la principale technique utilisée pour la gestion des déblais de dragage en France.

Ainsi en 2013, quelque 25,3 millions de tonnes de matériaux ont été immergés ou rejetés en mer ou en zone estuarienne, ce qui représente 94 % de la quantité totale de sédiments dragués pour l'année.

Les enjeux environnementaux liés aux opérations de dragage sont forts. Ils s'expriment notamment à travers les stratégies nationales, régionales ou locales de mise en valeur de la mer et de protection de l'environnement.

A l'échelle internationale et européenne, ces enjeux environnementaux sont de plus en plus suivis et pris en compte notamment dans les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) visant à atteindre le bon état au titre de la Directive-Cadre sur l'Eau (DCE), les Plans d'Action pour le Milieu Marin (PAMM) visant à atteindre le bon état écologique au titre de la Directive-Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM).

Les enjeux sociétaux sont relatifs à l'acceptation de plus en plus difficile des opérations de dragage et d'immersion de matériaux de dragage par la société civile. Une approche plus restrictive, engagée par voie parlementaire, envisage un seuil au-delà duquel les sédiments issus des dragages ne pourront plus être immergés.

Dans ce contexte, les schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragage et des modalités de gestion des sédiments ont vocation à accompagner les opérateurs, notamment portuaires, pour l'organisation de l'activité de dragage et de gestion des sédiments, au regard des caractéristiques du territoire et de ses enjeux environnementaux, économiques et sociétaux.



3. Synthèse des impacts environnementaux des opérations de dragage

Les opérations de dragage et d'immersion, nécessaires au maintien et au développement des activités maritimes, contribuent à la pression exercée par l'homme sur l'environnement marin et estuarien. Elles peuvent générer de fait, certains effets sur l'environnement, les activités socioéconomiques ou encore la santé humaine.

3.1 Caractérisation des pressions du projet sur son environnement

Ces pressions sont relativement communes à l'ensemble des opérations et dépendent plus des caractéristiques techniques du projet que de son environnement. Le tableau 2 résume les principales pressions associées aux dragages et aux immersions, leurs causes et les critères descriptifs utiles à leur caractérisation. A noter que ces critères correspondent aux données techniques du projet. Ils sont à ce titre déterminés par les objectifs de dragage et d'immersion, les caractéristiques des matériaux visés, le matériel employé, et l'organisation opérationnelle du chantier.

Tableau 2 : Principales pressions associées aux dragages et aux immersions

Pression	Origine	Critères de caractérisation
Prélèvement du substrat et des espèces associées	Action de l'outil de dragage sur le fond (pelle, élince, désagrégateur, etc.)	Localisation, surface draguée, objectifs de profondeur, volume prélevé, durée et fréquence des prélèvements, caractéristiques des matériaux prélevés.
Recouvrement du substrat, de la faune et des espèces associées	Diffusion depuis l'outil de dépôt / diffusion des matériaux (barge, conduite hydraulique, etc.)	Localisation et périmètre de la zone de dépôt, hauteur prévisionnelle du dépôt, volume immergé, durée et fréquence des dépôts, caractéristiques des matériaux immergés.
Remise en suspension de matériaux et de contaminants associés	Action des outils de dragage + diffusion du dépôt + rejets éventuels (surverse)	Nature des matériaux remis en suspension, localisation des points de rejet, durée et fréquence des rejets, débit de rejet.
Occupation du plan d'eau	Présence des engins de chantier	Localisation et périmètre des opérations de travaux (dragages, immersions et trajets de navigation entre sites de travaux et port d'attache).
Emissions atmosphériques	Emissions des moteurs thermiques des dragues et des chalands, des moteurs auxiliaires des pompes et des autres équipements	Sources et caractéristiques des émissions atmosphériques émises, durée et occurrence d'émission.

Pression	Origine	Critères de caractérisation
Emission d'ondes sonores et vibratoires	Diffusion depuis les différentes sources de vibrations (moteurs) et de chocs.	Sources et caractéristiques des ondes sonores et vibratoires émises, durée et occurrence d'émission.
Emission d'ondes lumineuses	Diffusion depuis les différents éclairages sur le chantier.	Sources et caractéristiques des ondes lumineuses émises, durée et occurrence d'émission.

3.2 Synthèse des impacts génériques sur l'environnement

La littérature scientifique est abondante sur les impacts des opérations de dragage et rejets y afférents en milieu marin et estuarien. Deux **guides GEODE** proposent une synthèse exhaustive des impacts couramment constatés lors des opérations de dragage. Le lecteur se reportera utilement à ces deux guides :

- **Rédaction des études d'impact d'opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin. Guide méthodologique - Annexe technique « Effets et impacts ». Août 2014.**
- **Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion. Annexe 2 : Effets et impacts des opérations de dragage et d'immersion sur l'environnement. Décembre 2012.**

L'annexe 2 récapitule la typologie, les critères et outils d'évaluation des effets des dragages et rejets y afférents sur les différents compartiments de l'environnement marin et estuarien.

Les figures 9 et 10 proposent une illustration synthétique des différents liens de cause à effet pouvant s'établir lors d'une opération de dragage et lors d'une opération d'immersion.

Ces schémas illustrent les interrelations entre effets et compartiments et proposent une vue d'ensemble des mécanismes de perturbation des milieux potentiellement engendrés par les opérations de dragage et d'immersion. Définis dans une optique générique, ils ne décrivent pas des effets exhaustifs, ni un enchaînement systématique de perturbations. L'interprétation des interrelations doit être établie au cas par cas compte tenu des spécificités des opérations et des milieux.

Le code couleur des cases indique le compartiment considéré par l'effet en question.

	Effets sur le compartiment biotique
	Effets sur la colonne d'eau
	Effets sur le compartiment sédimentaire
	Effets sur les usages et activités

Le motif d'encadrement désigne le fait que l'effet considéré est directement ou indirectement lié à la pression initiale exercée sur le milieu.



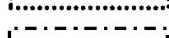
	Effets directs
	Effets indirects
	Effets directs ou indirects

Figure 9 : Schéma (1/2) de synthèse des relations de causes à effets des opérations de dragage (extraction) sur les différents compartiments de l'environnement

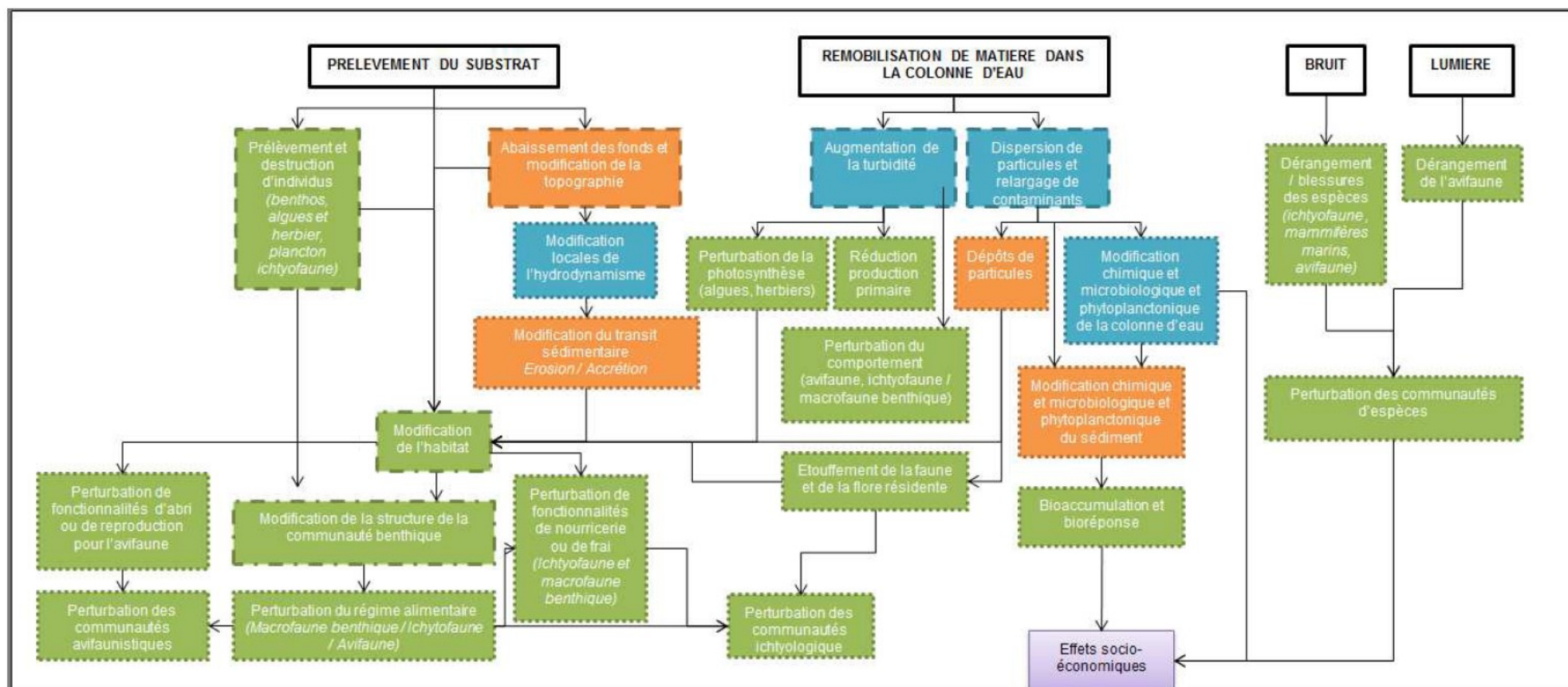
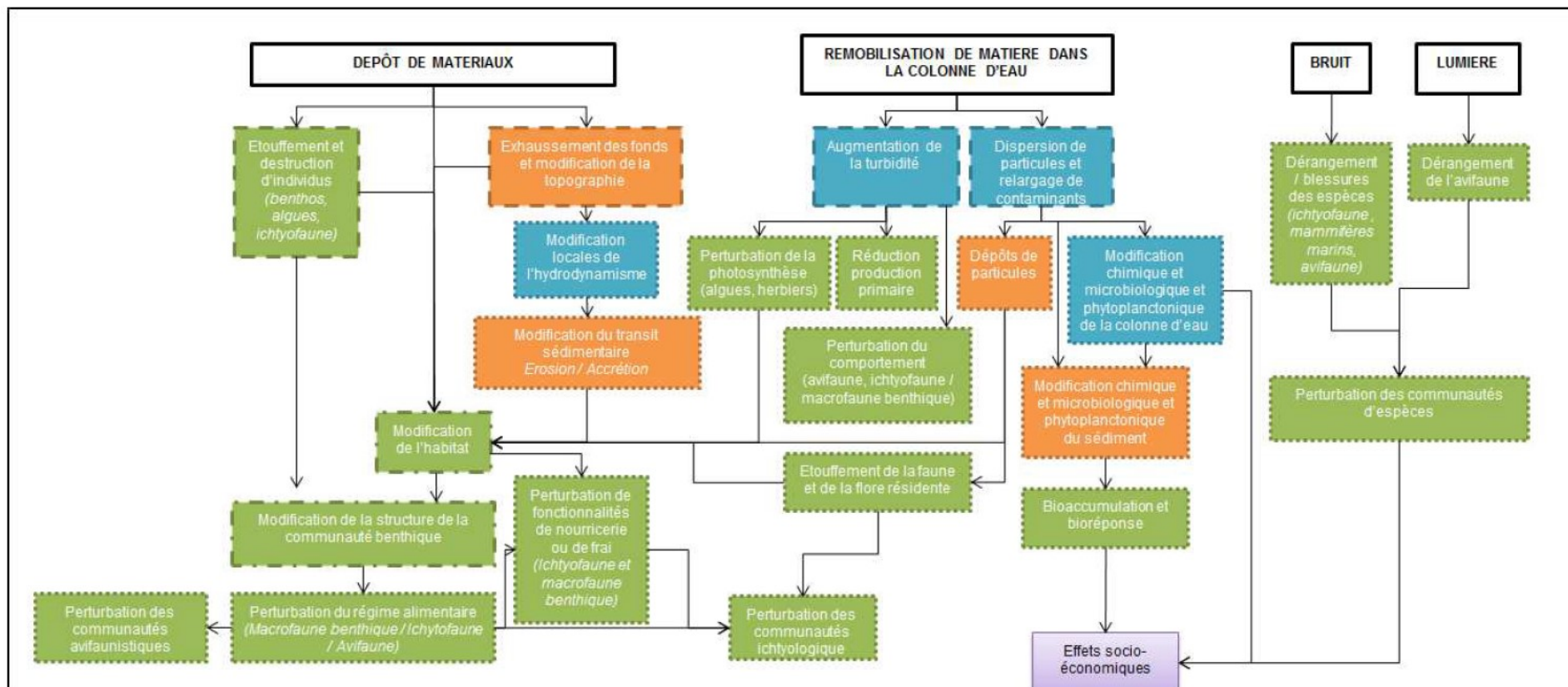


Figure 10 : Schéma (2/2) de synthèse des relations de causes à effets des opérations de dragage (immersion) sur les différents compartiments de l'environnement



3.3 Des enjeux et impacts différents selon les façades maritimes et les opérations de dragage

Les impacts génériques décrits dans le paragraphe 3.2 sont à moduler en fonction de plusieurs facteurs :

- **la façade maritime concernée** : Manche-Mer du Nord, Atlantique, Méditerranée, territoires ultra-marins eux-mêmes diversifiés,
- **la localisation géographique du site de dragage** (extraction et immersion) : site portuaire confiné, site proche de la côte, site en mer ouverte, estuaire, canal, lagune, lagon...,
- **Les caractéristiques des sédiments** : nature granulométrique et géochimique, degré de contamination,
- **les différents engins de dragage utilisés.**

Ces facteurs déterminent des enjeux environnementaux particuliers à chaque situation qui sont définis et évalués dans le cadre de la démarche d'évaluation environnementale préalable.

Le tableau 3 illustre, à titre d'exemples, plusieurs cas de dragage. Ces exemples ne couvrent évidemment pas l'ensemble des configurations d'opérations envisageables, l'objectif étant d'illustrer la variété des situations et la modulation des enjeux environnementaux qui peuvent en résulter (tableau 4).

Nota : dans le cas des dragages liés à des travaux neufs, il convient aussi de considérer les **impacts cumulatifs du dragage et des autres opérations liées** (construction de terre-pleins, de quais ou d'autres infrastructures portuaires).

Tableau 3 : Variété des situations des dragages sur les façades maritimes métropolitaines et ultramarines

Cas	Façade concernée	Type d'opérations	Caractéristiques du site d'extraction	Caractéristiques des matériaux à draguer	Techniques de dragage	Destination et caractéristiques du site de dépôt des matériaux
1	Méditerranée (Hérault)	Dragage d'entretien d'un avant-port (plaisance) Périodicité : 5 ans	Port de plaisance, à l'écart de l'agglomération principale. Masse d'eau influencée par une rivière côtière (turbidité moyenne) Côte sableuse avec banc de roches à 1 km au large avec herbier de posidonie Proximité d'une prise d'eau destinée à des installations conchyliques et aquacoles	Sédiments sableux peu contaminés < N1 Volume : 10 000 m ³	Drague aspiratrice stationnaire et refoulement direct par conduite	Rechargement de la plage adjacente par le sable extrait. Habitat sableux avec des tellines exploitées commercialement Haut de plage colonisé par des espèces terrestres protégées
2	Méditerranée (Var)	Dragage d'entretien d'un bassin portuaire envasé Faibles volumes Périodicité : 10 ans	Bassin d'un port à forte activité industrielle et militaire Masse d'eau dégradée par les apports du bassin versant Faible hydrodynamisme (rade protégée)	Sédiments vaseux fortement contaminés > N2	Dragage par roto dévasage	Unité de traitement spécialisée des sédiments pollués Destination finale : ISDD
3	Méditerranée (Hérault)	Dragage d'un chenal dans une lagune côtière	Lagune, forte biodiversité, Natura 2000, cultures marines	Sédiments non contaminés (400 m ³)	Dragage par pompe immergée	Engraisement d'un banc de sable à proximité immédiate du site d'extraction
4	Méditerranée (Monaco)	Dragage associé à la récupération d'un territoire en mer destiné à l'urbanisation	Site côtier densément urbanisé et fréquenté Proximité de deux réserves protégées (herbiers de posidonies et tombant coralligène) Forte fréquentation par les navires de plaisance	Sédiments vaseux contaminés > N2 (51 000 m ³) Anciens remblais (162 000 m ³) Sédiments sablo-vaseux (416 000 m ³), teneurs comprises entre N1 et N2 (dépassement N2 pour certains HAP)	Benne environnementale Pelle sur ponton Drague aspiratrice sans surverse	Exportation par barge vers une unité de traitement spécialisée Clapage ou immersion des sédiments dans des fonds de 200 m Vases de l'étage bathyal Présence d'un canyon sous-marin
5	Atlantique (Loire Atlantique)	Grand port de commerce dans un estuaire Dragage permanent d'entretien du chenal et d'accès au port	Estuaire formé de milieux humides d'une grande variété, périodiquement inondés selon les marées. Bouchon vaseux, vasières intertidales Sédiments vaseux non contaminés	Chenal maritime (5,2 Mm ³) Chenal aval (1,4 Mm ³) Chenal amont (1,5 Mm ³)	Drague aspiratrice en marche (DAM) DAM, drague aspiratrice stationnaire (DAS) et drague à injection d'eau DAS et drague par injection d'eau	Immersion en mer ouverte dans l'estuaire externe

Cas	Façade concernée	Type d'opération	Caractéristiques du site d'extraction	Caractéristiques des matériaux à draguer	Techniques de dragage	Destination et caractéristiques du site de dépôt des matériaux
6	Atlantique (Vendée)	Programme de dragage d'entretien pendant 10 ans d'un port mixte (pêche, plaisance, commerce) 140 000 m ³ sur dix ans	Port mixte au sein d'une ville touristique dense	Sédiments sableux à vaseux selon les bassins concernés Gradation des concentrations en métaux lourds dans les sédiments depuis le fond du port de commerce jusqu'au chenal. (dépassement N2 pour le cuivre, le TBT et les HAP)	Dragage des sédiments vaseux par drague aspiratrice- (moyenne annuelle des sédiments rejetés sur le bas estran : 9 500 m ³) Dragage sédiments sableux par drague aspiratrice (moyenne annuelle des sédiments immergés au large : 5 400 m ³) Remise en suspension (agitation, aspiration, injection d'eau ou d'air) pour les zones difficiles d'accès.	Immersion en mer au large du port clapage en mer à l'aide d'une barge ou d'une drague aspiratrice en marche Immersion devant l'estran de la grande plage: clapage à l'aide d'une barge ou d'une drague aspiratrice en marche à marée haute
7	Manche (Seine-Maritime)	Estuaire	Port de commerce dans un estuaire, dragages d'entretien	4,5 Mm ³ /an sables vaseux et vases sableuses) <N1	Drague aspiratrice en marche	Immersion sur un site dans l'estuaire de la Seine
8	Manche Mer du Nord (Manche)	Dragage d'un chenal d'accès (travaux neufs) et construction d'un terre-plein de 39 ha	Port de commerce dans une rade protégée		Déroctage et drague aspiratrice en marche	Réutilisation des matériaux de dragage pour construire un terre-plein
9	Outre-mer (Caraïbes)	Grand port de commerce Dragage préalable à la construction d'un terminal conteneurs de 10 ha et approfondissement d'un chenal d'accès	Ecosystèmes marins comprenant mangroves, herbiers à phanérogames et récifs coralliens (zone portuaire et extérieure), Port en contact avec la ville	Aucun dépassement des seuils N1 pour les PCB, les HAP et le TBT. Pour les métaux, quelques dépassements des seuils N1 pour le cuivre et l'arsenic vraisemblablement d'origine naturelle	Extraction mécanique (pelle sur ponton) pour le dragage des souilles des digues Drague aspiratrice en marche pour les vases	Roches et sables 630 000 m ³ réutilisés pour le terre-plein du terminal. Matériaux restants (sables et vases sableuses, tourbes : 6,4 Mm ³) immergés au large par chalands automoteurs ou drague aspiratrice.
10	Outre-mer (Océan Indien)	Dragages liés à la construction d'une infrastructure routière littorale	Linéaire côtier très exposé aux houles Système corallien	Sédiments grossiers non contaminés	Dragage par drague excavatrice Dragage ponctuel depuis la terre pour certains travaux	Réutilisation des sables sur place

Tableau 4 : Modulation des enjeux environnementaux en fonction de la typologie des dragages (les chiffres renvoient aux cas décrits dans le tableau 3)

	Colonne d'eau				Compartiment biotique				Compartiment sédimentaire				Usages et activités				
	Hydrodynamique	Turbidité	Contaminants chimiques		Bactériologie	Habitats d'espèces	Benthos	Poissons	Mammifères, tortues, avifaune	Topobathymétrie	Dépôts particules	Géochimie	Transit sédiment-	Bruit, vibrations	Emissions lumineuses	Emissions atmosphériques	Pêche, cultures marines
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	



4. Introduction aux Bonnes Pratiques Environnementales (BPE)

4.1 Que sont les bonnes pratiques environnementales ?

Le terme « **bonnes pratiques environnementales (BPE)** » désigne un ensemble d'actions matérielles et immatérielles, de techniques et de comportements qui font consensus et qui sont considérés par la plupart des professionnels du domaine, comme efficaces pour éviter ou réduire à un niveau acceptable, les impacts de l'activité sur l'environnement.

Une bonne pratique n'est pas uniquement une pratique qui est bonne, mais une pratique ayant fait ses preuves et permis d'obtenir de bons résultats, et qui est dès lors recommandée comme modèle. C'est une expérience réussie, testée et validée, au sens large, répétée, qui mérite d'être partagée afin qu'un plus grand nombre d'acteurs de la filière se l'approprient.

Enfin, notons ici que les « bonnes pratiques environnementales » ne doivent pas être confondues avec les Meilleures Techniques Disponibles (MTD) telles que définies réglementairement pour les filières industrielles¹⁴.

¹⁴ Dans le cadre de la Directive sur la prévention et le contrôle intégrés de la pollution (IPPC), les autorisations d'exploiter des ICPE (installations neuves et existantes) doit être fondée sur les performances des Meilleures Techniques Disponibles (MTD). Ces MTD sont évaluées de manière intégrée, c'est-à-dire toutes sources de nuisances confondues (air, eau, déchets, énergie...).

4.2 Les BPE appliquées aux travaux de dragage

Les BPE peuvent s'appliquer au moins à quatre étapes successives des activités de dragage, à savoir :

- la **conception du projet** : élaboration des études préliminaires, de l'avant-projet et du projet, évaluation environnementale (concertation et étude d'impact), **→ Chapitre 5**
- la **consultation des entreprises pour les appels d'offres de travaux** : introduction de critères environnementaux dans le règlement de la consultation (RC) et le cahier des clauses techniques particulières (CCTP) des marchés publics, **→ Chapitre 6**
- l'**exécution des travaux de dragage** : impacts induits par l'extraction des matériaux et leur immersion, suivi des impacts, plan de management environnemental, **→ Chapitre 7**
- le **suivi environnemental**. **→ Chapitre 8**

4.3 Revue des BPE

Les chapitres 5 à 8 présentent une **revue des BPE** selon les quatre étapes identifiées dans le paragraphe 4.2. Avant de les parcourir, le lecteur gardera à l'esprit les points suivants :

- la revue n'est pas exhaustive.
- les bonnes pratiques environnementales décrites sont adaptées à une situation environnementale particulière. Autrement dit, une mesure reconnue comme une BPE dans un environnement particulier, peut se révéler inutile ou inefficace ou encore tout simplement non applicable dans une autre situation.
- certaines mesures présentées relèvent d'une obligation réglementaire, comme l'assujettissement de certaines opérations de dragage à une évaluation environnementale.
- Les exemples pratiques de BPE sont décrits dans le corps du texte et repérables par la casse *italique* ; ainsi que dans les annexes, pour les cas présentant de plus longs développements.

5. Les BPE dans la conception du projet

5.1 Inscrire chaque opération de dragage dans une démarche stratégique

Il est impératif de positionner chaque opération de dragage par rapport aux grands enjeux environnementaux de l'espace maritime susceptibles d'en subir les incidences.

Cette démarche est évidemment facilitée lorsqu'il existe un schéma d'orientation des opérations de dragage (cf. paragraphe 2.3.3.) applicable à l'échelle de la façade maritime d'un département, d'un estuaire (plan de gestion des dragages de l'estuaire de la Gironde) ou d'une région (schéma d'orientation de la région Occitanie en cours d'élaboration).

Pour les Grands Ports Maritimes, le volet 4 (« Politique d'aménagement et de développement durable ») des Projets Stratégiques permet d'apporter des réponses globales en termes de gestion optimisée :

- des bassins portuaires et chenaux d'accès, que ce soit par des mesures préventives, s'appuyant sur une justification affinée des besoins des utilisateurs, ou par le dimensionnement des besoins de dragage,

- des matériaux dragués compte tenu de leur contamination, sachant que de tels dragages peuvent aussi contribuer à la modification de l'équilibre sédimentaire d'écosystèmes d'une grande richesse.

Dans les autres cas, les maîtres d'ouvrage s'appuieront, pour concevoir leur projet, sur les sujétions et recommandations données dans :

- les différents plans et programmes relevant de la politique nationale de protection de l'eau et de la biodiversité (SDAGE, PAMM),
- les outils de gestion locale comme les contrats de milieux (contrats de baie ou de rade) ; SMVM et volet littoral et maritime des SCoT.

décrits dans le chapitre 2.2.2.

Cependant, les enjeux environnementaux définis dans ces plans et programmes, réglementaires ou non, doivent être considérés comme « provisoires ». Ils sont réévalués lorsque des précisions sont apportées sur les caractéristiques techniques de l'opération (différents sites d'immersion, typologie des engins de dragage) et lorsque des informations plus détaillées sont apportées par l'évaluation environnementale, notamment dans le cadre de l'analyse de l'état initial (voir paragraphe 5.3).

Dès lors qu'il identifie les enjeux environnementaux et les contraintes environnementales majeures qui en résultent, le maître d'ouvrage peut alors affiner ses choix vers des modalités de dragage et d'immersion

potentiellement acceptables et présentant une pression moindre ou faible par rapport aux enjeux environnementaux.

5.2 Concevoir un projet global : de l'extraction à la gestion finale des matériaux de dragage

Maîtriser les impacts sur l'environnement d'une opération de dragage suppose que le maître d'ouvrage définisse, le plus exactement possible, le process technique et ses incidences environnementales, allant de l'extraction à la destination finale des matériaux.

5.2.1 Les techniques d'extraction

Les deux principales techniques d'extraction concernent :

- **le dragage mécanique** basé sur l'extraction des sédiments à l'aide d'un outil de préhension (godet, benne) qui ne déstructure que faiblement le matériau brut. Les volumes retirés et transportés sont donc, aux foisonnements près, sensiblement voisins de ceux en place dans le fond ;
- **et le dragage hydraulique** correspondant à l'enlèvement des matériaux à l'aide d'engins hydrauliques (drague aspiratrice) qui diluent les sédiments avec de l'eau. Le mélange produit (jusqu'à 90 % d'eau pour 10 % de sédiments) est alors pompé et refoulé par l'intermédiaire de canalisations.

Les tableaux 5 et 6 comparent les différents avantages et inconvénients de ces deux techniques.

Tableau 5 : Avantages et inconvénients du dragage mécanique

DRAGAGE MÉCANIQUE traction	
Avantages	Inconvénients
Déstructuration minimale des matériaux extraits entraînant une teneur en eau réduite	Prise d'eau conséquente dès que la hauteur des sédiments est trop faible pour permettre la pénétration complète de la benne preneuse
Compatible avec des matériaux comprenant des macro-déchets, enrochements...	Remise en suspension des MES assez conséquente lors de l'opération de dragage
Facilité de mobilisation	Emprise importante (ponton-pelle ou autre engin d'extraction + barge)

Transport des sédiments / traitement / gestion après extraction	
Avantages	Inconvénients
Possibilité de concilier dragage d'entretien avec dragage d'investissement (déroctage)	Pré-criblage des sédiments délicat
Temps de ressuyage moins long qu'avec une technique hydraulique (bassin de décantation)	Technique peu favorable à un traitement tel que l'hydrocyclonage, sans redilution des matériaux extraits
	Difficulté de ressuyage dès que l'épaisseur de sédiment est supérieure à 1 m

Tableau 6 : Avantages et inconvénients du dragage hydraulique

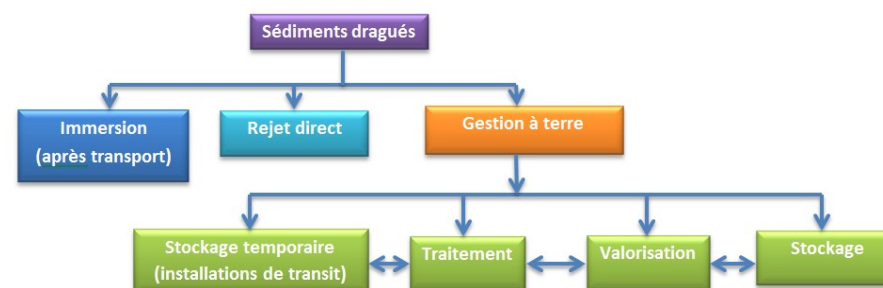
DRAGAGE HYDRAULIQUE	
Avantages	Inconvénients
Remise en suspension limitée	Teneur en eau élevée des sédiments en place
Bonne précision de dragage	
Rendement élevé et coûts moindres pour de grandes quantités et une épaisseur de sédiment conséquente	Extraction hydraulique incompatible en présence de macrodéchets, enrochements, ...

Transport des sédiments / traitement / gestion après extraction	
Avantages	Inconvénients
Meilleure séparation granulométrique pour un réemploi en sortie	Emprise importante à prévoir dans le cas d'un bassin de décantation (ressuyage des matériaux)
Traitement alternatif possible (criblage, hydrocyclonage...)	Temps de décantation / dessiccation longs (matériaux fins non sableux)
Brassage des sédiments dans le cas d'une décantation ou d'un hydrocyclonage : meilleure oxydation des contaminants organiques	Gestion des eaux de décantation délicate : contrôle du rejet dans les eaux de surface

5.2.2 Modes de gestion des sédiments

Après extraction des sédiments, plusieurs **filières d'élimination et/ou de valorisation** sont envisageables en fonction du niveau de contamination et de la nature des produits. Ces différentes filières sont régies par des seuils réglementaires stricts ou nécessitent une évaluation des risques environnementaux.

Figure 11 : Filières de gestion des sédiments (adapté de ¹⁵)



Notons que le choix peut porter sur une **filière mixte** lorsque :

- une partie des sédiments extraits exige un traitement à terre du fait d'une contamination mesurée ou que ses qualités géotechniques sont insuffisantes pour un réemploi,
- et l'autre partie, exempte de contamination significative, permette d'envisager une immersion ou une valorisation à terre.

Les principales filières de gestion des matériaux de dragage communément pratiquées sont résumées dans le tableau 7.

¹⁵ VNF. Circulaire technique. Dragages et gestion des sédiments. Février 2017

Tableau 7 : Principales filières de gestion des sédiments (d'après IDRA, 2013)

Filières compatibles	Caractéristiques du sédiment	Remarques / Analyses complémentaires à mener
Immersion en mer	Fraction fine majoritaire Qualité définie par l'arrêté interministériel du 9 août 2006	- Zone d'immersion compatible - Suivis environnementaux
Valorisation agronomique - Reconstitution de sol - Epandage agricole	Qualité chimique < seuils de l'arrêté du 8 janvier 1998 ou autres référentiels terrestres (seuils INRA)	- Prise en compte indispensable du sel - Analyse agronomique
Valorisation en rechargement de plage ou rejet en bas d'estran	Fraction sableuse uniquement, Sédiment exempt de contamination	Vérifier la cohérence granulométrique avec le sable en place
Valorisation / Réemploi en génie civil - Couches de soubassement - Remblais en grave routière-	Fraction sableuse majoritaire, Qualité en conformité aux valeurs du guide SETRA	- Test de lixiviation / percolation - Tests géotechniques (portance...)
Valorisation en couche imperméable - Réhabilitation de site (anciennes décharges, carrières...)	Fraction fine majoritaire ; Qualité conforme aux valeurs de l'arrêté du 28 octobre 2010 (« déchets inertes »)	- Test de lixiviation - Test de perméabilité - Test d'écotoxicité - Etude de risques sanitaires et environnementaux
Valorisation en Travaux Publics - Modelés paysagers - Merlons anti-bruit...	Fraction fine majoritaire ou mélange ; Contamination marginale admissible	- Test de lixiviation - Test de perméabilité - Test d'écotoxicité - Etude des risques sanitaires et environnementaux
Valorisation / réemploi in-situ - Création de terre-plein - Confinement en quai	Fraction fine mais teneur minimale en sable nécessaire Contamination plus facilement maîtrisable	- Test de lixiviation - Tests géotechniques - Etude de risques sanitaires et environnementaux
Réemploi en matériaux de construction : - Fabrication de tétrapode, briques...-	Fraction fine mais teneur minimum en sable nécessaire	- Tests géotechniques - Etude de risques sanitaires et environnementaux <i>[Filière pour le moment uniquement expérimentale]</i>
Stockage définitif - ISDI - ISDND - Site de stockage monospécifique - ISDD	Fraction fine majoritaire ou mélange Qualité visée au regard des valeurs de l'arrêté du 28 octobre 2010 (« déchets inertes ») et arrêté du 15 février 2016 relatif aux installations de stockage de déchets de sédiments	- Teneurs en chlorure souvent pénalisantes pour ISDI, sauf égouttage prolongé. - Test de lixiviation

5.3 L'apport de l'évaluation environnementale

5.3.1 Un outil d'aide à la conception du projet

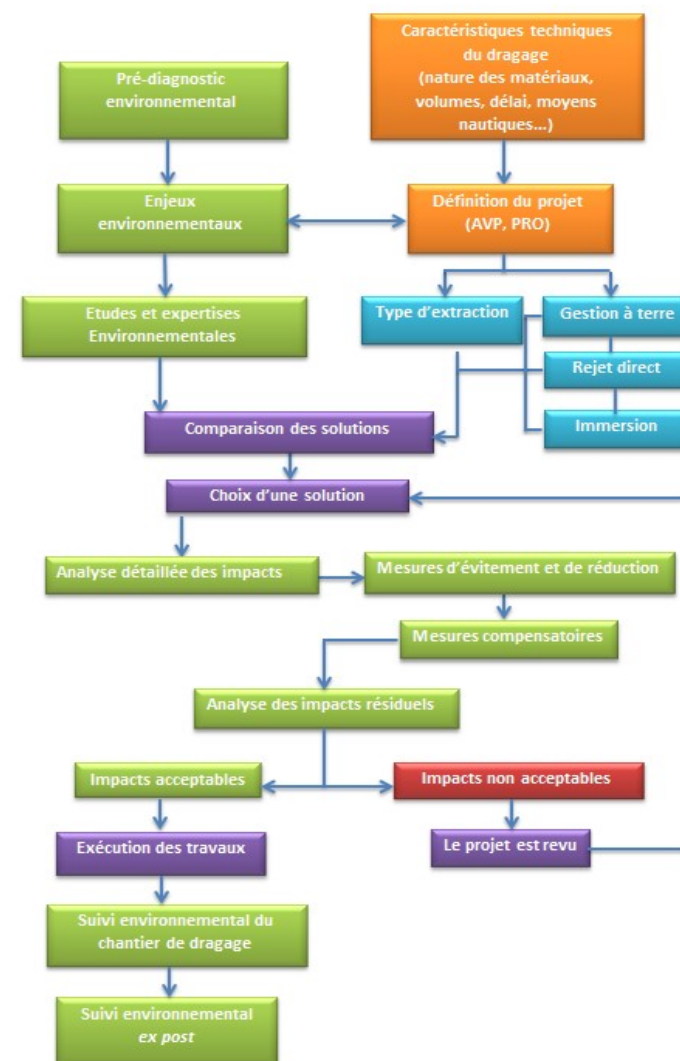
L'évaluation environnementale d'un projet est réalisée par le maître d'ouvrage ou sous sa responsabilité. Elle consiste à intégrer les enjeux environnementaux tout au long de la préparation du projet et du processus décisionnel qui l'accompagne (Figure 12). Elle rend compte des effets prévisibles et permet d'analyser et de justifier les choix retenus au regard des enjeux identifiés. Elle vise ainsi à prévenir les dommages, ce qui s'avère en général moins coûteux que de gérer ceux-ci une fois survenus.

Concernant la démarche générale de l'évaluation environnementale, le lecteur se reportera utilement aux **guides méthodologiques GEODE** :

- **GEODE. Rédaction des études d'impact d'opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin et ses deux annexes techniques : « Effets et impacts » et « Réglementation », août 2014.**
- **DREAL Occitanie. Document de cadrage préalable des études d'impact relatives aux opérations côtières de protection du littoral sableux du Languedoc-Roussillon, juillet 2011.**

Les dix principes clefs de l'étude d'impact sont rappelés dans **l'annexe 3**.

Figure 12 ci-contre : Démarche de projet intégrant les critères environnementaux



5.3.2 L'évolution réglementaire récente

Le décret n° 2016-1110 du 11 août 2016 précise les modalités d'application des nouvelles règles applicables à l'évaluation environnementale des projets, plans et programmes, résultant de l'ordonnance n° 2016-1058 du 3 août 2016. Il fixe notamment les catégories de projets et la liste des plans et programmes qui devront faire l'objet d'une évaluation environnementale, ainsi que le contenu de l'étude d'impact complétée par un volet relatif à la vulnérabilité du projet à des risques d'accident ou de catastrophes majeurs.

Selon l'annexe à l'article R. 122-2 du code de l'environnement, les opérations de dragage marin relèvent de la **catégorie 25 : Extraction de minéraux par dragage marin ou fluvial** (tableau 8). Les opérations de dragage pour des travaux neufs maritimes et les dragages d'entretien ne sont plus systématiquement soumises à étude d'impact.

Sont soumis à un **examen au cas par cas**, concernant l'opportunité de réaliser une étude d'impact, les projets de dragage dont les teneurs en contaminants des sédiments sont :

- supérieures à N2,
- comprises entre N1 et N2 avec certaines autres conditions,
- inférieures à N1 pour des volumes $\geq 500\,000\text{ m}^3$.

Pour mémoire, les opérations de dragage relevant de la déclaration au titre de la loi sur l'eau (article R 214-1 et suivants du code de l'environnement) font l'objet d'un document d'incidences sur l'eau et les milieux aquatiques. Toutes les opérations de dragage peuvent également nécessiter une évaluation des incidences sur les conditions de conservation des sites Natura 2000 au titre de l'article L. 414 du code de l'environnement.

Tableau 8 : Conditions de soumission des projets de dragage à l'examen au cas par cas ou à évaluation environnementale (catégorie 25 du tableau de l'annexe à l'article R. 122-2)

Projets soumis à évaluation environnementale	Projet soumis à examen au cas par cas
Extraction de minéraux par dragage marin : ouverture de travaux d'exploitation concernant les substances minérales ou fossiles contenues dans les fonds marins du domaine public, de la zone économique exclusive et du plateau continental.	<p>a) Dragage et/ou rejet y afférent en milieu marin :</p> <ul style="list-style-type: none"> • dont la teneur des sédiments extraits est supérieure ou égale au niveau de référence N2 pour l'un au moins des éléments qui y figurent; • dont la teneur des sédiments extraits est comprise entre les niveaux de référence N1 et N2 pour l'un des éléments qui y figurent: <ul style="list-style-type: none"> i) et, sur la façade métropolitaine Atlantique-Manche-mer du Nord et lorsque le rejet est situé à 1 km ou plus d'une zone conchylicole ou de cultures marines dont le volume maximal <i>in situ</i> dragué au cours de douze mois consécutifs est supérieur ou égal à $50\,000\text{ m}^3$; ii) et, sur les autres façades ou lorsque le rejet est situé à moins de 1 km d'une zone conchylicole ou de cultures marines dont le volume maximal <i>in situ</i> dragué au cours de douze mois consécutifs est supérieur ou égal à $5\,000\text{ m}^3$; • dont la teneur des sédiments extraits est inférieure ou égale au niveau de référence N1 pour l'ensemble des éléments qui y figurent et dont le volume <i>in situ</i> dragué au cours de douze mois consécutifs est supérieur ou égal à $500\,000\text{ m}^3$. <p>(b) (...)</p>

Notons enfin que le décret précité révisé la **notion de « projet »** indiquant que l'appréciation des incidences sur l'environnement des projets ou de leur modification doit être globale.

L'évaluation environnementale a en effet pour objet de permettre d'évaluer non seulement l'incidence des travaux de dragage envisagés, mais aussi celle du projet global à réaliser (cas fréquent d'un projet portuaire ou maritime incluant des travaux de dragage).

5.3.3 Adopter la séquence « Eviter, réduire, Compenser »

Tout projet de dragage doit être élaboré en visant la non dégradation des milieux aquatiques et doit constituer, par sa nature et ses modalités opérationnelles, la meilleure option environnementale permettant de respecter les principes évoqués aux articles L. 211-1 (gestion équilibrée et durable de la ressource en eau) et L. 212-1 du code de l'environnement (objectifs du SDAGE relatifs à l'atteinte du bon état des masses d'eau et au respect des zones protégées notamment).

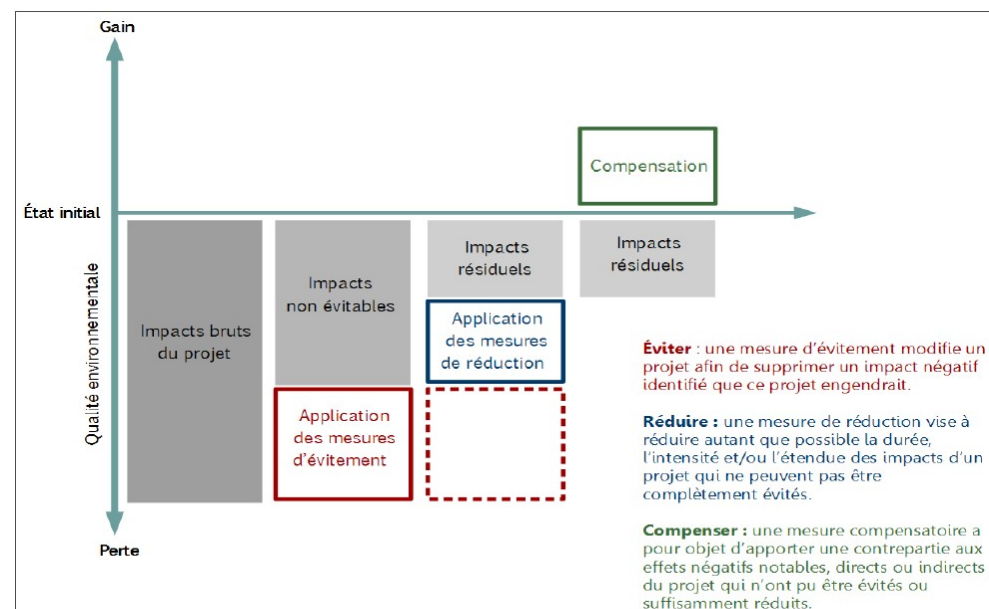
Dans cet objectif, les opérateurs sont invités à appliquer de manière exemplaire la séquence « Eviter-Réduire-Compenser », ou séquence « ERC »¹⁶ (Figure 13) pour assurer la meilleure prise en compte des enjeux environnementaux dès l'amont des projets (à la conception des projets et au plus tard à partir du stade de programmation financière), puis tout au long de leur élaboration.

Cette séquence consiste à **donner d'abord la priorité à l'évitement des impacts puis à prendre les mesures permettant de réduire les impacts qui ne peuvent être évités.**

¹⁶ Le guide « lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur les milieux naturels » (MEDDE, octobre 2013) propose des recommandations utiles aux porteurs de projets afin de mieux anticiper et de concrétiser les attendus de cette séquence en amont des projets, au moment de la phase réglementaire, puis au cours de la mise en œuvre et du suivi des mesures environnementales.

Les impacts qui n'auraient pas pu être évités doivent être suffisamment réduits pour ne plus constituer que des impacts négatifs résiduels les plus faibles possibles. La question de la **compensation** ne se pose qu'en dernier lieu, une fois établies les meilleures solutions d'évitement puis de réduction des impacts du projet.

Figure 13 : Logique de la séquence ERC¹⁷



¹⁷ MTES. La séquence « éviter, réduire et compenser », un dispositif consolidé. *THEMA / Essentiel*. Mars 2017

En application, les **annexes 4 et 5** illustrent deux cas très différents, par les enjeux et les quantités de sédiments mises en œuvre, appliquant à minima la démarche « Eviter / Réduire » :

- le dragage d'entretien du chenal de navigation et des installations portuaires de l'estuaire aval de la Seine (Grand Port Maritime de Rouen),
- le dragage de la passe du canal des Quilles dans l'étang de Thau (Hérault).

5.3.3.1 Les mesures d'évitement et de réduction

Les solutions d'évitement et de réduction des impacts doivent être recherchées dès l'amont du projet, par l'étude de plusieurs scénarios permettant de comparer :

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| • les techniques d'extraction impactant le moins les milieux à un coût économique acceptable, | → Paragraphes 5.2.1. et 5.4.2. |
| • les modes de gestion des sédiments favorisant leur réemploi ou leur valorisation, | → Paragraphe 5.2.2. |
| • en cas d'immersion des sédiments, des sites présentant des impacts acceptables pour l'environnement et les activités socio-économiques. | → Paragraphe 5.5. |

- **Les solutions d'évitement et de réduction des impacts se poursuivent pendant les travaux d'exécution des dragages par l'application des bonnes pratiques environnementales.** → Chapitre 7.

5.3.3.2 Les mesures de compensation

En dernier recours, des **mesures compensatoires** doivent être engagées pour apporter une contrepartie positive si des impacts négatifs persistent. Les mesures compensatoires sont définies précisément par l'article L.122-14 du code de l'environnement : « *Les mesures compensatoires ont pour objet d'apporter une contrepartie aux effets négatifs notables, directs ou indirects, du projet qui n'ont pu être évités ou suffisamment réduits. Elles sont mises en œuvre en priorité sur le site endommagé ou à proximité de celui-ci afin de garantir sa fonctionnalité de manière pérenne. Elles doivent permettre de conserver globalement et, si possible, d'améliorer la qualité environnementale des milieux.* »

La compensation en milieu marin

Elle reste un parent pauvre par rapport aux progrès réalisés dans le domaine terrestre. Cela s'explique en partie par la difficulté d'évaluer les impacts sur les milieux marins et d'appliquer des mesures faisables et pérennes. Insistons d'emblée sur le fait que l'évaluation des impacts en milieu marin est complexe pour diverses raisons :

- La mer est un milieu mouvant et il est difficile de définir des périmètres de pression environnementale intangibles et incontestés.

- Les impacts sur le milieu marin peuvent être très étendus et sont à considérer selon l'étagement et l'interdépendance des différents compartiments : colonne d'eau, sédiments, milieux vivants, apports extérieurs ...).
- La notion de « responsabilité » des impacts est complexe en mer du fait de l'absence de « propriétaire » foncier.
- Les processus écologiques impactés (tels que la production de biomasse), la production des services écosystémiques et leurs bénéficiaires ont une distribution spatiale différente. Par exemple, le dragage d'un chenal portuaire en connexion avec une lagune, peut impacter significativement les échanges migratoires entre mer et lagune, et avoir des répercussions sur le recrutement des espèces pêchées en mer et donc sur les pêcheries correspondantes.
- L'état des connaissances écosystémiques du milieu marin reste encore lacunaire.

Comme pour les milieux terrestres, les mesures compensatoires font appel à des actions écologiques ainsi qu'à des mesures de gestion qui doivent tenir compte des spécificités du milieu marin :

- les écosystèmes marins sont moins cloisonnés que les écosystèmes terrestres ; ils communiquent et sont interdépendants sur des distances considérables ;
- l'acquisition foncière est exclue car le domaine public maritime est inaliénable et imprescriptible ;
- les actions de restauration sont plus difficiles et coûteuses à mettre en place qu'à terre, et leur efficacité est incertaine, notamment en raison de la lenteur des processus de recolonisation ou de croissance (exemple des réimplantations de phanérogames marines, par exemple) ;

- les suivis nécessitent des moyens à la mer importants et donc coûteux ;
- la gestion de la mesure doit prendre en compte la pression des autres usages sur le site ou à proximité pour assurer son efficacité.

Un rapport récent du CGEDD ¹⁸ considère que « l'amélioration de la séquence ERC en mer nécessitera plusieurs grands types de mesures.

- *Le premier est le renforcement de la prise en compte du milieu marin par les politiques publiques (...).*
- *Le deuxième consiste à remonter à l'étape de planification une bonne partie des évaluations d'incidence environnementale et des analyses de l'état initial qui permettent aux porteurs de projet d'agir plus facilement dans un univers mieux balisé. Il s'y ajoute la mise en place de systèmes de compensation mutualisés afin de pallier la quasi impossibilité de compenser en mer.*
- *Enfin, une troisième dimension viendra du renforcement de la connaissance des milieux, par la recherche, par la valorisation de ses résultats et par la normalisation des bonnes pratiques. Un effort tout particulier devra être consenti en direction des territoires d'outre-mer afin de leur permettre d'acquérir les connaissances et de développer l'expertise qui leur permettent de préserver la biodiversité marine tout en réalisant leurs ambitions de développement. »*

¹⁸ Ministère de la Transition Écologique et Solidaire. Mise en œuvre de la séquence « éviter-réduire-compenser » en mer. CGEDD - Rapport n° 010966-01 établi par C. Avezard, F. Marendet et É. Vindimian (coordonnateur). Octobre 2017.

Le guide EVAL-IMPACT¹⁹ souligne la complexité de la mise en œuvre des mesures compensatoires en mer répondant à l'ensemble des critères définis par les « lignes directrices nationales »²⁰. Devant cette difficulté, il propose de hiérarchiser les mesures compensatoires en deux niveaux.

Tableau 9 : Hiérarchisation des mesures compensatoires en mer (DREAL PACA, 2018)

Niveau de la mesure	Types	Remarques
Mesures d'évitement et de réduction	Evitement des périodes et des zones les plus sensibles, Dispositifs anti-turbidité, anti-bruit,...	Priorité aux mesures d'évitement/réduction
Mesure compensatoires de niveau 1	Protection et gestion d'espaces protégées, Evolution des pratiques de gestion	Mesures respectant au maximum les principes de la séquence ERC
Mesures compensatoires de niveau 2	Transplantation d'espèces Réhabilitation écologique	Mesures respectant <i>a minima</i> les principes de la séquence ERC
Mesures transversales ou d'accompagnement	Acquisition de connaissances, Opérations de sensibilisation, Programmes de R et D	Mesures additionnelles aux mesures de niveau 1 et 2

¹⁹ DREAL PACA. Guide-cadre *Eval_Impact*. Impacts des projets d'activités et d'aménagements en milieu marin méditerranéen. Recommandations des services instructeurs. Fascicule 3 - Mise en œuvre de la séquence « Éviter, Réduire et Compenser » : focus sur l'application de mesures compensatoires en mer. Version provisoire, décembre 2017.

²⁰ Voir note 16.

Dragage et compensation

Il convient de distinguer :

- les dragages d'entretien ou les dragages d'emprunt de matériaux pour des opérations particulières (rechargement de plages, remblaiement pour construire un terre-plein portuaire) pour lesquels les opérateurs ne prévoient pas de mesures compensatoires *sensu stricto*,
- les dragages liés à des travaux maritimes neufs généralement intégrés dans un programme de développement portuaire. Les mesures compensatoires sont alors dimensionnées pour répondre à l'ensemble des impacts cumulés résiduels de l'ensemble du projet.

Le tableau 10 donne quelques exemples de mesures compensatoires.

Tableau 10 : Exemples de mesures compensatoires relatives à des opérations de dragage

Type de dragage	Impacts à compenser	Mesures compensatoires
Dragage d'entretien en estuaire	- La remise en suspension provoquée par les dragages peut participer à l'envasement des étiers qui relient le fleuve aux marais et zones humides continentales.	- Curage des chenaux et du réseau hydrique connecté à l'estuaire, pour maintenir dans un état convenable le réseau des étiers, habitat d'intérêt communautaire
Dragage et construction d'un port porte-conteneurs dans un estuaire	- Pertes de vasières et de fonctionnalités écologiques pour la faune et la flore	- Reconnexion de zones humides, - Réhabilitation de vasières par méandrage (creusement d'un méandre d'environ 15 ha pour améliorer la circulation de l'eau et créer de nouvelles vasières), - Création de deux reposoirs à oiseaux à partir de produits de dragage ainsi que d'enrochements.
Dragage préalable à l'installation de pontons dans un port de plaisance à l'entrée d'une lagune	- Risque de destruction de plusieurs dizaines d'individus d'une espèce protégée (grande Nacre)	- Transplantation préalable des grandes Nacres dans une zone lagunaire protégée
Dragage, déroctage et construction d'un quai de commerce et d'un terre-plein portuaire	- Destruction de mattes mortes de posidonies - Suppression de petits fonds côtiers sablo-vaseux, galets et petits enrochements	- Installation de microhabitats destinés aux juvéniles de poissons sur le quai et les talus en enrochements, - Mise en place d'une Zone de Mouillage d'Équipements Légers (ZMEL) pour les navires de plaisance afin de diminuer la pression des ancres sur un herbier voisin en voie de dégradation.
Dragage et déroctage pour l'aménagement d'un chenal de navigation et l'extension dans un port maritime des Antilles françaises	- Destruction directe d'une pente externe à colonies coralliennes denses et d'un platier à colonies coralliennes plus ou moins denses (7 800 m ²) et d'herbiers de phanérogames (10 000 m ²) - Impact possible sur les mangroves (sur-sédimentation du front de mangrove)	- Restauration des herbiers de phanérogames marines par germination et transplantation, - Réimplantation de quelque 4 000 colonies coralliennes, - Cultures de larves en vue d'une transplantation sur des récifs, - Restauration des mangroves par replantation et protection des nouvelles zones et par nettoyage des mangroves, - Création d'un sentier sous-marin à but éducatif et sensibilisation au milieu marin, - Mesures d'accompagnement pour la pêche professionnelle : dédommagement en cas de destruction d'engins de pêche ; capture et culture post-larvaire ; immersion de Dispositifs de Concentration de Poissons (DCP) et de récifs de production.

5.3.4 La participation des parties prenantes

L'évaluation environnementale contribue à la transparence des choix décisionnels notamment par **l'information et la participation du public**. Pour le maître d'ouvrage, l'élaboration de l'étude d'impact est ainsi l'occasion d'engager le dialogue avec les partenaires institutionnels, les associations et le public. Il peut ainsi expliquer sa démarche d'intégration de l'environnement, mais aussi affirmer sa capacité à prendre en compte les préoccupations de ses interlocuteurs.

5.3.4.1 Quel mode de gouvernance ?

Les **modes de gouvernance** doivent être adaptés aux contextes territoriaux et opérationnels spécifiques dans lesquels s'inscrivent ces opérations en fonction de :

- la nature des projets : dragage et immersion de petits volumes épars ou occasionnels, dragage et immersion réguliers de volumes importants sur des surfaces conséquentes, sédiments contaminés ou non, etc.
- la sensibilité environnementale des sites concernés.

Il s'agit avant tout de privilégier la mise en place d'une instance de gouvernance efficace et réactive, capable d'accompagner la conception de l'opération et l'élaboration de l'étude d'impact en fonction des enjeux environnementaux spécifiques.

Par retour d'expériences, les instances de gouvernance peuvent impliquer *a minima* les services de police de l'eau amenés à instruire les procédures d'autorisation ou de déclaration (encadré n° 1), des comités de suivi mis en place en réponse à l'importance des enjeux (encadré n° 2), l'ensemble des acteurs locaux, mobilisés à l'échelle départementale (encadré n° 3).

Encadré n° 1 : Gouvernance simplifiée impliquant le maître d'ouvrage et les services de police de l'eau

Dans le cas de petites opérations de dragage caractéristiques de ports petits à moyens, la structure de gouvernance des opérations de dragage la plus simple et la plus répandue est bipartite et regroupe le maître d'ouvrage et les services de la police de l'eau instruisant le dossier de demande d'autorisation ou de déclaration.

Des échanges réguliers sont nécessaires entre le pétitionnaire et le service de police de l'eau pendant l'élaboration de l'étude d'impact, préalablement à l'instruction administrative du dossier. Ils portent sur l'ensemble des études, la conception du projet, le processus qui mène au choix du site d'immersion. Ils permettent de définir certaines méthodologies (par exemple, le plan d'échantillonnage des sédiments pour caractériser leur qualité physico-chimique) ou par exemple de discuter et valider la mise en œuvre d'un suivi environnemental.

Dans le cas d'opérations plus régulières ou plus conséquentes, des formes de gouvernance réunissant d'avantage d'acteurs peuvent être mises en place. Dans tous les cas, la consultation des acteurs et usagers est recommandée, même si elle est informelle.

Encadré n° 2 : Les comités de suivi et commissions d'information pour les travaux

Des comités de suivi ont été créés de manière à assurer un suivi des études réalisées et des mesures prises par le pétitionnaire pour éviter et limiter les incidences des travaux de dragage d'entretien ou de travaux neufs. La commission d'information est tenue informée des mesures de surveillance. Elle participe à toute action locale d'information et de communication qu'elle juge utile.

Encadré n° 3 : le Schéma de Référence des Dragages en Finistère

Ce schéma répond à une demande exprimée par le Comité Départemental d'Information et de Suivi des Opérations de Dragages (CoDISOD), pour définir à la fois une méthode de travail commune et une vision départementale partagée sur les opérations de dragages et sur le devenir de leurs déblais. Le CoDISOD a été créé en 2003 par arrêté préfectoral, afin d'échanger et d'informer l'ensemble des acteurs maritimes concernés par les opérations de dragages portuaires. Son objectif est de mieux partager la connaissance de ce sujet sensible en Finistère et de ces opérations, de leur réglementation et de leurs impacts, aussi bien lors de la phase de dragage proprement dit ou lors de la phase de traitement à terre ou de rejet en mer des matériaux dragués.

5.3.4.2 Etapes-clefs d'une démarche participative

Etape-clé n° 1.

Qualification et hiérarchisation des enjeux environnementaux

Etape 1	Objectifs à atteindre
<p>Le maître d'ouvrage explique :</p> <ul style="list-style-type: none"> sa politique de développement portuaire et la stratégie « dragages » qui en découle, les options techniques à sa disposition (techniques possibles de dragage et destination des matériaux, notamment les sites d'immersion en mer et/ou les modalités de gestion à terre), l'historique des dragages et immersions déjà réalisées. 	<ul style="list-style-type: none"> Connaître les objectifs des acteurs, Susciter les échanges sur les options techniques envisageables (mise en dépôt des matériaux de dragage à terre vs. immersion des matériaux ; réutilisation et valorisation), Repérer les secteurs de l'espace maritime où des sites d'immersion sont envisageables.

Etape-clé n° 2 si l'option de l'immersion a été retenue.

Sélection d'un site d'immersion et définition d'une démarche partagée de l'évaluation des effets

Etape 2	Objectifs à atteindre
<p>Le maître d'ouvrage expose :</p> <ul style="list-style-type: none"> les études préliminaires (diagnostic du milieu marin et des usages) et les contraintes qui en découlent, les techniques de dragage / immersion envisagées et les sites potentiels d'immersion, les indicateurs de comparaison techniques, environnementaux et économiques, les résultats issus de la comparaison multicritère, la démarche d'évaluation des effets envisagés. 	<ul style="list-style-type: none"> Rechercher un consensus sur une ou plusieurs techniques envisageables et sur un site d'immersion (à la demande de l'instance de gouvernance, de nouvelles comparaisons peuvent être menées en cas de blocage ou pour conforter une solution par rapport à une autre). Cadrer les observations des acteurs sur les « meilleures pratiques environnementales » à mettre en œuvre, une fois le site accepté, ceci afin d'obtenir une démarche d'étude partagée pour la phase suivante consistant à évaluer les effets de l'opération sur l'environnement.

Etape-clé n° 3. Evaluation des effets des opérations de dragage et d'immersion

Etape 3	Objectifs à atteindre
<p>Le maître d'ouvrage explique dans l'étude d'impact :</p> <ul style="list-style-type: none"> les effets des opérations de dragage et d'immersion sur l'environnement et les autres activités socio-économiques ainsi que les effets cumulés avec d'autres projets, comment il entend éviter à la source ou réduire les effets négatifs de ses opérations et appliquer des « bonnes pratiques environnementales », voire comment il entend compenser les impacts significatifs n'ayant pu être évités ou réduits, et comment il souhaite évaluer <i>a posteriori</i> les effets de l'opération. 	<ul style="list-style-type: none"> Diffuser les résultats de l'évaluation des effets, Démontrer l'efficacité des mesures prises à la source pour éviter ou limiter les effets dommageables, Associer l'instance de gouvernance à l'élaboration d'un programme de suivi environnemental et à sa mise en œuvre.

Etape-clé n° 4. Suivre les effets sur l'environnement

Etape 4	Objectifs à atteindre
<p>Le maître d'ouvrage :</p> <ul style="list-style-type: none"> met au point le contenu du suivi environnemental au stade de l'élaboration de l'étude d'impact (nature des paramètres à suivre, stratégie d'échantillonnage et méthodes d'analyses). organise sa mise en œuvre opérationnelle, analyse les résultats du suivi pour dégager les tendances d'évolution du milieu, préciser l'état des connaissances, pointer les lacunes éventuelles, et proposer le cas échéant l'évolution et l'adaptation du programme de suivi, restitue les résultats du suivi à l'instance de gouvernance, présente un bilan de la concertation montrant comment l'opération de dragage a été optimisée au regard des préoccupations d'environnement et comment les suggestions et recommandations des acteurs locaux ont été prises en compte. 	<ul style="list-style-type: none"> Informar des étapes opérationnelles du suivi, Comprendre les résultats obtenus et les effets réels de l'opération de dragage,

5.4 Éléments de choix des modalités de dragage

5.4.1 Caractérisation des matériaux à draguer

Les filières de gestion des matériaux dragués (immersion, valorisation, traitement ou confinement des matériaux) sont déterminées notamment en fonction de leur qualité physico-chimique. La pertinence d'une immersion est appréciée en fonction de la teneur en contaminants des matériaux, de leur granulométrie et des impacts prévisionnels sur l'environnement.

La connaissance de la qualité des matériaux est donc nécessaire le plus en amont possible afin de définir les modes de gestion les plus appropriés à la maîtrise des effets de l'opération sur l'environnement.

GEODE a édité un **guide** recommandant des méthodes éprouvées pour caractériser les matériaux de dragage destinés à être immergés en milieu marin ou estuarien.

GEODE. Bonnes pratiques pour la caractérisation des matériaux en vue d'une opération de dragage et d'immersion en milieu marin et estuarien. Novembre 2016.

Ce guide traite successivement : la définition de la stratégie d'échantillonnage, la réalisation des prélèvements et le conditionnement des échantillons, les analyses à mener au regard de la réglementation et du contexte local, la conduite des analyses, l'interprétation et la gestion des résultats.

5.4.1.1 Connaissance de la contamination des sédiments d'un site

Les analyses du milieu (eau, sédiments) faites par le Réseau de surveillance de la qualité des sédiments des Ports Maritimes (REPOM)²¹, ainsi que les analyses disponibles (par exemple, dans le cadre du système de management environnemental engagé par certains GPM) ou les études existantes, constituent un socle informationnel solide pour cadrer le niveau de contamination des sédiments. Elles permettent généralement de cibler, pour les sites intégrés au réseau :

- **les paramètres dépassant les seuils référentiels,**
- **l'évolution spatiale des polluants** : stations présentant des pollutions avérées, différentiel en fonction de la profondeur dans les sédiments,
- **l'évolution historique des polluants** (variations dans le temps),
- **les particularités propres à un site** : concentrations d'hydrocarbures à proximité d'une aire d'avitaillement en carburant, de métaux lourds à l'aplomb d'un quai minéralier, pollution particulière au niveau d'un exutoire pluvial, contaminants liés à une activité spécifique...

5.4.1.2 Caractérisation des sédiments à draguer

La stratégie d'échantillonnage doit reposer sur les considérations suivantes :

- **Le plan d'échantillonnage et les prélèvements des matériaux** dragués sont effectués sous la responsabilité du maître d'ouvrage

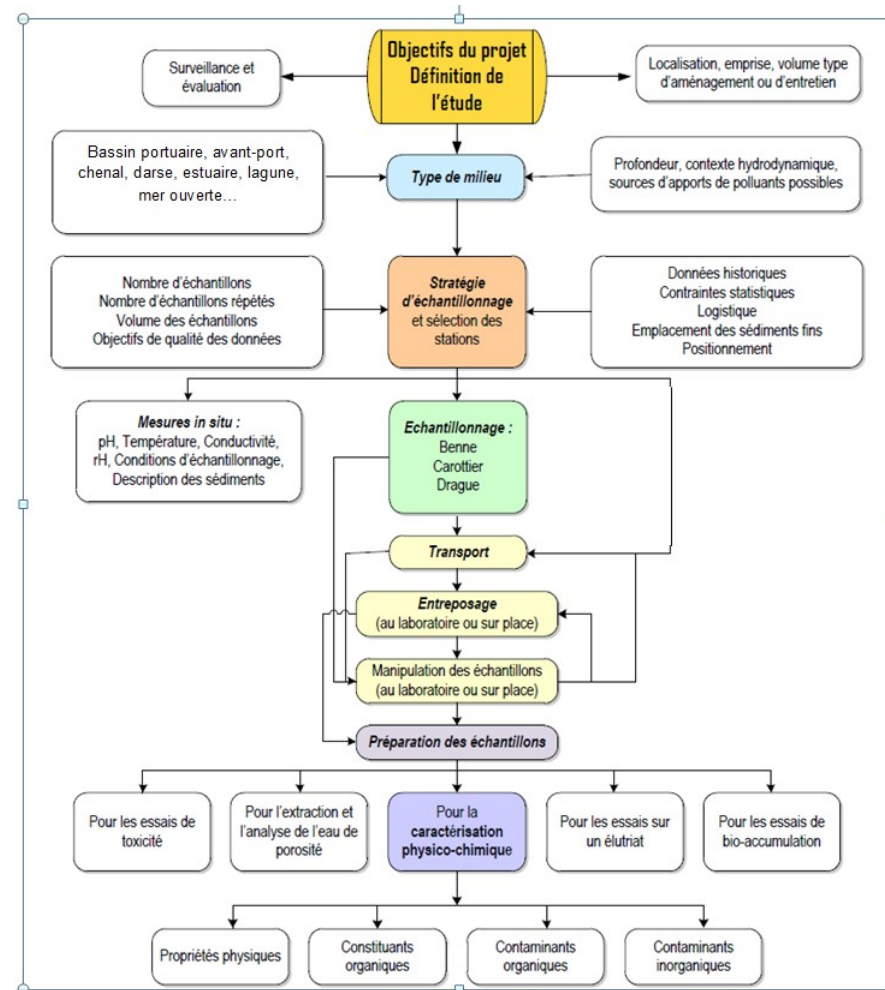
²¹ Le RÉPOM a pour objectif le suivi national de la qualité des eaux et des sédiments des ports maritimes en s'appuyant sur les services chargés de la police des eaux littorales. Quelque 192 ports maritimes font l'objet d'un suivi dont 4 ports situés outre-mer.

de l'opération. Le plan d'échantillonnage devra recueillir l'avis du service de l'Etat chargé de la police de l'eau.

- Comme indiqué dans le paragraphe 5.4.1.1, la **stratégie d'échantillonnage** doit se baser sur la connaissance historique des sources de pollution (tendances et comparaisons) et des enjeux écologiques. Ces informations doivent guider la stratégie selon que la présomption de pollution est avérée ou non et selon la nature du milieu à échantillonner.
- Les échantillons prélevés représentent en masse, un infime pourcentage de la zone à caractériser. Ils doivent donc être prélevés dans **les zones les plus représentatives du site** et, en cas de suivi temporel, toujours au même endroit.
- Les **propriétés géochimiques et physico-chimiques des sédiments** peuvent être fortement influencées par le choix des stations de prélèvement, par la méthode de prélèvement et d'échantillonnage et par la constitution des échantillons eux-mêmes. Ces influences éventuelles seront prises en considération lors de l'évaluation des résultats.
- La **distribution et la profondeur de l'échantillonnage** doivent refléter les caractéristiques de la zone et la variabilité probable dans la distribution horizontale et verticale des contaminants.
- La stratégie d'échantillonnage peut relever d'un **processus itératif** : les résultats obtenus suite à une première série d'analyses permettent de préciser, le cas échéant, les besoins d'analyses complémentaires (en types de substance et dans l'espace).

Les considérations qui précèdent montrent qu'une réflexion est toujours à mener pour optimiser au mieux le plan d'échantillonnage par rapport aux objectifs recherchés (Figure 14).

Figure 14 : Démarche pour la caractérisation des sédiments marins (source : adapté de Environnement Canada, 1994)



5.4.2 Définition des modes de gestion les plus appropriés pour les matériaux dragués

Les données d'entrée servant à définir le projet sont *a minima* :

- **les volumes à draguer,**
- **les caractéristiques physiques et granulométriques des matériaux,**
- **les caractéristiques géochimiques (intrinsèques) et physico-chimiques (par contamination) des matériaux,**
- **le profil environnemental et socio-économique du site.**

Ces données d'entrée vont fortement conditionner :

- **les moyens techniques à employer et leurs modalités d'utilisation** : drague mécanique, drague hydraulique, moyens de transport des matériaux sur le site de destination finale, moyens d'immersion ou de mise en dépôt ;
- **les différentes filières de gestion des sédiments.**

Les caractéristiques géochimiques et physico-chimiques des matériaux sont capitales à connaître pour adapter les moyens techniques et les filières de traitement aux enjeux environnementaux.

Ainsi, l'extraction de matériaux peut amener à choisir une drague mécanique ou hydraulique.

- Une **drague mécanique** munie d'une benne étanche et entourée d'un écran anti-turbidité, sera préférée pour draguer des petits volumes de sédiments ayant un taux de contamination élevée (moins de perte lors de la remontée de la benne, dispersion des matières en suspension limitée par le rideau anti-turbidité).

- Une **drague hydraulique** pourra être utilisée lorsque de forts volumes sont en jeu et que la contamination des sédiments est faible. Elle implique l'extraction d'une mixture comprenant un fort volume d'eau (jusqu'à 90 %) et pose donc, en cas de dépôt à terre, la question de la décantation des sédiments et de l'évacuation des eaux d'exhaure qui nécessiteront alors un traitement spécifique avant rejet.

Le niveau de contamination des sédiments et ses incidences sur le milieu peuvent conduire à ne pas immerger les matériaux et à retenir un mode de traitement et de confinement ou de valorisation adapté, évitant ainsi toute contamination du milieu marin, mais induisant des contraintes propres aux modes de gestion considérés.

5.5 Éléments de choix des techniques de dragage et des sites d'immersion

5.5.1 Les critères de choix

Les caractéristiques des matériaux à draguer conditionnent généralement les techniques de dragage, mais également les modalités d'immersion et donc les sites d'immersion. Les critères de choix doivent donc considérer aussi bien les aspects technico-économiques qu'environnementaux (Tableau 11).

Tableau 11 : Critères à prendre en compte pour concevoir une opération de dragage : choix des techniques et des sites d'immersion

Critères	Indicateurs
Faisabilité technique	<ul style="list-style-type: none"> adaptation à la configuration des zones de dragage et d'immersion et aux conditions de transit entre ces zones : taille, tirant d'eau, tenue à la mer, profondeur maximale de dragage, existence de zones de repli, de mise à l'eau...., compatibilité avec les rendements attendus et la nature des sédiments à draguer (fluidité, degré de compaction...), possibilité de dragage à sec ou en eau, précision du dragage.
Viabilité économique des opérations	<ul style="list-style-type: none"> viabilité des coûts de dragage, coûts d'immobilisation.
Incidences environnementales et sociétales (voir détail dans le paragraphe 5.5.2)	<ul style="list-style-type: none"> impacts environnementaux spécifiques à la technique de dragage et de mise en dépôt, niveau de contamination et risque de remise en suspension, dérangement des activités existantes, nuisances sur le cadre de vie et les aménités environnementales
Pérennité et répétitivité des interventions	<ul style="list-style-type: none"> faisabilité et viabilité à court, moyen et long terme, répétitivité des interventions, disponibilité du matériel.

5.5.2 Les enjeux environnementaux

Dès lors qu'il identifie les enjeux environnementaux et les contraintes environnementales majeures qui en résultent, le maître d'ouvrage peut alors porter ses choix vers des modalités de dragage et d'immersion (dont le choix des sites) potentiellement acceptables et présentant une sensibilité moindre ou faible par rapport aux enjeux environnementaux.

Les grands choix du maître d'ouvrage relatifs à l'immersion des matériaux, peuvent être guidés par les critères indiqués dans le tableau 12, caractérisant essentiellement :

- **le milieu physique,**
- **la biodiversité,**
- **les activités socio-économiques, la santé et les aménités environnementales.**

Tableau 12 : Enjeux potentiels du dragage et critères de choix des sites d'immersion en fonction des enjeux identifiés par thèmes de l'environnement (liste de base à adapter en fonction des caractéristiques du dragage et du milieu)

Thèmes	Enjeux potentiels	Critères de choix
Milieu physique		
Hydrodynamisme, bathymétrie et sédimentologie	Modification durable de la nature des fonds et exhaussements bathymétriques	<p>Choix du site d'immersion dans une zone à fort hydrodynamisme permettant une dispersion suffisante des matériaux immergés ou, au contraire, à faible hydrodynamisme afin de favoriser la stabilité du dépôt.</p> <p>Répartition des sédiments de dragage par casiers pour limiter les exhaussements importants.</p> <p>Immersion des matériaux à des fins de valorisation (rechargement de plages si la qualité des matériaux le permet)</p>
Dynamique sédimentaire	Modification de la dynamique des vasières en milieu estuarien	Choix du programme de dragage pour limiter les effets indirects de l'approfondissement sur les vasières latérales
Biodiversité²²		
Habitats d'espèces et espèces associées (notamment benthos)	<p>Fragmentation, détérioration, destruction partielle ou totale d'habitats marins ou terrestres remarquables : herbiers, roches, maërl, coralligène, récifs coralliens, mangroves, zones humides.</p> <p>Modification de substrat et/ou enfouissement :</p>	<p>Eviter les habitats sensibles remarquables et les espèces vulnérables ou menacées.</p> <p>Modalités d'immersion en casiers pour limiter les exhaussements importants et favoriser la recolonisation du benthos de substrats meubles, en fonction de l'adaptabilité des espèces présentes à l'enfouissement ou à la modification granulométrique du substrat.</p>

²² La biodiversité peut être analysée selon deux composantes :

- la biodiversité remarquable correspondant à des entités que la société a identifiées comme ayant une valeur intrinsèque et fondée principalement sur d'autres valeurs qu'économiques ;
- la biodiversité ordinaire n'ayant pas de valeur intrinsèque identifiée comme telle mais qui, par l'abondance et les multiples interactions entre ses entités, contribuent à des degrés divers au fonctionnement des écosystèmes et à la production des services qu'y trouvent nos sociétés.

(Chevassus-au-Louis B. 2009. Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes, Paris, La Documentation française, 400 p.).

Thèmes	Enjeux potentiels	Critères de choix
Poissons	Dérangement des populations pendant les dragages et immersions, destruction partielle ou totale de nurseries ou de frayères	Eviter les zones halieutiques fonctionnelles. Choix des zones et des périodes d'immersion en concertation avec les pêcheurs professionnels
Mammifères marins, tortues marines	Dérangement des populations et individus (bruit durant le dragage, turbidité des eaux pendant l'immersion) Risques de collision avec les dragues ou les barges	Prévention à mener dans le cadre du plan de gestion environnementale du chantier et de l'ordonnancement des travaux.
Oiseaux marins	Dérangement, perturbation, des oiseaux sur le lieu du dragage ou le site d'immersion	Choix de la période de dragage pour limiter les incidences

Activités socio-économiques, santé et aménités environnementales		
Santé environnementale	Dans le cas de matériaux de dragage contaminés, éviter la contamination des espèces marines et de la chaîne alimentaire afin de préserver la santé humaine	Choix de zones d'immersion éloignées des sites de production (élevages marins) ou de ressources marines (coquillages, poissons, crustacés)
Pêche professionnelle	Impact sur les espèces commerciales, Perte de zone de pêche, Allongement des routes pêche (phase d'immersion)	Choix des zones d'immersion en concertation avec les professionnels.
Cultures marines et activités conchyliques	Risque de détérioration de la qualité de l'eau pendant les phases d'immersion et lors des phases de remobilisation éventuelles des sédiments	Choix des zones d'immersion hors des zones potentiellement favorables aux activités aquacoles et à une distance suffisante des exploitations en activité.
Navigation commerciale	Interférence avec le passage des navires lors de l'immersion des matériaux	Eviter les routes de grand trafic maritime.
Navigation de plaisance	Restrictions d'évolution pendant l'immersion	Eviter les zones d'évolution des navires de plaisance (zone de régates par exemple)

Thèmes	Enjeux potentiels	Critères de choix
Gazoducs et oléoducs Câbles de communication sous-marine et de raccordement électrique	Recouvrement des canalisations ou des câbles par des matériaux rapportés, renforcement des contraintes de maintenance	Eviter les tracés existants ou planifiés
Extraction de granulats marins	Impossibilité d'exploiter un gisement, Perturbation des exploitations existantes.	Eviter les zones d'extraction autorisées ou planifiées
Activités pétrolières et gaz offshore, énergies renouvelables (éoliennes, hydroliennes)	Exclusion temporaire ou restriction d'exploitation ou d'exploration	Eviter les zones de desserte, garder un espace suffisant pour la poursuite des activités d'exploration ou d'exploitation
Sites d'immersion de munitions	Risque d'explosion	Eviter les sites d'immersion de munitions
Plongée sous-marine	Disparition ou détérioration de fonds constituant des spots de plongée	Eviter les secteurs de plongée de loisirs ou ceux à proximité qui pourraient subir des effets indirects (turbidité, sédimentation excessive)
Paysages sous-marins	Perte d'aménités	Eviter les paysages sensibles et emblématiques (herbiers, maërl, coralligènes, grottes, tombants...)
Patrimoine historique et archéologique subaquatique	Détérioration ou perte du patrimoine immergé	Eviter les sites archéologiques potentiels ainsi que les secteurs abritant des épaves antiques ou modernes
Recherche scientifique	Pertes de sites d'intérêt scientifique ; restrictions d'accès pour la recherche	Eviter les zones utilisées pour les travaux de recherche scientifique

5.5.3 Un outil d'aide à la décision : les modélisations numériques

Les **modèles numériques hydro-sédimentaires** constituent des outils d'évaluation de plus en plus utilisés pour :

- **évaluer l'impact de l'extraction** (génération de turbidité et propagation du nuage),
- **sélectionner précisément la zone d'immersion la plus favorable** en fonction de la dispersion attendue des sédiments,
- **évaluer le devenir des sédiments** après leur immersion (dépôts).

Ces modèles peuvent être utilisés :

- **ex ante**, pour anticiper les effets prévisionnels avant la réalisation des travaux et, le cas échéant, réduire les incidences par le choix d'une technique de dragage appropriée ou l'évitement de certaines conditions océano-météorologiques défavorables,
- **in itinere**, c'est-à-dire pendant les travaux : dans ce cas, le modèle peut être calé sur la base des flux de matériaux dragués en fonction de l'engin précisément utilisé, et des conditions courantologiques réelles. Il fournit donc à l'opérateur une aide en temps réel lui permettant d'optimiser le déroulement du dragage en fonction des contraintes environnementales qu'il a fixées (arrêt momentané du dragage, alternance des sites d'extraction, utilisation de plusieurs engins pour diminuer la durée d'extraction...).

La question de **la limite d'application de ces modèles** doit être posée quand il s'agit de vases ou de sédiments mixtes à dominante cohésive (vaso-sableux) à l'état compacté. En effet, de par leur construction numérique qui ne concerne que la couche sédimentaire supérieure avec

certaines paramètres d'état, quoique succincts (médiane granulométrique, teneur en eau, voire perméabilité), les modèles numériques hydrosédimentaires ne peuvent en aucun cas prendre en compte le comportement sédimentaire. C'est pour cette raison que, dans les cas évoqués ci-dessus dans lesquels la cohésion est forte, il est nécessaire de réaliser des tests rhéologiques afin d'intégrer dans ces modèles une meilleure représentation de ces comportements sédimentaires et ainsi éviter toute erreur d'appréciation dans les études d'impact et tout déboire dans la conduite des travaux de dragage.

5.5.3.1 Evaluation *ex ante* des impacts à l'extraction

Dans l'exemple qui suit, une modélisation hydro-sédimentaire permet de simuler la dispersion du panache de MES produites pendant le creusement d'une souille, le long d'une digue portuaire dans le cadre de travaux de confortement de cette digue²³. Cette simulation est justifiée par le fait que la digue est bordée par un herbier de posidonies très proche de la zone de travaux.

Le modèle utilisé comprend deux modules complémentaires : un module 2D permettant de simuler les écoulements à surface libre à deux dimensions d'espace horizontales en intégrant tous les éléments topobathymétriques des fonds marins et un second module permettant de simuler la génération et la propagation des vagues afin de prendre en compte leur influence sur les remises en suspension des sédiments. Pour une benne - godet qui sera utilisée, l'hypothèse de base prise est la production de 10 kg/m³ correspondant aux matériaux perdus lors de la prise de sédiment et à la remontée de la benne. Des hypothèses sont également formulées sur le cadencement de l'opération de dragage.

²³ Ville de Cannes et CCI NCA. Port de Cannes I. Réfection et confortement de la digue Laubeuf et de la digue du Large. Etude d'impact, 2017.

Tableau 13 : Génération des volumes de particules fines remises en suspension par section de digue

Sections de digue	Volume souille	Volume total de sédiments remis en suspension	Taux de fines	Volume total de fines remises en suspension
	m ³	m ³	%	m ³
1	2 000	111	8.3	9.2
2	1 450	81	8.3	6.7
3	3 500	195	7.9	15.4
4	3 850	214	2.3	5
5	4 500	250	4.1	10.3

Les cinq scénarios modélisés ont été définis à partir de conditions de vent et de houles représentatifs pendant la période retenue pour les travaux, soit du 1^{er} octobre au 30 avril (les travaux sont programmés en dehors de la période estivale).

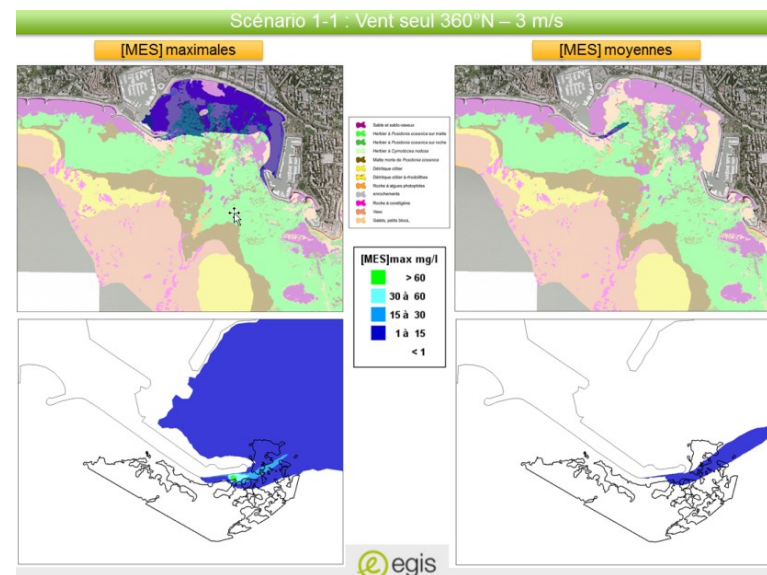
D'une manière générale, les scénarios de fort hydrodynamisme montrent un étalement beaucoup plus important du panache de MES et une dispersion plus rapide sur le domaine ce qui induit des concentrations en MES relativement faibles au voisinage de la zone de travaux du fait d'une dilution plus importante. A contrario, ceux de faible hydrodynamisme (vent seul, pas de houle), montrent des concentrations en MES plus importantes au-dessus de l'herbier de la digue.

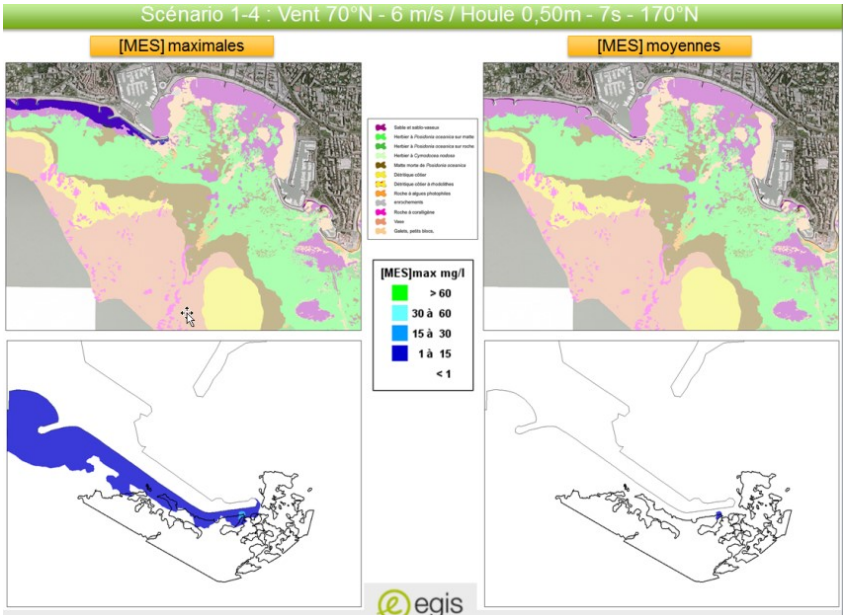
Si les concentrations en MES peuvent localement être relativement importantes à un instant donné comme le montrent les cartes de concentrations maximales, les concentrations moyennes sur une semaine

générées par les travaux sont faibles (< inférieures à 15 mg/l) pour une majorité des cas simulés, sauf pour quelques cas où la concentration moyenne sur 7 jours dépasse cette valeur et ce, sur des surfaces très faibles de l'herbier de posidonies.

Cette simulation permet de définir les situations à risques et certains scénarios météorologiques à éviter. Elle évalue également les concentrations maximales dans le panache de turbidité et permet d'approcher des valeurs en MES à ne pas dépasser pendant la période de chantier, notamment au regard des incidences sur l'herbier de posidonies.

Figure 15 : Exemple de simulation du panache de MES généré par le dragage d'une souille le long d'une digue portuaire. Cartographie prédictive des concentrations moyennes et maximales en MES pour différentes situations météo-océaniques





5.5.3.2 Utilisation de la modélisation pour définir un site d'immersion et évaluer les dépôts de matériaux

Le cas présenté²⁴ concerne le projet de construction d'un quartier gagné sur la mer à Monaco. Quelque 629 000 m³ de matériaux seront dragués pour construire les fondations du quartier. En raison de leur contamination, un volume de 51 000 m³ sera entreposé et traité à terre.

²⁴ ANSE DU PORTIER. UEM Monaco - Autorisation Administrative - Dossier de Demande d'autorisation d'immersion - Étude d'impact

Les volumes restants, soit 578 000 m³ (parmi lesquels 19 760 m³ dont les niveaux de contamination sont compris entre les seuils N1 et N2) seront immergés au large des eaux monégasques.

La recherche d'un site d'immersion est fondée sur deux critères d'acceptabilité : l'absence d'effets transfrontaliers (France, Italie) et l'absence de dépôt sur les habitats sous-marins à enjeu fort ou très fort.

Un premier site d'immersion dans les fonds de – 200 m a été positionné de façon à ce que les dépôts sur le fond s'effectuent sur une zone inventoriée présentant une biodiversité peu riche, à l'écart des zones sensibles comme les roches profondes ou la tête du canyon de Monaco. L'action des courants dévie vers l'est les panaches turbides et les dépôts sur le fond par rapport aux points d'immersion. Les configurations testées conduisent toutes à des effets dans les eaux territoriales françaises. La Figure 16 illustre cette déviation.

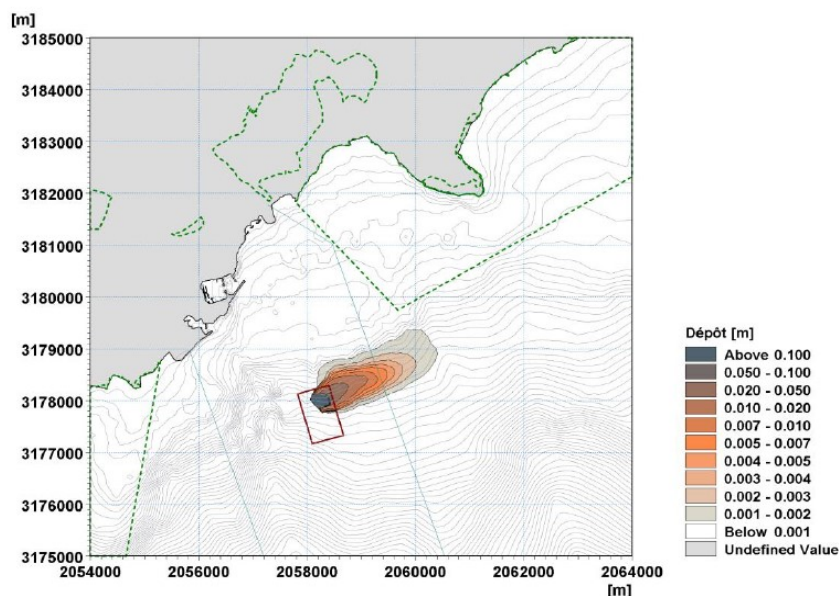
Si les sites testés durant l'avant-projet satisfont au critère de non-dégradation des habitats sous-marins à enjeu fort ou très fort, les effets transfrontaliers, ont conduit à rechercher un autre site d'immersion et de clapage qui tienne également compte de ce critère.

Le modèle hydro-sédimentaire utilisé

Le module hydrosédimentaire du modèle 3D utilisé a été couplé au module hydrodynamique développé pour l'étude de courantologie. Il permet de simuler les processus de transport de particules fines dans la colonne d'eau et les érosions-dépôts à l'interface eau-sédiment. Le module « Dredging » complémentaire permet de simuler des sources de particules issues du dragage ou du rejet en mer, en un point fixe ou selon les trajets de la DAM.

Plusieurs scénarios de dispersion des panaches turbides ont été modélisés dans différentes conditions météo-océaniques, dont quatre scénarios courantologiques représentatifs de la situation estivale.

Figure 16 : Épaisseur des dépôts après 3 jours de rejet : impact transfrontalier



Du fait d'impacts transfrontaliers, l'objectif a été de déplacer vers l'ouest le site d'immersion, afin d'éviter les dépôts dans les eaux françaises. Les dépôts ne devaient pas non plus empiéter sur le canyon de Monaco, et plus spécialement sur la tête de canyon, située autour de l'isobathe 100 m, en raison de sa valeur patrimoniale. Trois zones ont été définies et des sites de rejet ont été testés par modélisation numérique dans des conditions océano-météorologiques représentatives du printemps et de l'été (périodes programmées pour les immersions).

Deux modalités d'immersion ont été testées, selon la qualité physique des matériaux dragués :

- l'immersion des sédiments grossiers par clapage (barge fendable),
- et l'immersion des sédiments fins par refoulement dans l'élinde de la drague aspiratrice en marche (immersion à - 75 m ou à - 155 m).

Les tableaux 14 et 15 synthétisent les résultats pour la période printanière, sur les différents sites testés.

Tableau 14 : Comparaison des différents sites d'immersion au large de Monaco en conditions printanières

Site de rejet	Zone	Technique	Saison	Effets transfrontaliers (épaisseur du dépôt en France)	Absence de dépôt sur les habitats à enjeu fort / très fort	Éligible pour la proposition finale ?
16	1	Élinde de 75 m	Printemps	0 à 4,5 mm pour 3 jours	Oui	Non
17	1	Élinde de 75 m	Printemps	0 à 12 mm pour 3 jours	Oui	Non
30	3	Élinde de 75 m	Printemps	0 à 5 mm pour 3 jours	Oui	Non
31	3	Élinde de 75 m	Printemps	0 à 1 mm pour 3 jours	Oui	Oui
32	3	Élinde de 75 m	Printemps	1 à 2,5 mm pour 3 jours	Oui	Non
33	3	Élinde de 75 m	Printemps	1 à 3 mm pour 3 jours	Oui	Non
34	3	Élinde de 75 m	Printemps	1 à 3,5 mm pour 3 jours	Oui	Non
18	1	Élinde de 155 m	Printemps	1 à 4 mm pour un équivalent de 3 jours	Oui	Non
32	1	Élinde de 155 m	Printemps	1 à 3 mm pour un équivalent de 3 jours	Oui	Non

Tableau 15 : Comparaison des différents sites de clapage au large de Monaco en conditions printanières

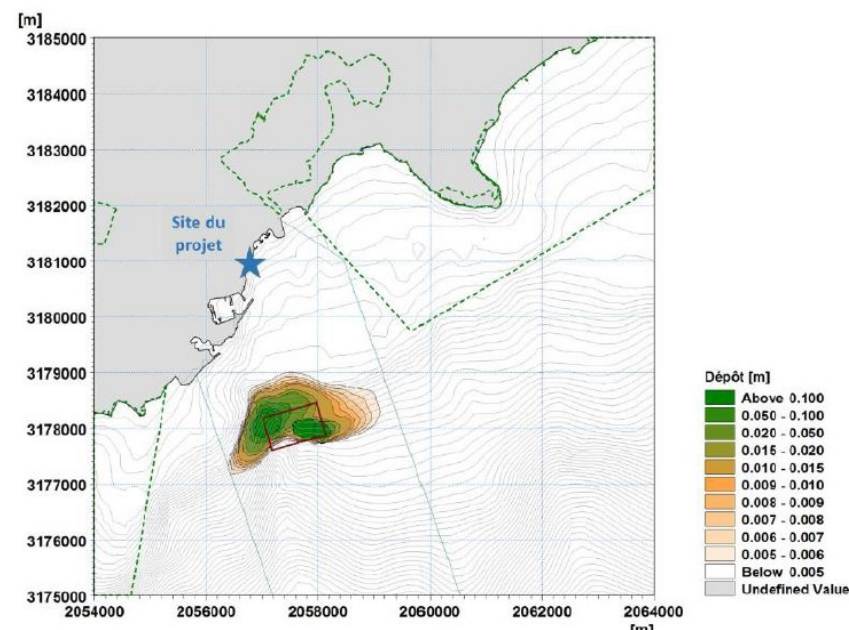
Site de rejet	Zone	Technique	Saison	Effets transfrontaliers (épaisseur du dépôt en France)	Absence de dépôt sur les habitats à enjeu fort / très fort	Éligible pour la proposition finale ?
14b	1	Clapage	Printemps	0 à 1,5 mm pour 3 jours	Oui	Non
16	1	Clapage	Printemps	0 à 1 mm pour 3 jours	Oui	Oui
17	1	Clapage	Printemps	0 à 2 mm pour 3 jours	Oui	Non
33	3	Clapage	Printemps	<1 mm pour 3 jours	Oui	Oui
34	3	Clapage	Printemps	<1 mm pour 3 jours	Oui	Oui

Les rejets devant s'effectuer au printemps ou au début de l'été, les sites retenus sont :

- Pour l'immersion, le site 31, situé à 220 m de profondeur, en utilisant une DAM à élince de 75 m.
- Pour le clapage des matériaux remaniés (remblai), le site 16, situé à 200 m de profondeur.
- Pour le clapage des matériaux grossiers non remaniés, le site 33, situé à 200 m de profondeur.

La figure 17, prise à titre d'exemple, présente l'emprise et l'épaisseur des dépôts de la totalité des sédiments immergés non pollués, en considérant les proportions en particules fines dans chaque type de sédiments. Les résultats montrent que la zone transfrontalière impactée par un dépôt supérieur à 5 mm est très limitée et se situe uniquement à l'ouest de la zone d'immersion.

Figure 17 : Épaisseur cumulée des sédiments dragués après immersions et clapages





La phase de conception d'un projet de dragage doit permettre de situer l'opération par rapport aux grands enjeux environnementaux de l'espace maritime susceptible d'en subir les incidences.

Dès lors qu'il identifie les enjeux environnementaux majeurs, le maître d'ouvrage peut alors affiner ses choix vers des modalités de dragage et de gestion des sédiments potentiellement acceptables et présentant une sensibilité moindre ou faible par rapport aux enjeux environnementaux.

Les solutions d'évitement des impacts doivent être recherchées dès l'amont du projet, par l'étude de plusieurs scénarios permettant de retenir :

- les techniques d'extraction impactant le moins les milieux, à un coût économique acceptable,
- les modes de gestion des sédiments favorisant leur réemploi ou leur valorisation,
- en cas d'immersion des sédiments, les sites présentant des impacts acceptables pour l'environnement et les activités socio-économiques.

L'apport de l'évaluation environnementale est essentiel dans la conception du projet. Elle consiste à intégrer les enjeux environnementaux tout au long de la préparation du projet et du processus décisionnel qui l'accompagne. Elle rend compte des effets prévisibles et permet d'analyser et de justifier les choix retenus au regard des enjeux identifiés. Elle vise ainsi à prévenir les dommages, ce qui s'avère en général moins coûteux que de gérer ceux-ci une fois survenus.

L'évaluation environnementale contribue à la transparence des choix décisionnels notamment par l'information et la participation du public. A cet effet, le maître d'ouvrage peut engager le dialogue avec les partenaires institutionnels, les associations et le public. Il peut ainsi expliquer sa démarche d'intégration de l'environnement, mais aussi affirmer sa capacité à prendre en compte les préoccupations des parties prenantes.

Les modes de gouvernance doivent être adaptés aux contextes territoriaux et opérationnels spécifiques dans lesquels s'inscrivent ces opérations. Il s'agit avant tout de privilégier la mise en place d'une instance de gouvernance efficace et réactive, capable d'accompagner la conception de l'opération et l'élaboration de l'étude d'impact en fonction des enjeux environnementaux spécifiques.



6. Les BPE dans les appels d'offres des marchés publics de travaux de dragage

6.1 Les exigences environnementales dans les appels d'offres

La volonté de procéder à la passation d'un marché intégrant des considérations d'environnement peut être affichée dans l'objet du marché pour signifier aux candidats qu'une **politique d'achat responsable** sera appliquée au marché considéré. Les exigences environnementales devront ensuite être définies au sein des clauses techniques ou des critères d'attribution. Bien définir l'objet du marché permet d'énoncer clairement aux candidats potentiels que le pouvoir adjudicateur souhaite faire un « achat responsable ».

6.1.1 Le décret n° 2016-360 du 25 mars 2016 relatif aux marchés publics

Par ses articles 6, 10, 59, 60 et 62, le décret permet au pouvoir adjudicateur de prendre en compte des **exigences environnementales**, économiques et sociales lors de l'achat public, dans le respect des principes généraux de la commande publique.

Les **préoccupations environnementales** peuvent être intégrées dans le processus d'achat à différentes étapes.

- Lors de la définition et de l'expression des besoins, l'**article 6** relatif aux spécifications techniques permet de définir des performances ou des exigences fonctionnelles pouvant inclure des **caractéristiques environnementales ou sociales**.
- La possibilité de présenter des **variantes (article 58)** peut être un moyen efficace d'intégrer la protection de l'environnement au stade des spécifications techniques, sans que le pouvoir adjudicateur ait nécessairement à spécifier de manière précise ses exigences en la matière. Ainsi, le pouvoir adjudicateur peut préciser qu'il est disposé à accueillir des offres répondant à certaines variantes plus écologiques.
- Par l'**article 59**, l'acheteur peut juger comme irrégulière une offre qui ne respecte pas les exigences formulées dans les documents de la consultation notamment parce qu'elle est incomplète, ou **qui méconnaît la législation applicable notamment en matière sociale et environnementale**.
- Par l'**article 60**, l'acheteur rejette l'offre (...) lorsqu'il établit que celle-ci est anormalement basse parce qu'elle contrevient aux obligations applicables **dans les domaines du droit de l'environnement, social et du travail** établies par le droit français, le droit de l'Union européenne, la ou les conventions collectives ou par les dispositions internationales en matière de droit de l'environnement, social et du travail figurant sur une liste publiée au Journal officiel de la République française.

- Au regard de l'**article 62**, pour attribuer le marché public au soumissionnaire, l'acheteur peut se fonder sur une pluralité de critères non-discriminatoires et liés à l'objet du marché public ou à ses conditions d'exécution (...) parmi lesquels figure le critère du prix ou du coût et un ou plusieurs autres critères comprenant des **aspects qualitatifs, environnementaux ou sociaux** (par exemple : les performances en matière de protection de l'environnement, d'insertion professionnelle des publics en difficulté, la biodiversité).

6.1.2 Clauses techniques et critères d'environnement

Une fois l'objet du marché clairement défini, l'acheteur doit traduire ses exigences en spécifications techniques mesurables, auxquelles devra se conformer le service considéré. S'agissant de travaux de dragage, les clauses techniques peuvent être définies en termes de :

- **normes techniques, écolabels ou certifications,**
- **exigences de performance,**
- **méthodes de production,**
- **utilisation des variantes.**

en appliquant des critères comprenant des aspects qualitatifs, environnementaux ou sociaux.

Normes techniques, écolabels et certifications

Cette approche s'appuie sur les normes techniques ou standards, labels et certifications existantes. Une référence à une norme doit toutefois être accompagnée de la mention « ou équivalent ». Le pouvoir adjudicateur ne peut pas en effet rejeter l'offre d'un candidat qui fournit la preuve que son service répond aux exigences formulées sans pour autant avoir intégré le schéma de normalisation.

Les critères peuvent être plus ambitieux que ceux définis par les normes, afin d'atteindre, par exemple, un niveau de protection environnementale supérieur.

Exemple : Certificats de qualification et/ou de qualité : Attestations FNTF 1422 dragage.

Exigences de performance

Cette approche évite la formulation de clauses techniques détaillées, l'objectif étant de laisser les candidats faire preuve de créativité.

Exemples :

- *Fixation d'un délai ou d'une période restreinte pour exécuter les travaux afin d'éviter les impacts sur une espèce protégée (« fenêtre environnementale »).*
- *Définition d'un seuil de turbidité à ne pas dépasser par rapport à la teneur en matières en suspension naturelle.*
- *Utilisation de biocarburants ou autres techniques limitant les émissions de GES des engins de dragage, y compris pour les petits engins de servitude.*

Méthodes de production

Les pouvoirs adjudicateurs peuvent également définir des critères relatifs aux méthodes de production.

Exemple : utilisation d'un mode de dragage particulier permettant de réduire les flux de particules fines, comme une benne « environnementale » dans le cas de sédiments contaminés, associée à l'utilisation d'un écran de confinement.

Utilisation des variantes

Lorsqu'elles sont autorisées, les variantes permettent de comparer des services répondant à différentes spécifications techniques, tout en conservant le même ensemble de critères d'attribution.

Exemples :

- *utilisation du dragage hydraulique ou mécanique,*
- *variantes de sites d'immersion.*

6.2 Exemples de prise en compte des critères environnementaux dans les dossiers de consultation

Six dossiers de consultation des entreprises (DCE) récents concernant des appels d'offres de travaux dragage ont été examinés pour évaluer la prise en compte des critères environnementaux.

- Le **Règlement de Consultation (RC)** indique si l'appel d'offres considère les critères environnementaux comme l'un des critères de jugement des offres.
- Le **Cahier des Clauses Administratives Particulières (CCAP)** précise si le titulaire a la responsabilité d'établir un plan d'assurance environnemental (PAE).
- Le **Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP)** décrit plus ou moins précisément les caractéristiques environnementales du site de dragage (extraction et immersion) et indique les prescriptions environnementales qui en résultent.

Le DCE est généralement accompagné de **l'arrêté préfectoral pris au titre de l'autorisation environnementale** qui fixe avec le détail des prescriptions relatives aux travaux, les modalités de suivi de paramètres environnement pendant le chantier et au-delà ; de **l'avant-projet des travaux** ; du **rapport d'évaluation environnementale**.

6.2.1 DCE n° 1 : Dragage d'entretien des bassins Est du port de Marseille

Le marché de travaux consiste essentiellement à draguer des terrains meubles et durs, supprimer les obstacles isolés sur les zones à draguer, enlever des épaves en zone de dragage, mettre en dépôt les matériaux dragués dans un bassin dédié ou en décharge.

Le RC valorise l'environnement à 5 % de la note globale (Tableau 16).

Tableau 16 : DCE n° 1 : Règlement de consultation : critères de jugement des offres

Critères et sous-critères	Pondération (%)
Prix des prestations	70
Valeur technique de l'offre	30
Description des moyens humains et matériels mis en œuvre	5
Procédures de dragages pour les terrains meubles, les terrains durs et le charriage	15
Note environnementale	5
Sous détail de tous les prix	5

Le CCAP précise que « pour répondre à la problématique de la gestion de la qualité du chantier, le titulaire a la responsabilité d'établir un plan d'assurance qualité (PAQ) ainsi qu'un plan d'assurance environnemental (PAE) ».

Dans l'article du CCTP consacré à la consistance des travaux, le maître d'ouvrage précise que « l'étendue des travaux comprend également toutes les mesures nécessaires à la protection de l'environnement » et les points suivants à la charge de l'entreprise :

- *Suivi spécifique de la turbidité ou des « MES » (Matériaux En Suspension), valeurs d'alerte et de seuils ainsi que les modalités de suivi seront définies dans le dossier de dragage et soumis à validation du service chargé de la police de l'eau ainsi que toute autre demande relative à la protection de l'environnement qui sera exigée par la police de l'eau.*
- *L'enlèvement des épaves et corps isolés divers pouvant être rencontrés en cours de dragage ainsi que leur stockage à bord provisoire dans*

l'attente de mise à terre et évacuation par benne à ordures à la charge du titulaire.

- *Les mesures et les contrôles qualité et d'environnement définis dans le présent C.C.T.P. et repris dans les plans d'Assurance Qualité et d'Assurance sur l'Environnement.*

Un article du CCTP repris in extenso (cf. encadré ci-dessous) décrit bien les précautions que doit respecter l'entrepreneur dans l'exécution des travaux. Enfin le CCTP est accompagné de l'arrêté préfectoral autorisant le port à exploiter une zone de stockage des déblais de dragage, à draguer et à rejeter les matériaux y afférents dans une zone dédiée du port. Cet arrêté liste les prescriptions techniques et environnementales ainsi que les modalités d'autosurveillance.

ARTICLE 1.6 - PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Les conditions de protection de l'environnement, demandées dans le cadre du présent marché, sont aussi importantes pour l'exécution globale des travaux que les autres aspects techniques.

Le système de dragage retenu doit être conçu de façon à minimiser les quantités d'eau recueillies et à éviter la dispersion des produits dans le milieu marin.

En fonction des moyens de dragage utilisés le titulaire sera tenu de mettre en œuvre tous les moyens (notamment rideau de confinement) pour limiter la dispersion des matériaux en suspension aux alentours de la zone en cours de dragage.

D'autre part, la surverse ne sera pas autorisée et le titulaire sera tenu de mettre en œuvre des moyens permettant de limiter la dispersion des matières en suspension aux alentours de la zone de dragage.

Le titulaire aura à préciser les dispositions qu'il envisage de prendre de manière à écarter du chargement dans les puits de drague les macro-déchets (blocs, ferrailles, palettes, cordages et divers) et à les récupérer pour évacuation hors chantier (vers une zone de décharge réglementaire).

6. Les BPE dans les appels d'offres des marchés publics de travaux de dragage

Le seuil de tri des macro-déchets sera la maille 25 cm x 25 cm ; les déchets divers seront stockés au fur et à mesure dans des bennes à ordures puis évacués en décharge agréée.

Les engins de transport vers la zone de dépôt devront être en bon état et étanches. Ils devront avoir fait l'objet d'une visite du Centre de Sécurité des Navires et être aptes à résister aux conditions d'agitation pouvant être rencontrées.

Le titulaire est tenu de réaliser et de mettre en œuvre un Schéma d'Organisation du Plan d'Assurance Environnement (SOPAE) et du Plan d'Assurance Environnement (PAE) correspondant.

6.2.2 DCE n° 2 : Dragage d'entretien de bassins à flot dans le port de Bordeaux

Le marché de travaux a pour objet le dragage d'un ou plusieurs secteurs d'un bassin à flot. Le dragage des sédiments devra être effectué par une drague stationnaire à désagrégateur avec refoulement dans l'estuaire à l'emplacement et selon la méthodologie spécifiée par le Maître d'œuvre.

Dans le contenu de l'offre, il est demandé que le mémoire technique détaille « les moyens mis en œuvre pour le respect de l'environnement ». Comme dans le DCE n° 1, le règlement de consultation apprécie l'environnement à 5 % de la note globale (Tableau 17).

Tableau 17 : DCE n° 2 : Règlement de consultation : critères de jugement des offres

Critères et sous-critères	Pondération (%)
Prix des prestations	55
Valeur technique	40
Délais de réalisation de la tranche ferme	15
Caractéristiques techniques de la drague utilisée	15
Organisation et moyens annexes déployés	10
Environnement	5

Le CCAP, dans son article relatif à la protection de l'environnement, explique clairement qu'« en application de l'article 6 du décret n° 2016-360 du 25 mars 2016 et de l'article 7 du CCAG Travaux, les conditions d'exécution du marché comportent des éléments à caractère environnemental ».

Les pénalités inscrites au marché, autres que celles relatives aux délais, ne visent pas des actions de non-respect de la protection de l'environnement, excepté le dépôt de matériaux, (sédiments, déchets, obstructions, ...) en dehors des zones prescrites (200 € par infraction).

Au plan environnemental, le CCTP précise les modalités de gestion de certains paramètres environnementaux imposées par le maître d'ouvrage lors de l'exécution des travaux :

- la gestion des rejets et des déchets de chantier,
- la gestion du bruit : les zones de dragage sont situées dans un environnement urbain résidentiel ; le maître d'ouvrage attire l'attention des candidats sur l'importance de la bonne gestion des niveaux sonores durant toute la durée du chantier (respect de l'arrêté préfectoral du 22 avril 2016 relatif aux bruits de voisinage).
- la gestion du niveau de l'eau dans les bassins à flot et l'écluse,
- les caractéristiques physiques et chimiques des matériaux : les analyses physico-chimiques réalisées sur les échantillons de sédiments prélevés dans les différentes zones à draguer montrent que les niveaux de pollution présents permettent le dragage tel que prévu dans le cadre du marché.
- l'obligation de maintenir la navigation commerciale et de plaisance dans la grande écluse et dans les bassins à flot pendant toute la durée du chantier.

6.2.3 DCE n° 3 : Dragage d'entretien d'un port de plaisance de Loire-Atlantique

Les travaux consistent à draguer quatre zones en lien avec le chenal principal du port. Le volume à extraire est de 720 m³. Les concentrations en contaminants sont inférieures au niveau N1. La durée des travaux est de 2 mois.

Le RC ne valorise pas l'environnement en tant que critère de sélection des offres.

Tableau 18 : DCE n° 3 : Règlement de consultation : critères de jugement des offres

Critères et sous-critères	Pondération (%)
Prix des prestations	50
Valeur technique	50

Cependant le CCTP précise de manière assez détaillée, les exigences environnementales à respecter :

- Le titulaire met en œuvre des outils de dragage permettant de minimiser les conséquences environnementales de son activité. Les engins de chantier devront posséder les garanties nécessaires à leur bon fonctionnement (certificat de contrôle technique, engins conformes à la réglementation contre les nuisances sonores). Les moyens de lutte contre les pollutions accidentelles (absorbant d'hydrocarbures, barrages flottants) seront disponibles à proximité.
- En cours de travaux, il ne peut être exclu de rencontrer des macro-déchets ou des blocs volumineux. L'enlèvement après tri des déchets éventuels découverts lors des dragages est à la charge du titulaire et conduit aux dépôts de ces résidus dans des bacs évacués ensuite dans des centres adaptés.

- En particulier, l'attention du candidat est portée sur l'intérêt que portera le pouvoir adjudicateur sur les mesures proposées permettant de limiter le dérangement du fonctionnement portuaire ainsi que la formation d'un nuage turbide ou a minima sa dispersion dans l'enceinte portuaire. En effet, le milieu marin environnant est fortement exploité (concessions conchylicoles et pêche) et donc sensible
- Vis-à-vis de l'environnement et des usages, l'entreprise veillera à :
 - permettre le maintien, dans des conditions suffisantes et acceptables, des activités autour de la zone de dragage ;
 - préserver et conserver la qualité des eaux du milieu (suivi...) ;
 - garantir la sécurité des hommes, équipements et matériels durant les travaux.
- Le mémoire technique du candidat fournira un descriptif de préservation de la qualité de l'eau.
- Les sédiments doivent être obligatoirement dégrillés avant toute immersion en mer. Ainsi, le candidat devra mettre en place un dispositif de dégrillage, présentant une maille maximum de 20 cm x 20 cm. Le maître d'œuvre validera la présence du dispositif de dégrillage avant d'autoriser le clapage des sédiments.

Le CCTP impose également les mesures de suivi de la qualité de l'eau pendant le chantier, portant sur les paramètres suivants : température, oxygène dissous, matières en suspension/turbidité. Il précise que « la valeur seuil préconisée sera de 50 mg/l au-dessus du bruit de fond. Dans l'éventualité d'une perturbation répétée de la turbidité, un barrage anti-MES sera positionné autour de l'engin de dragage et déplacé selon

l'avancement des travaux. Les mesures et aléas rencontrés seront consignés dans un journal de bord du chantier consultable par les services de l'Etat ».

6.2.4 DCE n° 4 : Dragage d'entretien d'un port mixte commerce/pêche/plaisance dans le Calvados

Les zones de dragage concernent le chenal d'accès aval du port soumis au marnage ; le chenal d'accès à l'avant-port et l'avant-port à l'amont d'un sas-écluse. Les matériaux de dragage - 70 % de vase et 30 % de sables très fins à fins à l'extérieur du port ; 83 % de vase dans l'avant-port - seront rejetés au fil de l'eau à partir de la jetée Ouest, à l'aval du sas écluse.

Le RC ne considère que des critères techniques et financiers, le prix des prestations étant le critère déterminant.

Tableau 19 : DCE n° 4 : Règlement de consultation : critères de jugement des offres

Critères et sous-critères	Pondération (%)
Prix des prestations	70
Valeur technique	30

Le CCTP considère un certain nombre d'exigences environnementales :

- le respect de créneaux saisonniers et horaires pour diminuer les nuisances à l'égard des riverains, le port étant localisé au cœur de ville : interdiction du dragage entre le 31 mars et le 1^{er} octobre ; intervention du lundi au samedi ; dragage de certaines zones uniquement pendant les marées diurnes et après communication faite auprès des riverains ;

- l'établissement d'horaires de dragage par rapport au cycle de marée : rejets uniquement lors « du jusant entre PM + 1 heure et PM + 6 heures », afin de bénéficier de l'effet de chasse hydraulique occasionnée par l'association du reflux de la marée et des courants fluviaux endigués par le chenal de navigation ;
- le débit maximal du rejet fixé à 800 m³/h.

Le DCE est accompagné d'un document établissant le programme de suivi environnemental des travaux de dragage d'entretien du port, comprenant le suivi :

- du point de rejet (qualité de l'eau),
- de la zone d'influence du panache turbide (bathymétrie et morpho-sédimentologie, suivi bio-sédimentaire, qualité physico-chimique des sédiments et qualité de l'eau).

6.2.5 DCE n° 5 : Dragage du chenal d'accès d'un port de plaisance et de pêche en Vendée

Les travaux concernent le dragage :

- de sables fins (8 000 m³) dans le chenal qui seront refoulés en bas d'estran de la plage adjacente au port,
- de sédiments fins dans les autres secteurs du port (4 200 m³) qui seront immergés par chalands dans une zone d'immersion à environ 2,5 milles nautiques au nord-ouest du port.

Le CCTP précise que les travaux pourront être exécutés à l'aide de moyens d'extraction mécaniques ou hydrauliques.

Le RC est basé uniquement sur des critères de prix, technique et de délai d'exécution, sans inclure de critère environnemental.

Tableau 20 : DCE n° 5 : Règlement de consultation : critères de jugement des offres

Critères et sous-critères	Pondération (%)
Prix des prestations	50
Valeur technique	40
Délais d'exécution	10

Le CCTP ne fournit aucune indication sur les sujétions d'environnement pendant l'exécution des travaux. Il faut se référer à l'arrêté préfectoral renouvelant l'autorisation du dragage et du rejet des sédiments pour trouver ces sujétions, dans plusieurs articles :

- Article 5 - Périodes des immersions : les immersions sont limitées à la période allant du 15 octobre au 31 mars pour la zone proche de la plage et au 30 avril pour la zone du large. Au large, le clapage est pratiqué au flot et en début de jusant, depuis l'heure de basse mer jusqu'à trois heures après l'heure de pleine mer.

- Article 6 - Autosurveillance du chantier par le titulaire (...)

- Article 9 - Mesures préventives, surveillance et suivi de ses incidences.

Le titulaire engage des actions préventives de correction et de surveillance capables d'empêcher une dégradation de la qualité des eaux et des sédiments portuaires, en agissant prioritairement à la source (...). Le titulaire poursuit l'étude des incidences sur les milieux aquatiques, dans le but d'évaluer et d'ajuster au mieux les conditions du dragage et des immersions et leur impact sur les fonds marins, en particulier: bathymétries, granulométrie, stabilité des fonds, richesse faunistique notamment des fonds rocheux les plus proches. Un suivi spécifique de la qualité des coquillages de

la grande plage est opérée par le titulaire à raison d'une analyse mensuelle durant toute la période d'utilisation de la zone d'immersion du sable et dans la semaine qui suit (...).

6.2.6 DCE n° 6 : Dragage d'un chenal d'accès dans une lagune de l'Hérault

*Le projet est décrit dans l'**annexe 8**. Il s'agit d'un dragage de matériaux à dominante sableuse non contaminés et d'un très faible volume (375 m³) mais situé au cœur d'une lagune caractérisée par une très grande richesse faunistique et floristique, par ailleurs incluse dans deux zones Natura 2000 et deux ZNIEFF.*

Le maître d'ouvrage a mené une étude d'incidences au titre de Natura 2000 qui a conduit à retenir une technique de dragage adaptée ainsi que des spécifications et des sujétions pour la gestion des matériaux. Ces préconisations, validées par la DREAL Occitanie seront incluses dans le DCE de l'appel d'offres à lancer pour les travaux de dragage.



Dans un marché public de travaux de dragage, l'acheteur peut afficher une politique d'achat responsable en introduisant des exigences environnementales au sein des clauses techniques ou des critères d'attribution, comme le permet le décret n° 2016-360 du 25 mars 2016 relatif aux marchés publics.

L'examen de la prise en compte des critères environnementaux dans les dossiers de consultation des entreprises (DCE), montre que le critère environnemental n'est pas systématiquement valorisé dans la notation des offres. Lorsqu'il l'est, la pondération de ce critère est généralement réduite.

Le Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) décrit plus ou moins précisément les caractéristiques environnementales du site de dragage (extraction et immersion) et indique les prescriptions environnementales locales qui en résultent.

Lorsque ces prescriptions sont incomplètes ou inexistantes dans le CCTP, il est nécessaire de se référer aux articles de l'arrêté d'autorisation de dragage qui restent quelquefois généraux ou peu explicites au regard des enjeux environnementaux locaux.

La bonne pratique consiste à introduire un sous-critère « environnement » valorisé au mieux, dans les critères de sélection des offres ; à décrire précisément dans le CCTP, les exigences environnementales attendues de l'entreprise et à annexer systématiquement au DCE, l'arrêté d'autorisation de dragage et d'immersion et le rapport d'évaluation environnementale.



7. Les BPE dans l'exécution des travaux de dragage

7. Les BPE dans l'exécution des travaux de dragage

Pour ce chapitre relatif à l'exécution et la conduite des travaux de dragage, la revue des BPE est organisée en fonction des grands enjeux environnementaux liés aux opérations de dragage. Rappelons que ces enjeux environnementaux sont particuliers à chaque situation en fonction de la nature des sédiments, de la façade littorale et des conditions locales. Ils sont définis et évalués dans le cadre de la démarche d'évaluation environnementale et peuvent être affinés dans la phase de préparation de l'exécution des travaux (niveau PRO).

• la turbidité de l'eau,	→	Parag. 7.1 et 7.2
• la biodiversité marine,	→	Parag. 7.3
• le bruit sous-marin,	→	Parag. 7.4
• le bruit aérien,	→	Parag. 7.5
• la qualité de l'air,	→	Parag. 7.6
• les activités et usages de la mer.	→	Parag. 7.7.

7.1 La turbidité : impact des dragages

7.1.1 La turbidité naturelle

7.1.1.1 Turbidité et matières en suspension

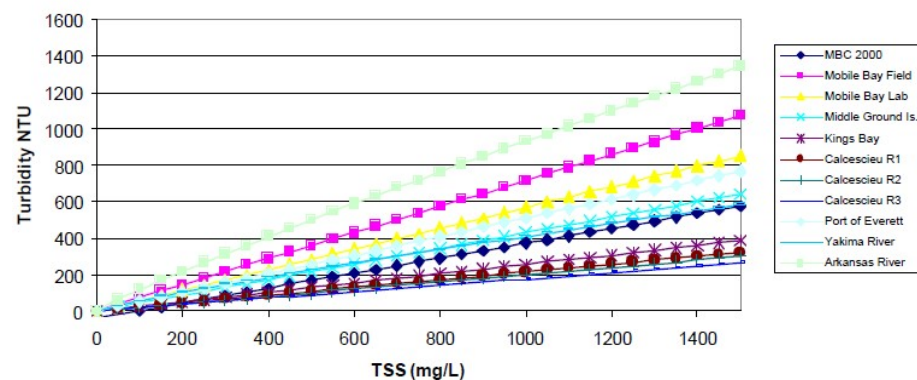
La **turbidité** constitue l'un des paramètres physiques descriptifs de la colonne d'eau. On entend ici par « turbidité », l'obstruction à la pénétration de la lumière dans l'eau, due à la présence de particules solides inorganiques ou organiques en suspension dans l'eau. La mesure de turbidité se fait de manière indirecte, à partir de capteurs acoustiques ou optiques. Les valeurs obtenues sont exprimées en unités normalisées, le plus communément NTU / FTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) ou FNU (*Formazin Nephelometric Unit*). La gamme de turbidité dans les eaux naturelles, exprimées en unités de turbidité néphélométriques (NTU) peut aller de moins de 0,1 NTU dans certaines eaux du large à plusieurs dizaines, voire centaines de NTU dans les estuaires²⁵.

Les **matières en suspension (totales)** (MES ou MEST) comprennent à la fois les matières solides inorganiques (argiles, vases, sables) et organiques (plancton et autres organismes microscopiques). Elles sont mesurées par le poids sec des matières par unité de volume d'eau et exprimées en mg/l. La mesure nécessite le transport en laboratoire, la filtration, le séchage et la pesée, soit un délai entre 6 et 24 h.

²⁵ Aminot, A. et M. Chaussepied, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO.

La relation entre la turbidité et la concentration en MES n'est pas universelle, comme le montre la variabilité des courbes de régression établies sur plusieurs sites géographiques (Figures 18 et 19).²⁶

Figure 18 : Variations de courbes de régression turbidité / MES selon les sites d'échantillonnage



En préalable de tout suivi environnemental d'un chantier de dragage, il est donc recommandé d'établir cette corrélation à partir d'échantillons prélevés en mer. Ces tests doivent distinguer, selon les cas, les remises en suspension près des dragues (extraction), sur le site d'immersion (clapage) et à l'exutoire des chambres de décantation (rejet des eaux décantées), (Tableau 21).

²⁶ Thackston, E.L. et M.R. Palermo (2000). Improved methods for correlating turbidity and suspended solids for monitoring. DOER technical Notes Collection. US Army Engineer Research and development Center.

7. Les BPE dans l'exécution des travaux de dragage

Figure 19 : Corrélation turbidité / MES en milieu ultramarin (Réunion), Egis

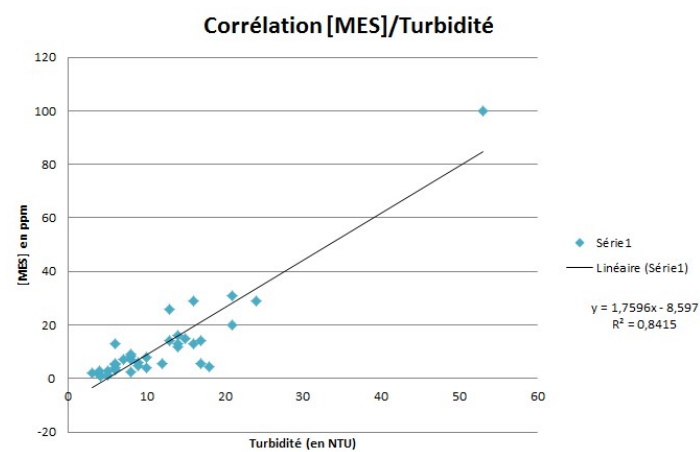


Tableau 21 : Méthodes pour estimer la corrélation entre teneurs en MES et turbidité

Cause des remises en suspension	Caractéristiques des remises en suspension	Corrélation MES/turbidité
Extraction par drague	Ensemble du spectre granulométrique (fractions grossières et fines).	A partir de l'ensemble du sédiment (méthode d'Earhart, 1984)
Clapage sur le site d'immersion	Les particules les plus grossières décantent au point de rejet de la conduite ou de la barge. La turbidité à mesurer est la turbidité à la limite de la zone de mélange ou à une distance donnée de l'ouvrage de décharge.	Test en colonne de sédimentation à partir d'échantillons prélevés en ces points
Rejet à l'exutoire de chambres de décantation	Les particules grossières décantent dans la chambre de dépôt. Les rejets à l'exutoire concernent les fractions fines.	Test en colonne de sédimentation.

7.1.1.2 « Bruit de fond » selon les façades ou régions maritimes

La turbidité est due aux apports terrigènes d'une part, à la remise en suspension par les vagues et les courants d'autre part, ainsi qu'à une contribution due aux particules organiques. Par l'atténuation de la pénétration de la lumière, la turbidité impacte la production primaire, et donc agit sur la disponibilité de nourriture pour les espèces supérieures de la chaîne trophique, mais aussi sur la croissance d'espèces végétales benthiques. Les particules en suspension modifient quant à elles les capacités de filtration des bivalves et la répartition des espèces pélagiques, particulièrement des juvéniles.

Dans une eau très turbide (NTU > 10, MES > 100 mg/l), la biodiversité est affectée, notamment faute de lumière. Au contraire, dans une eau très peu turbide (NTU < 0,5 ; MES < 1 mg/l), la vie marine se développe difficilement, faute de nutriments et de support.

Les situations sont très contrastées selon la façade maritime concernée, la situation locale (mer ouverte, estuaires, lagunes) et les variations saisonnières. **L'annexe 6** passe en revue les caractéristiques de la turbidité des eaux sur les façades maritimes métropolitaines et ultramarines.

7.1.2 La turbidité produite par les dragages

La turbidité générée par les dragages dépend de plusieurs facteurs :

- **la technique de dragage elle-même** : dragage mécanique ou hydraulique ; transport vertical ou horizontal des sédiments dragués ; modalités d'exécution,
- **les caractéristiques physico-chimiques du sédiment**, notamment leur densité et leur potentiel de remise en suspension des sédiments sur les fonds,
- **les conditions de milieu** : profondeur, agitation, courants, stratification haline ou thermique.

Dans une étude relative à la production de turbidité par les engins de dragage dans des ports et canaux de la mer du Nord (Pays-Bas)²⁷, les auteurs ont mesuré quatre paramètres indépendants qui sont consignés dans les tableaux 22 à 24.

- La turbidité moyenne ambiante C (MEST en poids sec), celle-ci pouvant varier en fonction de l'agitation ou des cycles de marée,
- L'augmentation de turbidité due à l'activité de dragage (■C) mesurée à la limite d'une surface de 50 m x 50 m centrée autour de l'engin de dragage,
- Le temps de disparition du panache (T en heures), mesuré à partir de la cessation de l'activité de dragage, à partir duquel le panache de turbidité n'est plus observé à 0,50 m au-dessus du fond.
- Le paramètre S mesure la masse de sédiments remis en suspension (matériaux secs en kg) dans la colonne d'eau par unité de volume dragué (m³).

²⁷ J.G.S. Pennekamp *et al.* Turbidity Caused by Dredging. Viewed in Perspective. *Terra et Aqua* – Number 64 – September 1996.

Les expériences ont porté sur le dragage hydraulique (Tableau 22), mécanique (Tableau 23) et les autres techniques (Tableau 24).

Tableau 22 : Mesures de la turbidité produite par des engins de dragage hydraulique

Table I. Turbidity parameters of the measurements dealing with hydraulic dredging techniques.

Hydraulic dredging techniques					
Location	Production (m ³ /hr)	C (mg/litre)	■ C (mg/litre)	■ T (hours)	S (kg/m ³)
Large Trailing Suction Hopper Dredge "Cornelia" with LMOB (Lean Mixture Over Board)					
Third Petroleum Harbour Rotterdam	5500	75	400	1	14
Large Trailing Suction Hopper Dredge "Cornelia" without LMOB (Lean Mixture Over Board)					
Third Petroleum Harbour Rotterdam	5400	40	150	1	3
Small Trailing Suction Hopper Dredge "Knhem", limited LMOB					
Sea Harbour Channel Delfzijl	1750	65	15	0.5	1-5
Small Trailing Suction Hopper Dredge "Hein"					
Laurens Harbour Rotterdam	2170	23	60	1	8-22
Pneuma-dredge system					
Berghaven Harbour Hook of Holland	59	25	0	0	0

Tableau 23 : Mesures de la turbidité produite par des engins de dragage mécanique

Table II. Turbidity parameters of measurements dealing with mechanical dredging techniques.

Mechanical dredging techniques					
Location	Production (m ³ /hr)	C (mg/litre)	■ C (mg/litre)	■ T (hours)	S (kg/m ³)
Dragline with open clamshell					
Merve Harbour Rotterdam	90	20	35	1	3
Dragline with open clamshell and silt curtain					
Hollandse IJssel river Nieuwerkerk a/d IJssel	84	35	35	1	9
Dragline with watertight clamshell					
Hollandse IJssel river Nieuwerkerk a/d IJssel	166	35	100	1	19
Oude Haven 't Sas Zierikzee	220	50	90	1	11
First Petroleum Harbour Rotterdam	121	20	80	1	13
Dragline with watertight clamshell and silt curtain					
Hollandse IJssel river Nieuwerkerk a/d IJssel	102	35	20	1	3
Oude Haven 't Sas Zierikzee	204	50	105	1	11

Hydraulic crane with orange peel excavator and silt curtain Geul Harbour Rotterdam	130	50	100	1	6
Hydraulic crane with open backhoe Amsterdam-Rhine Canal, Wijk bij Duurstede	208	40	530	0.5	54
Hydraulic crane with closed visor backhoe Amsterdam-Rhine Canal, Wijk bij Duurstede	199	45	170	0.5	21
Bucket dredge "Saturn" North Sea Canal Amsterdam	714	15	110	1	18-21
Bucket dredge "Aalscholver", adapted for environmental efficiency 2nd Inner Harbour Scheveningen	296	48	20-35	0.5	3-5

Tableau 24 : Mesures de la turbidité produite par d'autres techniques de dragage

Table III. Turbidity parameters of the measurements dealing with hydraulical/mechanical and agitation dredging techniques.

Hydraulical/mechanical and agitation dredging techniques					
Location	Production (m³/hour)	C (mg/litre)	■ C (mg/litre)	■ T (hours)	S (kg/m³)
Environmental disc cutter Berg Harbour Hook of Holland	113	25	0	0	0
Auger "Willem Bever" Sea Harbour Canal Delfzijl	300	20-50	0	0.5	0
Siltcutter dredge "Zsuzsa" Industrial Harbour Heusden	115	45	10	0.5	2
Water injection dredge "Jetsed" Haringvliet Hellevoetsluis	*	20	30	0.5	*
Prototype water injection dredge "Woelnix" Merwe Harbour Rotterdam	3200	45	250	1.5	11
Bed leveller "Pesante" Waal Harbour Rotterdam	610	35	60	1	6

Résultats

- La turbidité ambiante varie entre 15 et 75 mg/l, la valeur moyenne se situant aux alentours de 50 mg/l.
- L'augmentation de turbidité due au dragage n'a que rarement dépassé 500 mg/l (les mesures ont été réalisées avec des courants très faibles ne remettant pas les sédiments en suspension depuis le fond).

- Le temps de disparition du panache s'est établi au maximum à 1,5 h après la cessation de l'activité. Cependant, les auteurs notent que la remise en suspension peut être facilitée par la vitesse de l'écoulement du panache lui-même par rapport au milieu environnant, ou encore que le panache peut persister s'il existe une stratification de densité.
- Le paramètre S montre des valeurs différenciées entre des valeurs très faibles - qui ne peuvent pas être distinguées du bruit de fond - et 54 kg/m^3 , selon les techniques de dragage. Il n'est pas nécessairement corrélé avec le rendement de la drague en cause. La plupart des valeurs mesurées sont situées entre 0 et 20 kg/m^3 . Si le matériau à draguer présente une densité de $1\,300 \text{ kg/m}^3$ (soit une fraction solide de 480 kg/m^3), une valeur de S égale à 20 signifie que 4 % du volume dragué se retrouve dans la colonne d'eau.
- Les auteurs n'établissent pas de distinction franche entre les niveaux de turbidité produits par les différents types d'engins de dragage.

7.1.3 Impact des MES provoquées par les dragages et comparaison avec les valeurs naturelles

Les opérations de dragage entraînent une remise en suspension des MES se traduisant par une augmentation de la turbidité au voisinage des fonds et dans la colonne d'eau. Cette augmentation - et les effets qui en découlent - sont à relativiser en fonction des valeurs de la turbidité naturelle et de leurs variations saisonnières.

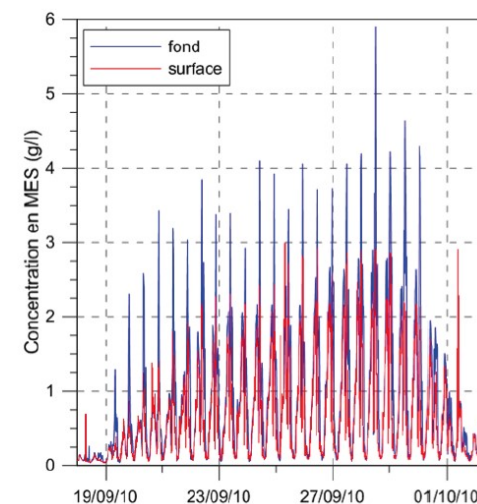
Cas d'un dragage en estuaire²⁸

L'estuaire de la Seine, en tant qu'exutoire d'un bassin versant de près de $80\,000 \text{ km}^2$, reçoit une importante quantité de matières en suspension issue de l'érosion et des activités anthropiques. La concentration en MES varie spatialement et temporellement au sein de l'estuaire, en fonction des principaux forçages.

Le bouchon vaseux est défini comme une zone d'accumulation des MES caractérisée par de forts gradients verticaux, horizontaux et temporels. La position du bouchon vaseux est dépendante des conditions hydrodynamiques et oscille avec les phases de la marée.

Figure 20 : Evolution de la concentration en MES en Seine, sur le site de Fatouville du 18/09/2010 au 3/10/2010

Comme le montre la figure 20, les concentrations au fond sont plus élevées qu'en surface. Les concentrations maximales varient, en surface, entre 2 g/l en vive eau et $0,05 \text{ g/l}$ en morte eau et, au fond, entre 4 g/l en vive eau et $0,1 \text{ g/l}$ en morte eau.



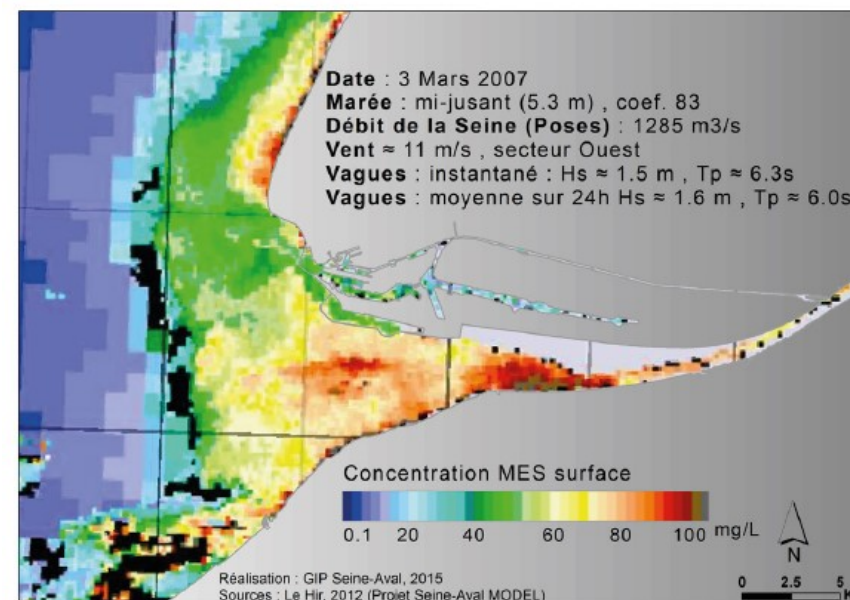
²⁸ Lemoine, J.P. et R. Verney. Fonctionnement hydro-sédimentaire de l'estuaire de la Seine. GIP Seine aval, mars 2015.

Les estimations de la masse du bouchon vaseux de l'estuaire de la Seine sont globalement comprises entre 200 000 t et 350 000 t en fonction des conditions hydrodynamiques.

L'analyse des images satellite de couleur de l'eau (MODIS 2004-2014) permet l'estimation de la concentration en MES de surface à l'échelle du bouchon vaseux et de l'embouchure de l'estuaire. Par exemple, l'image satellite de la figure 21 a été réalisée le 3 mars 2007, 4 heures avant la basse mer et avec un débit de 1 285 m³/s, faisant suite à une tempête relativement importante avec des vagues d'environ 1,50 m à l'embouchure. Le bouchon vaseux est alors situé au niveau de Honfleur.

Dans le cadre des dragages d'entretien du chenal de navigation et des installations portuaires de l'estuaire par le GPMR (cf. [annexe 3](#)), les principales zones de dragage sont situées dans l'emprise du bouchon vaseux où la teneur en matières en suspension peut atteindre 5 g/l. Les effets des dragages sur la turbidité naturelle seront donc non mesurables, les remises en suspension des sédiments lors des dragages aboutissant généralement à des teneurs en MES de quelques dizaines de milligrammes par litre.

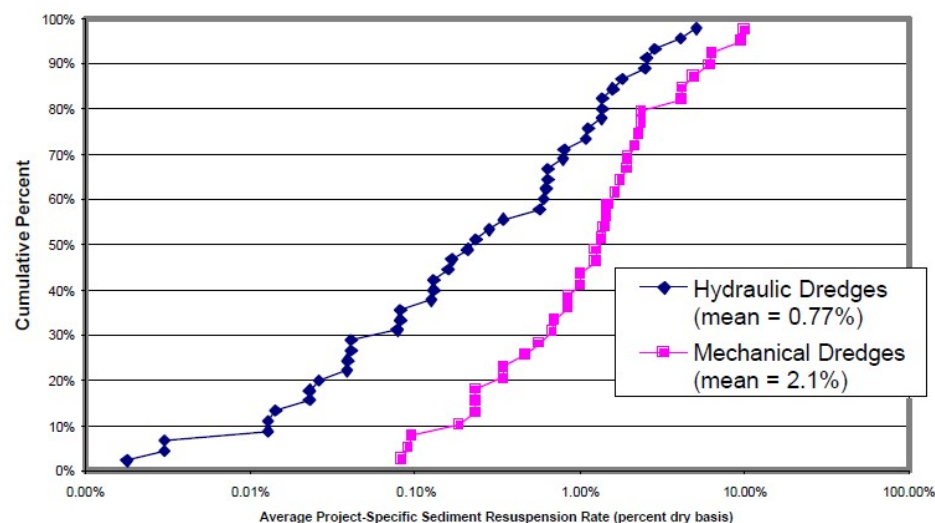
Figure 21 : Distribution spatiale des concentrations en MES de surface mesurée par le satellite MODIS, le 3 mars 2007 (données qualitatives) ; marée à mi-jusant, débit : 535 m³/s



Etude de la remise en suspension des sédiments par des opérations de dragage dans la région de Los Angeles (USA)²⁹

Les auteurs ont compilé les taux de remise en suspension (Figure 22), à partir des mesures effectuées sur quelque 90 opérations de dragage, aboutissant à un taux de remise en suspension de 0,77 % pour les dragues hydrauliques et 2,1 % pour les dragues mécaniques. Cela signifie, qu'à conditions ambiantes égales (granulométrie des sédiments, conditions d'agitation...), le dragage hydraulique remet moins de sédiment en suspension dans la colonne d'eau que le dragage mécanique.

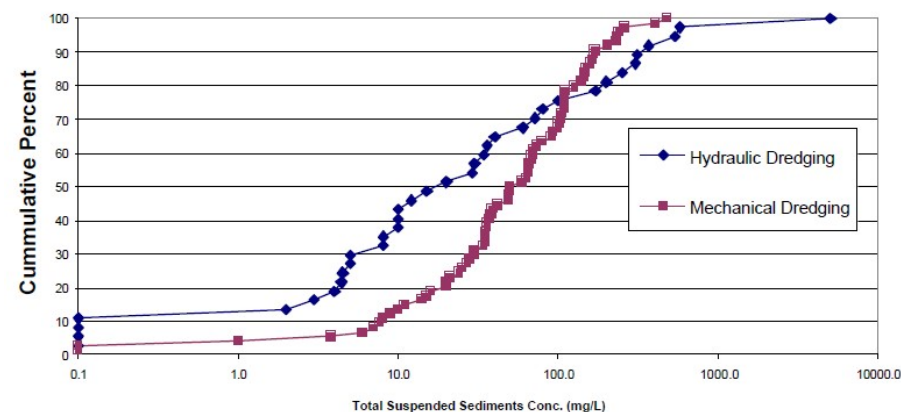
Figure 22 : Distribution des taux de remise en suspension des MES par les dragues hydrauliques et mécaniques



²⁹ Literature review of effects of resuspended sediments due to dredging operations. Prepared for Los Angeles Contaminated Sediments Task Force. Los Angeles, California. Prepared by Anchor Environmental CA, June 2003.

Les concentrations en MES générées par les différents types de dragues sont comparés sur la figure 23. Les concentrations résultantes des dragages (au-dessus du bruit de fond local) sont généralement plus faibles pour les dragues hydrauliques (percentile 50 = 15 mg/l) que mécaniques (percentile 50 = 66 mg/l). La plus faible concentration en MES près des dragues hydrauliques est en accord avec le taux de suspension également plus faible. Cependant il existe des cas d'observation où ces valeurs sont plus fortes qu'une drague mécanique. Il n'est donc pas possible de confirmer que les dragues hydrauliques sont moins productrices de turbidité dans toutes les conditions.

Figure 23 : Distribution des concentrations en suspension des MES par les dragues hydrauliques et mécaniques



Les auteurs ont ensuite synthétisé les concentrations létales et sublétales susceptibles d'entraîner des effets physiques sur les organismes aquatiques en distinguant les effets sévères (exposition < 96 h) et chroniques (exposition > 96 h), Tableau 25.

Pas moins de 400 références ont été compilées correspondant à un nombre inférieur d'organismes aquatiques, certains ayant fait l'objet de plusieurs études. Quand plusieurs taux de mortalité étaient trouvés dans la littérature, seule la valeur provoquant 50 % de mortalité était retenue (LC₅₀).

Tableau 25 : Répartition statistiques des effets létaux et sublétaux des matières en suspension sur les organismes aquatiques recensés

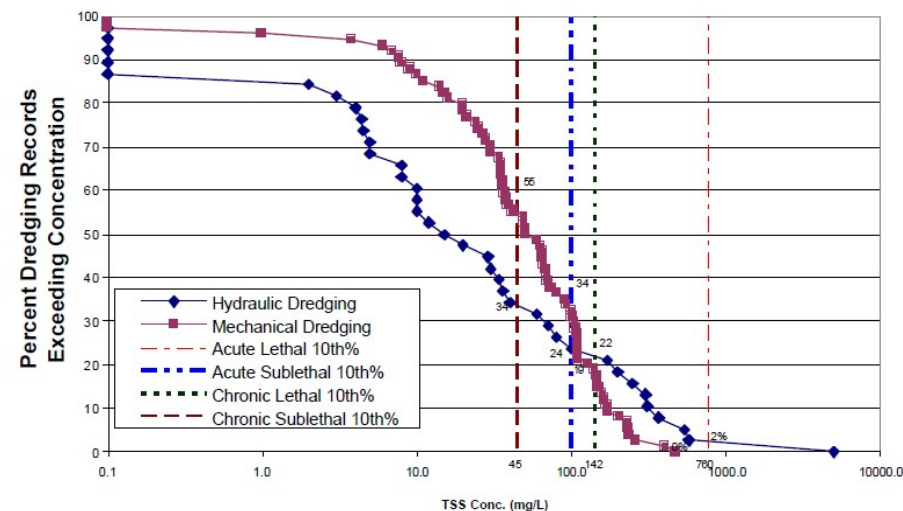
Endpoint	5th percentile	10th percentile	50th percentile	N	St. Dev.
Acute Lethal	500	760	7,000	67	69,262
Acute Sublethal	76	100	560	50	2,935
Chronic Lethal	50	142	2,150	59	28,725
Chronic Sublethal	22	45	500	68	3,402

N = Sample size for each endpoint

St. Dev. = Standard deviation around the mean for each endpoint.

L'importance relative de ces effets est comparée avec les concentrations en matières en suspension mesurées dans le voisinage des chantiers de dragage. Par exemple, les concentrations en MES couramment mesurées lors des dragages hydrauliques dépassent 24 % du temps, les concentrations correspondant au percentile 10 caractérisant les effets sévères sublétaux. Ce pourcentage atteint 34 % pour les dragages mécaniques (Figure 24).

Figure 24 : Comparaison des concentrations en MES produites par les chantiers de dragage aux seuils létaux et sublétaux des espèces aquatiques considérées



Le tableau 26 synthétise le « bruit de fond » des MEST mesuré dans la région de Los Angeles et les compare aux niveaux pour lesquels des effets létaux et sublétaux sont avérés sur les organismes aquatiques.

Tableau 26 : Comparaison des distributions de la turbidité naturelle aux valeurs ayant des effets sur les espèces aquatiques

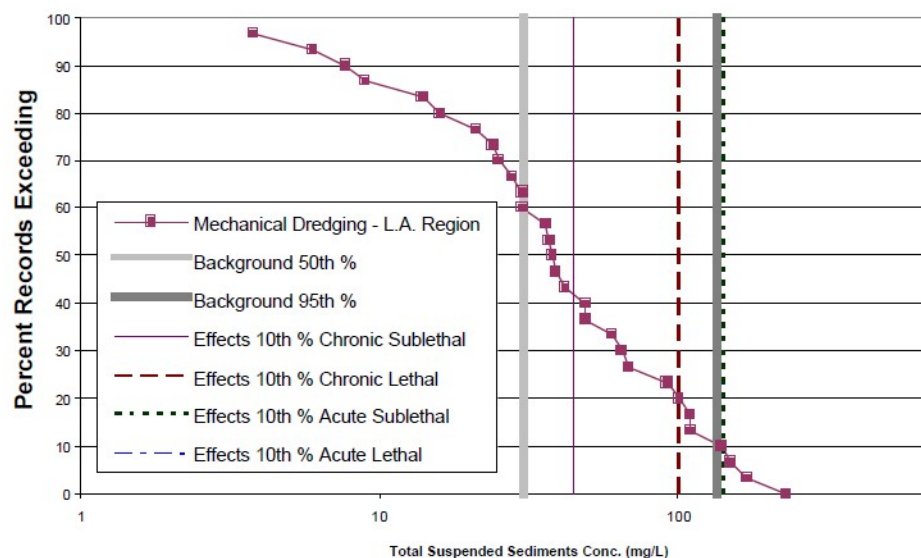
Cumulative distribution of background conc. (mg/L)		Cumulative distribution of effects database (10th percentile value by endpoint)	
5th Percentile	6	Chronic Sublethal	45
50th Percentile	31	Chronic Lethal	100
95th Percentile	135	Acute Sublethal	142
Std. Dev.	64	Acute Lethal	760

*Regional values from POLA, POLB, and LARE dredge monitoring events.

On remarquera, dans le tableau 26, que le bruit de fond (percentile 90) est proche de la concentration se rapportant aux effets sévères sublétaux. L'exploitation statistique des données naturelles de la turbidité indique que celles-ci dépassent 20 % du temps, les concentrations sublétales (percentile 10) et 5 % du temps les concentrations létales pour les organismes aquatiques considérés dans l'étude.

La figure 25 tend à montrer que seuls 10 % des dragages mécaniques dans la région de Los Angeles dépassent le seuil sublétal sévère, cette valeur étant très proche du bruit de fond en MES (percentile 95).

Figure 25 : Comparaison des concentrations en MES liées aux dragages mécaniques dans la région de Los Angeles avec celles du bruit de fond régional et celles correspondant aux seuils létaux et sublétaux des espèces aquatiques considérées



➔ Les auteurs de l'étude concluent, dans le cas d'espèce, que les concentrations en MES couramment mesurées lors des dragages en Californie dépassent entre 24 % (dragage hydraulique) et 34 % (dragage mécanique), les concentrations (percentile 10) caractérisant les effets sévères sublétaux sur la faune aquatique locale. Pour les dragages mécaniques opérés dans la région de Los Angeles, seuls 10 % d'entre eux entraînent des concentrations en MES dépassant le seuil sublétal sévère, cette valeur étant très proche du bruit de fond en MES (percentile 95).

Il est donc important de relativiser la turbidité entraînée par les opérations de dragage au regard de la turbidité naturelle du milieu.

Cas d'un dragage en milieu ultra-marin

La Nouvelle Route Littorale (NLR) sur l'île de la Réunion est gagnée sur la mer et comprend 5,4 km de viaduc et 6,7 km de digues. Les travaux préparatoires nécessitent des dragages pour terrasser des souilles qui recevront les fondations des 48 piliers du viaduc, ainsi que l'assise des digues.

À la Pointe du Gouffre, s'étend un affleurement rocheux corallien dont la valeur écologique est reconnue. Un important dispositif permet de mesurer les taux matières en suspension (MES) provoquées par les opérations de chantier de suivi de la qualité de l'eau, avec des bouées de surveillance en continu et en temps réel de la transparence de l'eau et des prélèvements d'eau.



Le graphique de la figure 26 montre l'influence du dragage sur l'augmentation locale de la turbidité pendant la période des travaux s'étalant sur trois mois, entre juin et août 2015, avec un seul pic exceptionnel atteignant la valeur limite autorisée par l'arrêté préfectoral (50 mg/l).

Sur l'île de la Réunion, les valeurs de la turbidité en situation normale sont très faibles entre 1 et 5 mg/l, mais elles peuvent être influencées par les précipitations, notamment au droit des ravines, ou par l'agitation côtière qui remet en suspension les sédiments de fond. On distingue un tel épisode sur le graphique en avril et mai 2015 qui provoque une augmentation du bruit de fond avant que les travaux ne démarrent

D'une manière générale, des concentrations en MES inférieures à 10 mg/l n'ont pas d'effet sur la plupart des espèces coralliennes. En revanche, à partir de 20 mg/l, seules les espèces tolérantes ne subissent pas d'effets (Erftemeijer et al., 2012, Tableau 25). Il faut toutefois noter que la tolérance des espèces coralliennes face au stress de turbidité est très variable et qu'elle dépend de l'intensité et de la durée du stress.

Figure 26 : Influence d'un dragage sur la teneur en MES dans la colonne d'eau à la Réunion (source : Egis)

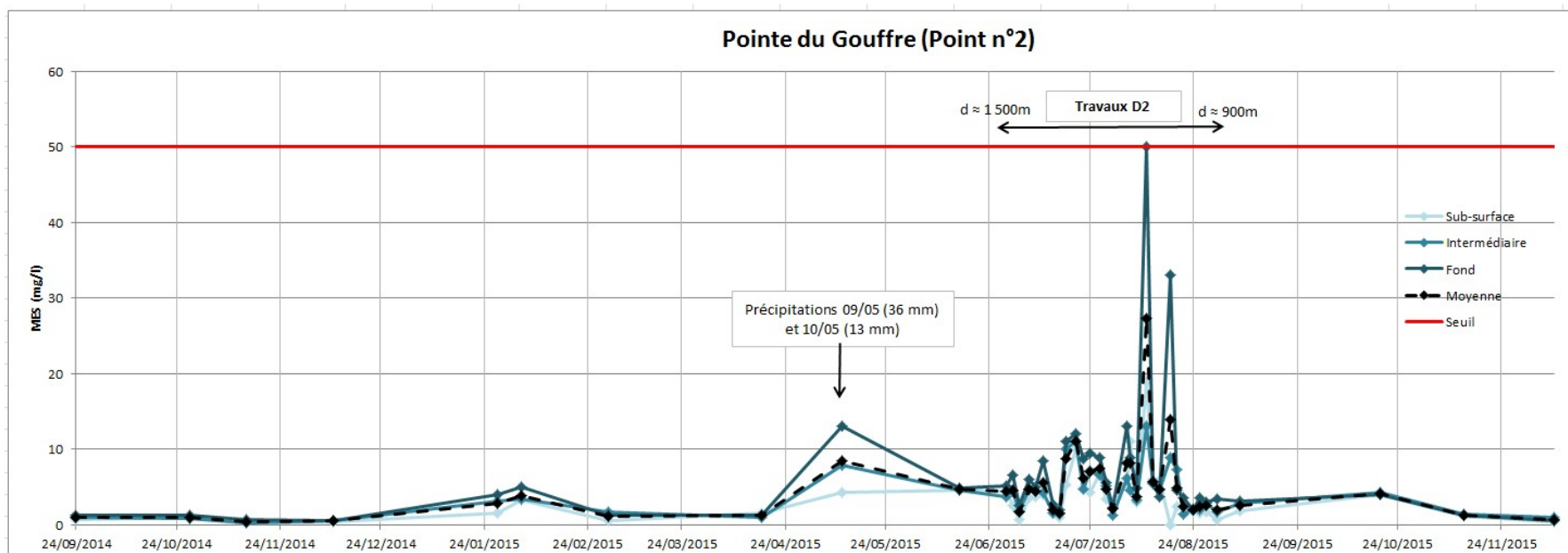


Tableau 27 : Sensibilité relative des coraux suivant leur type de réponse aux stress de turbidité (mg/l) (d'après Erftemeijer *et al.*, 2012)

Réponse	< 10	10-20	20-40	40-100	> 100
Pas d'effet	Plupart des espèces	Intermédiaires	Tolérantes	Très tolérantes	Très tolérantes
Effets sublétaux mineurs	Sensibles	Sensibles	Intermédiaires	Tolérantes	Très tolérantes
Effets sublétaux majeurs	Très sensibles	Sensibles	Intermédiaires	Tolérantes	Tolérantes
Effets létaux partiels	Très sensibles	Très sensibles	Sensibles	Intermédiaires	Tolérantes
Effets létaux majeurs	Très sensibles	Très sensibles	Sensibles	Intermédiaires	Plupart des espèces

7.2 La turbidité : exemples de BMP pour éviter ou réduire les impacts environnementaux

Au travers d'exemples sélectionnés, cette section passe en revue successivement :

- **les techniques de dragage « environnemental »** qui ont pour objectif de prélever des sédiments en entraînant la plus faible turbidité possible,
- **l'optimisation des paramètres de dragage par l'instrumentation embarquée**, avec pour conséquence la réduction des impacts environnementaux (limitation de turbidité, réduction de durée du dragage par augmentation des rendements...),
- **les écrans anti-turbidité** utilisables, dans certaines conditions, dans les opérations de dragage, de dépôt ou d'immersion pour limiter la dispersion des particules remises en suspension,
- **le dragage flexible ou adaptatif**,
- **la gestion des matériaux de dragage pour la récupération de terrains sur la mer**,
- **la gestion des matériaux de dragage utilisés pour la conservation du domaine public maritime naturel**,
- **la gestion des opérations d'immersion des matériaux de dragage**,
- **les plans de maîtrise de la turbidité**.

7.2.1 Techniques de dragage « environnemental »

Les techniques dites de **dragage « environnemental »**³⁰ ont pour objectif de prélever des sédiments en entraînant la plus faible turbidité possible. Les engins de dragage « environnemental » sont soit des engins modifiés par rapport à des versions standard, soit des engins conçus spécifiquement. Compte tenu du grand nombre de techniques plus ou moins innovantes relevées dans la littérature, seuls quelques exemples significatifs sont présentés dans ce chapitre.

7.2.1.1 Abandon de la surverse dans le dragage hydraulique

La mixture qui est draguée par une drague aspiratrice en marche (DAM) est un mélange d'eau et de matières solides, comme le sable ou la vase. La DAM est équipée d'un système qui maximise la rétention de ces matériaux solides et réduit le volume d'eau qui reste dans le puits. L'eau excédentaire doit être séparée et rejetée dans le milieu. La partie solide de la mixture décante au fond du puits, mais ce processus prend du temps. Un système de surverse permet donc de séparer les solides de l'eau en réduisant les turbulences de la mixture et en laissant suffisamment de temps à la partie solide (sable, gravier) de décanter au fond. Ensuite, l'eau excédentaire de surface est entraînée par-dessus bord grâce à ce dispositif de surverse ou pour certaines dragues, de sous-verse (rejet sous la ligne d'eau).

L'impact environnemental de la surverse est la génération d'un panache turbide en surface dont l'étendue est plus ou moins importante selon les modalités de vidange de la drague.

³⁰ FACTS ABOUT. An Information Update from the IADC, 2014. Environmental Equipment.

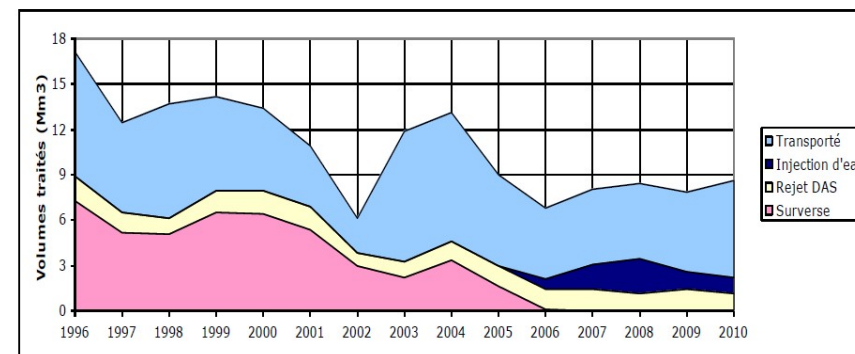
Figure 27 : Génération de turbidité par surverse



Les ports d'estuaire ont abandonné les techniques de dragage par surverse en raison des incidences importantes sur le milieu estuarien. L'augmentation du volume des puits des dragues favorise un transport direct après remplissage vers les zones d'immersion.³¹

³¹ Dans l'estuaire de la Loire, la mise en service en 2003 de la drague *Samuel de Champlain* par le GPMNSN a conduit à quasiment supprimer le dragage à l'américaine, le volume de son puits permettant de draguer des zones uniquement par transport immersion à la Lambarde, après une phase de densification.

Figure 28 : Evolution des pratiques du dragage d'entretien dans l'estuaire de la Loire (les surverses - en rose sur le graphe - sont abandonnées en 2006).
Source : GPMNSN



7.2.1.2 Dragage hydraulique : utilisation d'une soupape « basse turbidité » (« *Green valve* »)

La soupape « basse turbidité » (« *Green Valve* »)

La soupape « basse turbidité » est un système monté sur les dragues aspiratrices pour diminuer les rejets turbides pendant le dragage. Une des premières améliorations était de rejeter les eaux excédentaires chargées en particules fines sous le navire (sous-verse) en lieu et place de la surverse. Cependant, la forte proportion d'air dans le mélange rejeté avait pour conséquence de faire remonter le nuage turbide, l'entraînant en surface.

La soupape « basse turbidité » réduit fortement ce phénomène (Figures 29 et 30). La soupape ajustable dans l'entonnoir de débordement des eaux excédentaires permet de retenir l'air avant l'évacuation du mélange vers l'extérieur. Il en résulte une densification de la mixture évacuée, diminuant la turbulence et favorisant la sédimentation.

La soupape est contrôlée automatiquement en déterminant le niveau d'eau surnageante au-dessus de l'entonnoir de débordement. Quand l'eau de remplissage atteint le niveau prédéfini, la soupape est ouverte plus ou moins, selon la densité du mélange que l'on veut obtenir.

Figure 29 : Principe de la soupape « basse turbidité » (« Green Valve ») et coupe schématique d'un puits de drague équipé d'un entonnoir de débordement muni dans sa partie inférieure, d'une soupape « basse turbidité » (« Green Valve »). Source: courtesy of Jan De Nul Dredging and Land Reclamation)

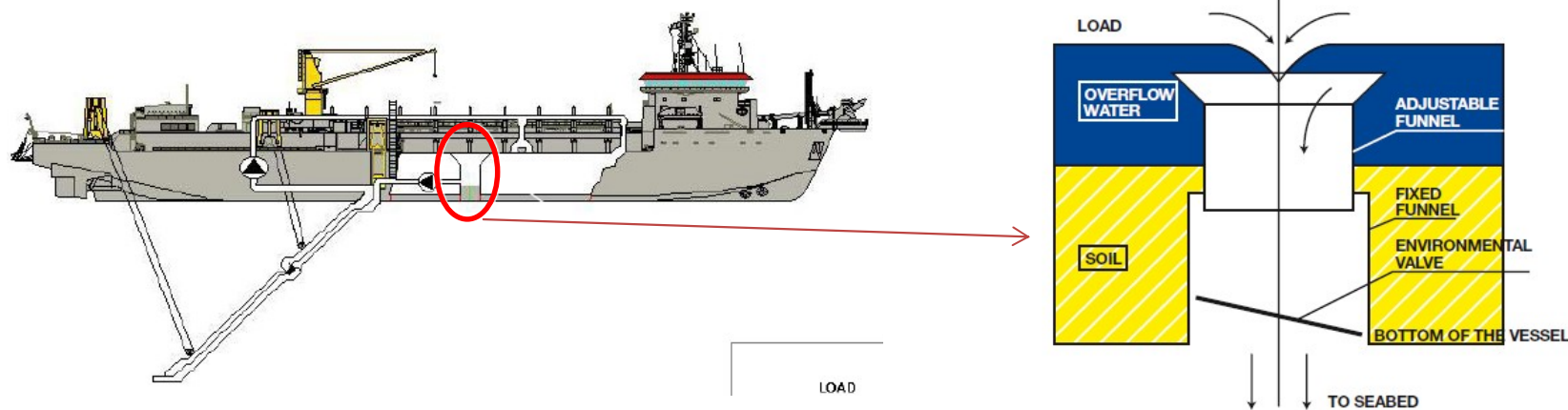
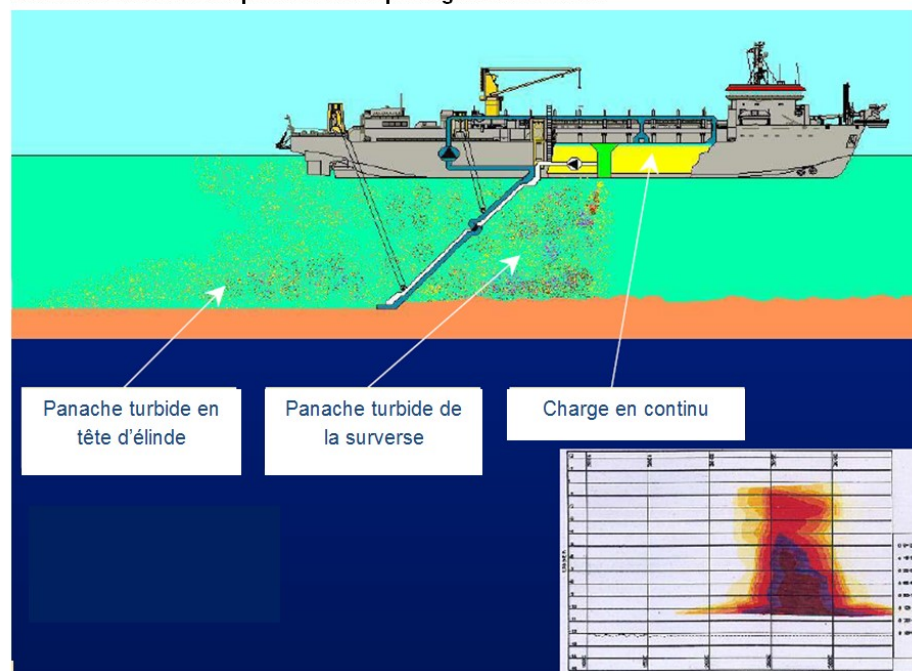
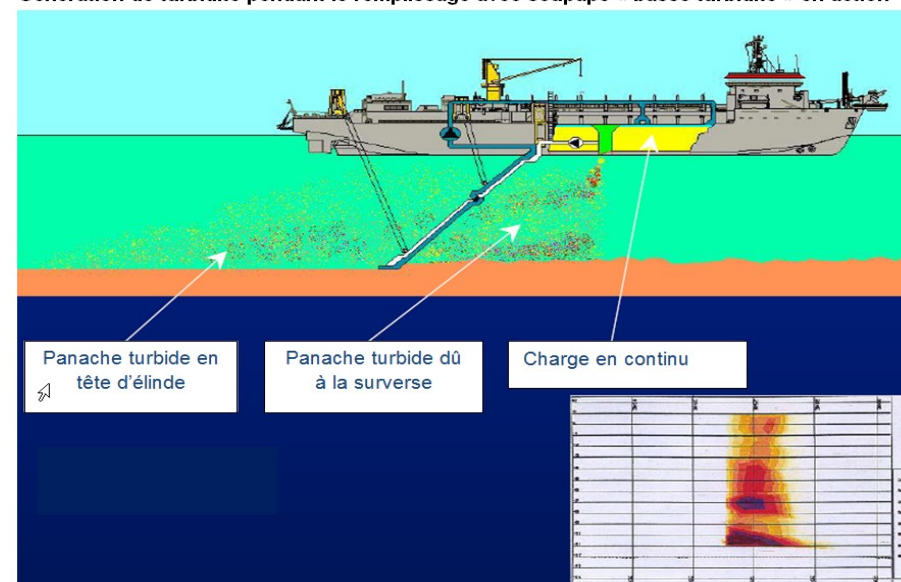


Figure 30 : Génération de turbidité pendant le remplissage avec surverse (à gauche) et avec une soupape « basse turbidité » en action (à droite). Source : courtesy of Jan De Nul Dredging and Land Reclamation

Génération de turbidité pendant le remplissage avec surverse



Génération de turbidité pendant le remplissage avec soupape « basse turbidité » en action



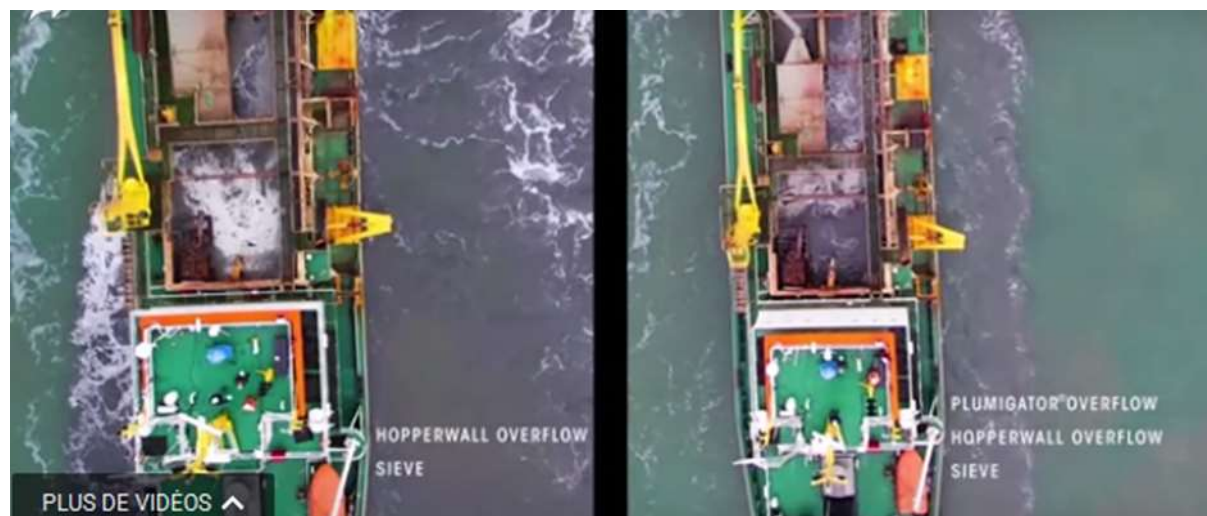


Figure 31 : Différences entre une drague hydraulique classique et une drague équipée d'une soupape "basse turbidité"

Ci-contre, à gauche : la drague fonctionne en mode de « surverse » classique : le rejet d'eaux chargées en matières en suspension génère un nuage turbide pouvant s'étendre sur une surface importante autour de la drague.

Ci-contre, à droite : la drague est équipée d'une soupape basse turbidité. Il en résulte un flux de turbidité beaucoup plus faible, limitée à la proximité de l'engin de dragage.



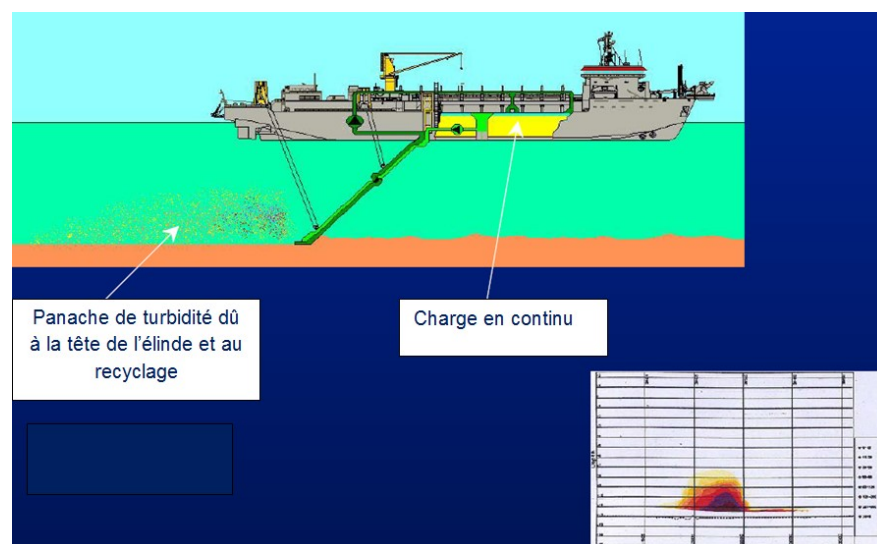
Ci-contre, à gauche : la surverse reste classique.

Ci-contre, à droite : le puits de drague est équipé d'un entonnoir de débordement muni dans sa partie inférieure, d'une soupape basse turbidité. L'ouverture de la soupape et son réglage sont commandés par le niveau des eaux surnageantes dans la cale de la drague.

7.2.1.3 Dragage hydraulique : recyclage des eaux de surverse (« Green Pipe »)

La surverse est pompée dans une conduite additionnelle accouplée à l'élinde, jusqu'à l'embouchure de la tête d'élinde où elle est reprise par l'aspiration hydraulique. Elle est ensuite « recyclée » dans le circuit hydraulique avec un flux de turbidité minimal (Figure 32). Le principe est détaillé dans des schémas explicatifs dans **l'annexe 7.**

Figure 32 : Génération de turbidité avec recyclage de l'eau de surverse (« green pipe »)

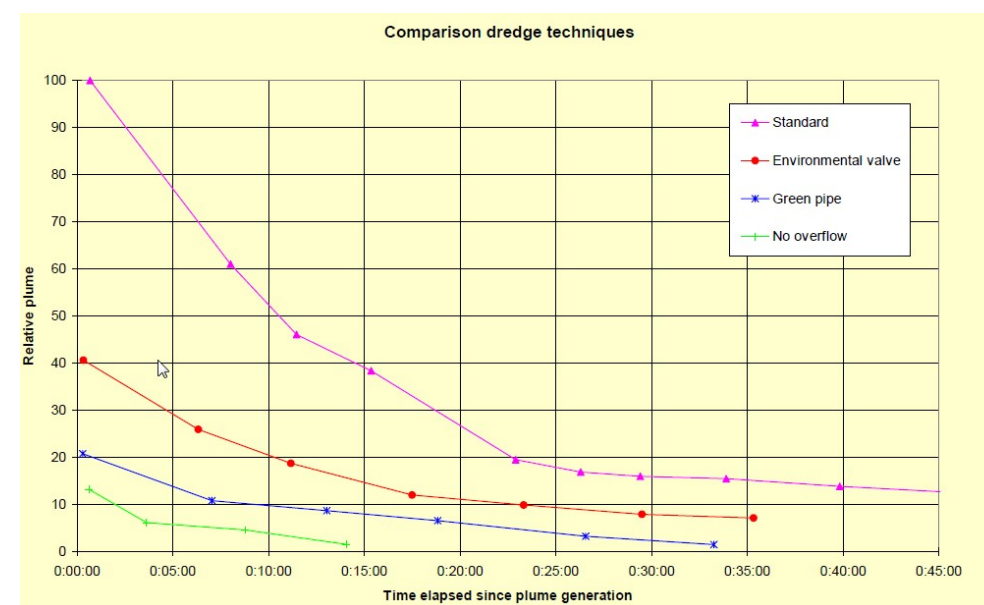


Conclusions

Par rapport à une drague hydraulique classique fonctionnant en surverse, la production de turbidité pendant le cycle de dragage est diminuée de :

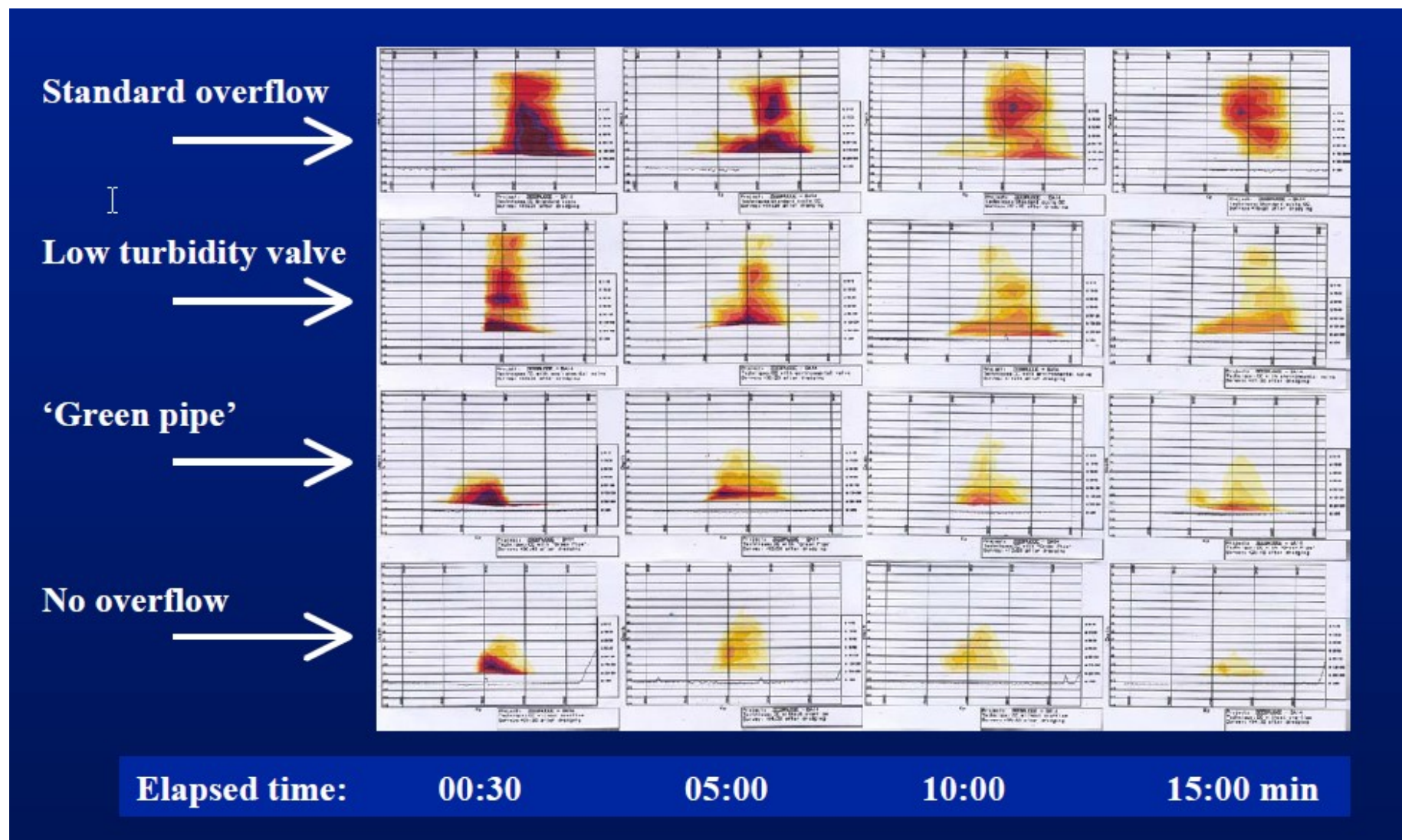
- 41 % avec une soupape « basse turbidité » ou « green valve » ; jusqu'à 60 % pour un système monté sur une drague hydraulique à élinde ³².
- 21 % avec un recyclage des eaux de surverse vers la tête de l'élinde (« green pipe »),
- 13 % sans surverse.

Figure 33 : Comparaison des différentes techniques de réduction de la surverse



³² Sina Saremi. Density-Driven Currents and Deposition of Fine Materials. April 2014. DTU Mechanical Engineering.

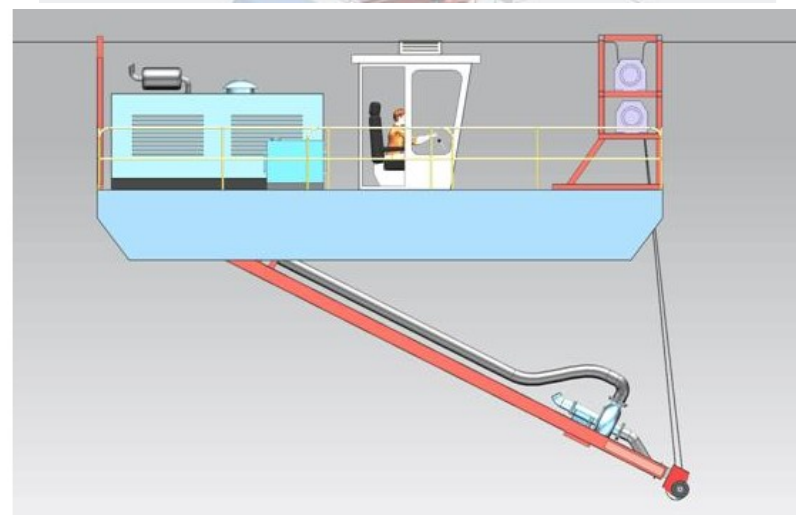
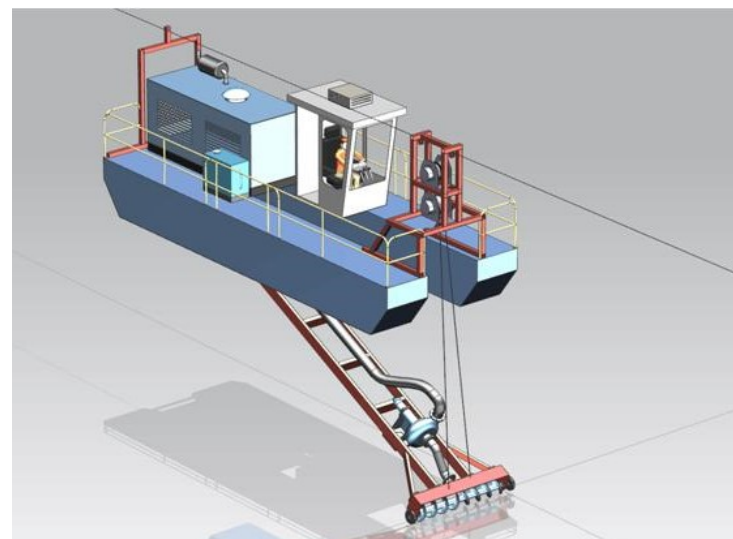
Figure 34 : Comparaison des panaches de dispersion de la turbidité selon les différentes options de remplissage



7.2.1.4 Dragage hydraulique à vis-d'Archimède

Une drague hydraulique à vis-d'Archimède (Figure 35) fonctionne comme une drague à désagrégateur, mais elle est munie d'un outil de coupe rotatif fonctionnant selon le principe de la vis-d'Archimède, fixé perpendiculairement à la conduite d'aspiration. Le carter de la vis crée une aspiration par le vide avec une vitesse suffisante pour aspirer le sédiment avec beaucoup moins de turbidité qu'une drague munie d'une tête classique. Ces engins sont adaptés au dragage de couches de sédiments contaminés.

Figure 35 : Drague hydraulique à vis-d'Archimède



7.2.1.5 Les pompes submersibles

Les pompes submersibles (Figure 36) sont des engins manipulables depuis la flèche d'une grue ou d'une pelle hydraulique et ou depuis un ponton flottant. Elles sont alimentées par courant électrique depuis un générateur. Elles peuvent être équipées d'une rampe d'injection d'eau ou d'un cutter pour extraire des sédiments sableux ou indurés. Elles sont utilisées généralement ou dans des cas particuliers : extraction de petits volumes ensouillage ou raccordement de canalisations,...

Figure 36 : Différents types de pompes hydrauliques submersibles



7.2.1.6 Benne preneuse « environnementale »



Les bennes preneuses dites « environnementales » sont utilisées pour extraire des sédiments contaminés. Elles permettent d'améliorer la précision du dragage et limiter les remises en suspension de sédiments.

Manœuvrables depuis la terre ou un ponton, la benne comprend un système de fermeture horizontale permettant d'effectuer un dragage dans un plan horizontal. Ouverture et fermeture sont hydrauliques et hermétiques grâce à des joints étanches (Figures 37 à 39).

Figure 37 : Détails techniques d'une benne environnementale

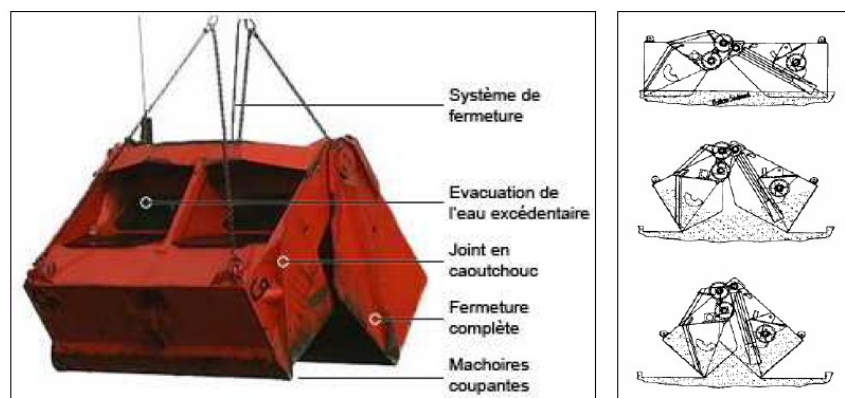


Figure 38 : Comparaison de l'impact environnemental sur la turbidité entre un godet classique à gauche et une benne environnementale, à droite. De haut en bas : contact avec le fond, prélèvement, remontée. (extrait vidéo : <http://www.cablearm.com/Buckets/Enviro.htm>)

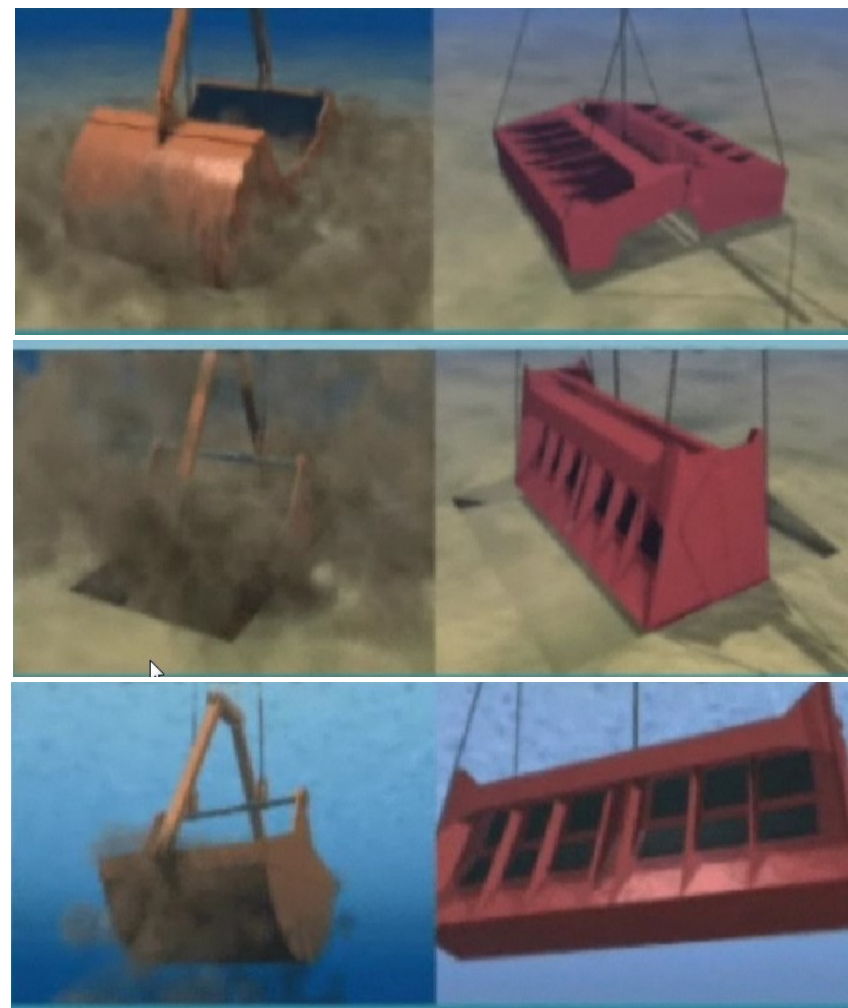
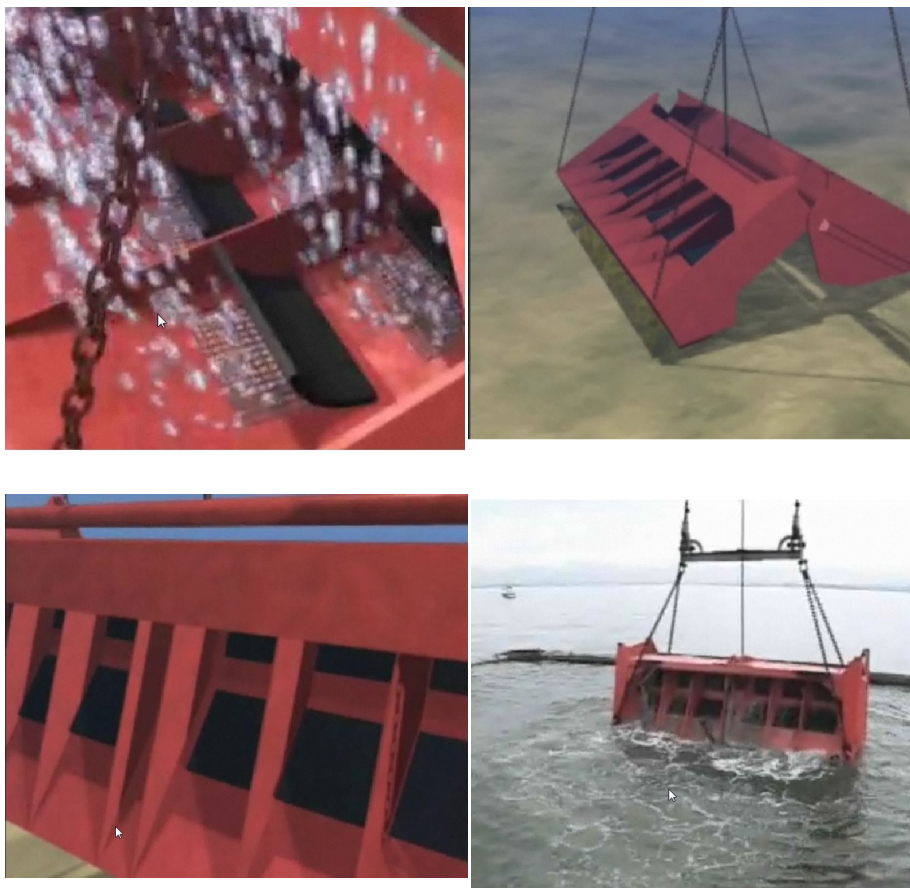


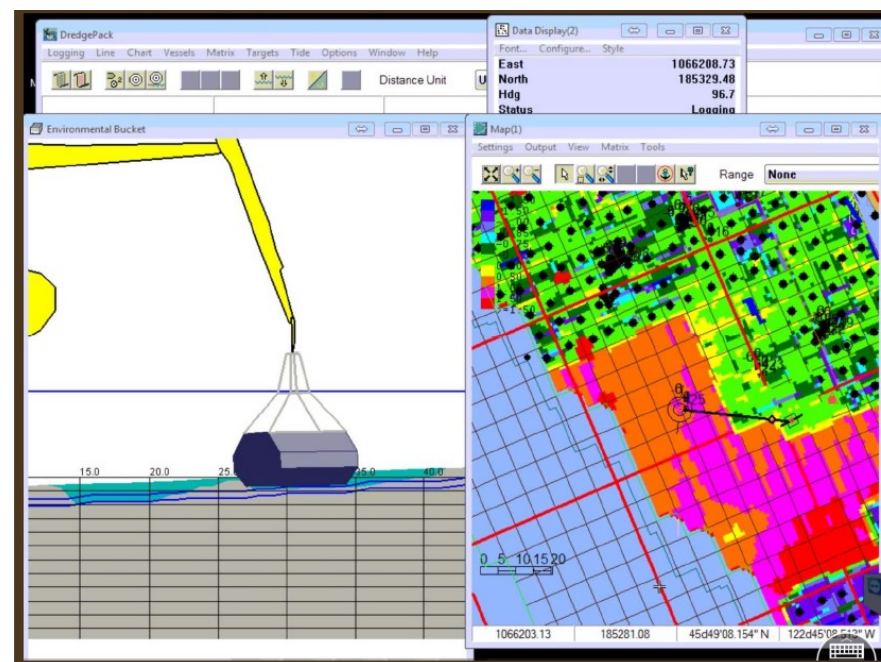
Figure 39 : Détail de fonctionnement de la benne environnementale (de gauche à droite et de bas en haut) : évacuation de l'eau excédentaire à la descente ; prélèvement ; remontée de la benne, les volets mobiles sont fermés et évitent les pertes de sédiments ; à la sortie de l'eau, en surface



7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage



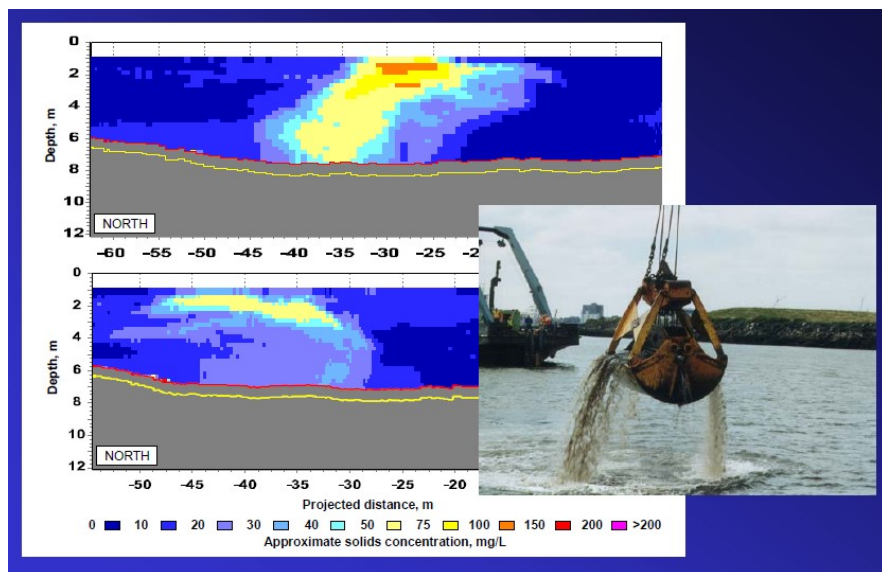
La benne environnementale permet l'excavation de couches de sédiments avec une précision de 30 cm horizontalement et de 5 cm à 25 cm en profondeur, grâce à la géolocalisation.



Les retours d'expérience montrent que les quantités remises en suspension par les engins mécaniques de type bennes preneuses, peuvent varier entre 5 et 35 kg par m³ extrait, selon l'engin utilisé et la granulométrie des sédiments (pourcentage de particules fines).

Ces flux sont redistribués autour de l'engin de dragage au moment de la prise de sédiment et lors des mouvements de l'outil d'extraction comme la remontée du godet (Figure 40).

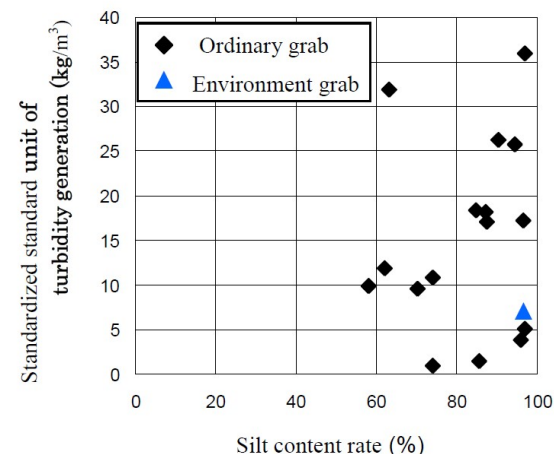
Figure 40 : Modélisation des sédiments remis en suspension lors de la remontée d'une benne classique à godet (source ERDC /USACE)



L'utilisation d'une benne environnementale limite fortement l'évasion du sédiment lors de la remontée de la benne, le flux étant de l'ordre de 5 kg par m³ extrait, comme le montre le graphe de la figure 41 (triangle bleu). Cependant certaines bennes ordinaires possèdent des performances équivalentes, voire meilleures au regard de sédiments possédant des caractéristiques granulométriques équivalentes (proportion de silts supérieure à 95 %).

7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage

Figure 41 : Comparaison entre des bennes ordinaires et une benne « environnementale »³³ en fonction du flux de matériaux remis en suspension et de leur granulométrie



7.2.1.7 Dragage par injection d'eau

La technique de dragage par injection d'eau³⁴ repose également sur un principe de remise en mobilité. Un jet d'eau sous basse pression est envoyé dans la couche sédimentaire pour créer un courant de densité. Les sédiments sont alors pris dans ce courant et emportés vers un point plus « bas » situé en aval de l'écoulement.

³³ Source : A Guidebook on the Prediction of Influence of Turbidity in the Port Construction Work, pp. 15-24. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. Tokyo, Japan, 2003.

³⁴ GEODE. Guide méthodologique sur le dragage par injection d'eau. Artelia et Queen Mary University of London. Décembre 2012.

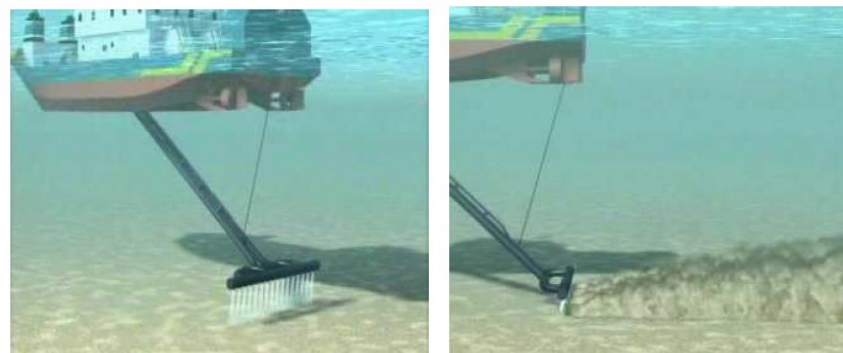
La puissance des jets doit être adaptée à la distance que doit couvrir le courant de densité, à l'hydraulique du site et à la nature des sédiments en présence. Les débits en eau d'une drague à injection varient généralement entre 1 000 et 12 000 m³ par heure suivant les dragues. Son usage se développe en France, notamment dans l'estuaire de la Loire où le GPMNSN a mis en service un engin de ce type depuis juin 2011, le remorqueur injecteur d'eau *Le Milouin*. Le GPMR et le GPMH utilisent également une niveleuse avec injection d'air et d'eau *La Brotonne* (Figure 42).

Figure 42 : Dragues à injection d'eau *Le Milouin* (en haut) et *La Brotonne* (en bas)



7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage

Figure 43 : Principe du dragage à injection d'eau (MEYER 2000) et visualisation graphique du courant de densité (DELFT-VAN OORD)



Le dragage à injection est le plus généralement utilisé sur des sédiments fins ou des vases, susceptibles d'être fluidifiés et remis en mobilité facilement (Figure 43). Cependant, des matériaux trop cohésifs risquent de se réagréger (floculation) durant le processus et de diminuer ainsi l'efficacité de la technique en accroissant la vitesse de dépôt des sédiments.

Le dragage à injection d'eau est principalement utilisé en milieu fluvial ou estuarien, où les conditions lui sont le plus souvent favorables grâce aux forts courants générés par la marée et les débits fluviaux combinés. Dans des conditions favorables, le dragage à injection d'eau a souvent permis de réduire fortement le recours aux autres techniques de dragage pour l'entretien général des chenaux de navigation, où l'engin le plus couramment utilisé était la drague aspiratrice en marche ou la drague stationnaire (Loire, Elbe...). L'efficacité du dragage à injection n'a pas d'équivalent pour les opérations d'écroûtage de dunes ou de rides, comme en témoignent les expériences menées en Allemagne sur l'Elbe.

7.2.2 Optimisation des paramètres du dragage par l'instrumentation embarquée

L'instrumentation d'aide au dragage, maintenant utilisée de manière courante par les opérateurs, conduit à assurer le prélèvement du strict volume requis pour des travaux neufs ou d'entretien. Cette instrumentation permet d'éviter de dépasser les cotes de dragage à obtenir ou encore d'atteindre ces cotes sans avoir recours à de nouvelles interventions.

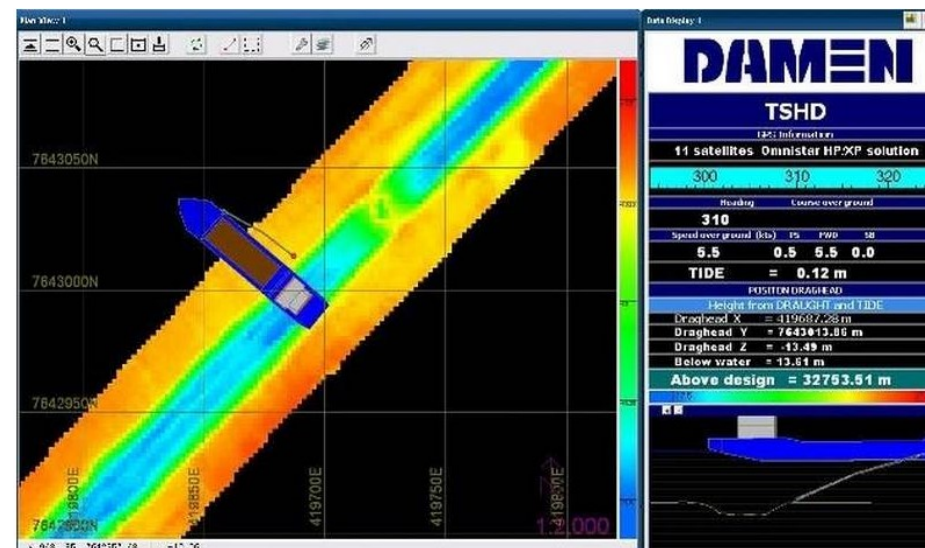
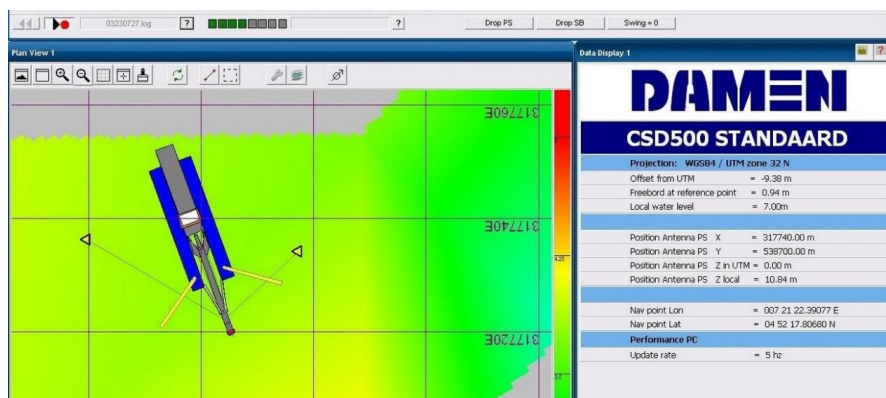
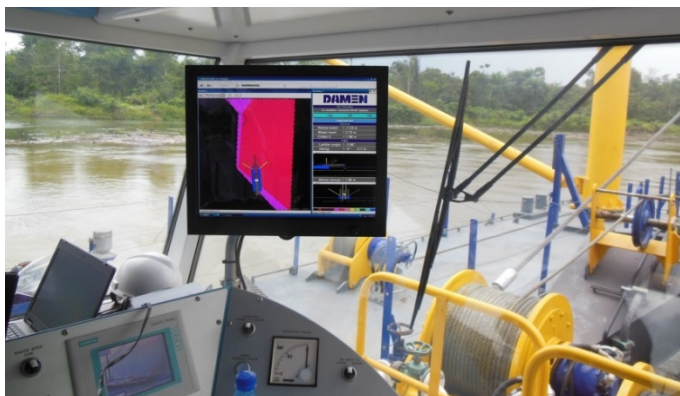
L'optimisation du dragage est ainsi obtenue par des équipements installés à bord des dragues (système de navigation couplé à un système de radiolocalisation, récepteur des hauteurs de marées et indicateurs de contrôle de la profondeur et de la cote de dragage). La modernisation des techniques hydrographiques avec, en particulier, l'automatisation de la saisie des données à bord des vedettes, le tracé automatique de relevés bathymétriques, le calcul des cubatures permet également un suivi précis de l'exécution des chantiers de dragage.

Les dragues modernes sont équipées d'une batterie complète d'instrumentations permettant d'optimiser les paramètres de dragage et de réduire la durée des opérations par augmentation des rendements et en conséquence de réduire les impacts environnementaux (limitation de turbidité, ...).

Quelques exemples illustrent les pages qui suivent.

- **positionnement de la drague sur la zone de dragage,**
- **système de mesure de la concentration et de la vitesse de la mixture dans le puits de drague,**
- **sonde de contrôle de pression de l'aspiration entre la tête d'aspiration et la pompe,**
- **sondes de pression équipant la pompe d'aspiration-refoulement**
- **capteurs d'inclinaisons et d'angles de rotation installés sur les élinde,**
- **contrôle du remplissage du puits de la drague,**
- **contrôle de la charge et mesure de la concentration en matériaux solides,**
- **suivi en temps réel du cycle de dragage (remplissage et clapage).**

Positionnement de la drague sur la zone de dragage (source DAMEN)



Contrôle des pressions et concentrations de la mixture (dragues hydrauliques)



Système de mesure de la concentration et de la vitesse de la mixture dans le puits de drague



Système de mesure de la concentration et de la vitesse sur une conduite de refoulement



7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage



Sonde de contrôle de pression de l'aspiration montée entre la tête d'aspiration et la pompe



Sondes de pression équipant la pompe d'aspiration-refoulement

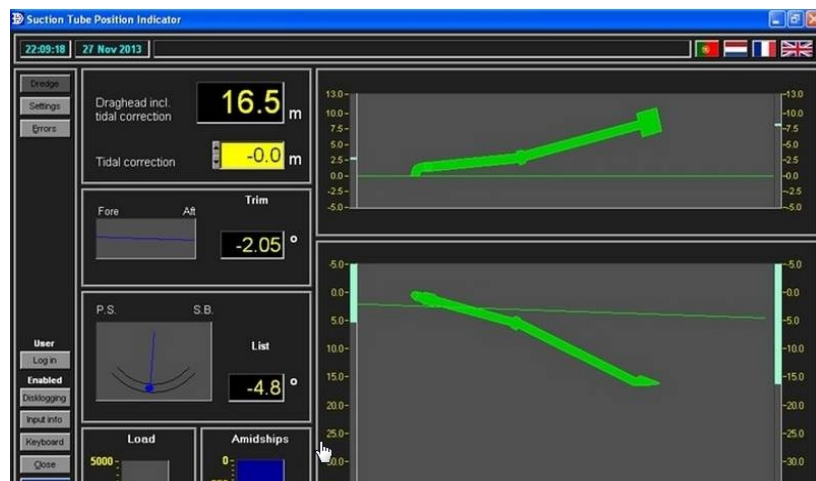
Contrôle de la charge et mesure de la concentration en matériaux solides : mesure par capteur radar du niveau de remplissage de la cale



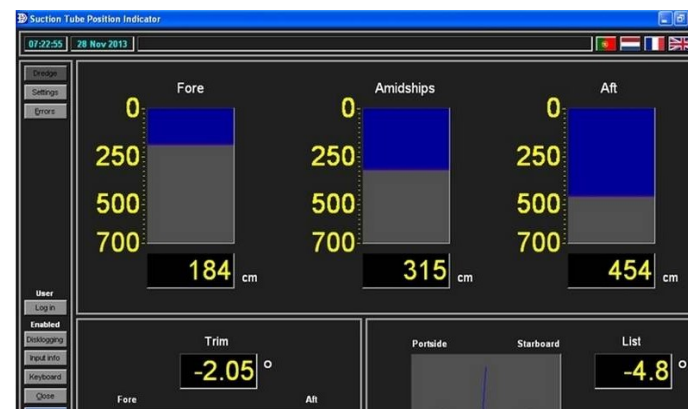


Capteurs
d'inclinaisons et
d'angles de rotation
installés sur une
élinde

Contrôle du remplissage du puits de la drague

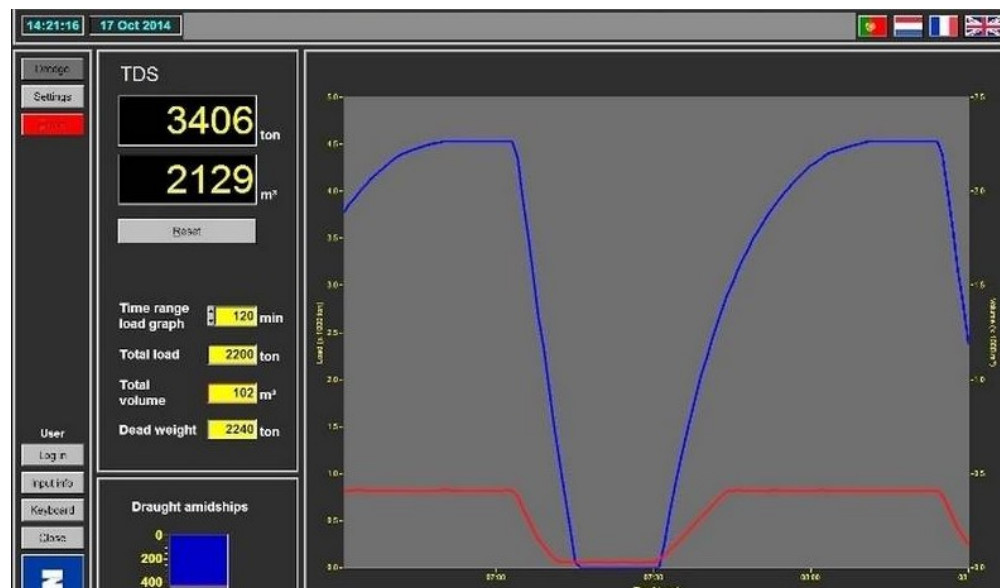


7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage



Suivi en temps réel du cycle de dragage (remplissage et clapage)

En bleu, volume de la mixture ; en rouge, volume de la charge solide



7.2.3 Ecrans anti-turbidité

Les écrans anti-turbidité sont souvent présentés, dans les études d'impact, comme la panacée, pour empêcher la dispersion des MES, voire confiner les panaches turbides. Leur efficacité dépend en fait de nombreux facteurs comme les conditions hydrodynamiques, la profondeur d'eau, les caractéristiques dimensionnelles de l'écran (hauteur, longueur), leur installation et maintenance. En conséquence, ils ne sont utilisables et efficaces que dans quelques cas de figure bien définis.

Les écrans peuvent être constitués de tissus tissés ou non tissés ou maillés et composés de polyester, polypropylène ou de géotextile. Les grammages des tissus utilisés varient entre 270 et 700 g/m². L'écran peut être simple ou doublé.

7.2.3.1 Description³⁵

Principe

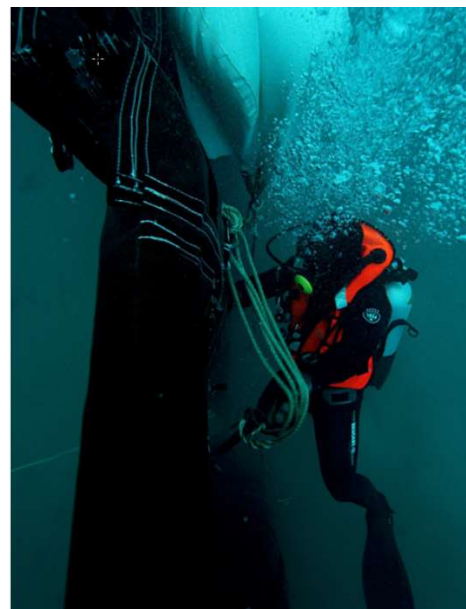
Les écrans protecteurs ou écran anti-turbidité sont utilisés à proximité immédiate des opérations de dragage, de dépôt, ou des travaux maritimes en général, pour limiter la dispersion des particules remises en suspension. De façon générale, les écrans constituent un moyen efficace dans les eaux calmes et peu profondes. Dans tous les cas, on cherchera à circonscrire le plus étroitement possible les sites d'où proviennent les matières solides en suspension ou encore les zones sensibles à protéger.

³⁵ Francingues, N. R., and Palermo, M. R. (2005). Silt curtains as a dredging project management practice. DOER Technical Notes Collection (ERDC TN-DOER-E21). U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

Matériel

Ce sont des barrières de faible perméabilité faites de géotextiles tissus (grammage variant entre 200 et 700 g/m²) ou de Nylon ou de polyester renforcés de PVC ou encore de Kevlar/polyester. Elles sont maintenues en place par des flotteurs et un lest à leur extrémité inférieure (chaîne, poids régulièrement espacés, piquets).

Figure 44 : Déploiement d'un écran anti-turbidité par un plongeur



Des câbles de tension peuvent être disposés verticalement dans l'écran, au-dessus des segments de flottaison et à intervalles réguliers pour absorber les tensions créées par les courants et les autres forces hydrodynamiques. Ces écrans sont généralement fabriqués en sections de 50 m de longueur et leur hauteur peut être adaptée aux conditions locales.

GEODE

La partie immergée de l'écran peut atteindre 6 m de hauteur. Les sections peuvent être rajoutées pour atteindre le linéaire souhaité. Les écrans peuvent être déployés en chicanes, demi-cercles ou cercles.

Figure 45 : Nappe, flotteur, lest et gréement d'un écran anti-turbidité



Ci-contre : la ligne rouge de flotteurs soutient la nappe géotextile blanche lestée par une chaîne cousue dans la bordure inférieure.

Ci-dessus : élément renforcé de fixation et traction. Source : DIFOPE



7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage

Figure 46 : Exemples de mise en œuvre d'écrans anti-turbidité au cours de travaux maritimes



7.2.3.2 Efficacité et facteurs limitants

Le retour d'expérience de l'utilisation de ce type d'écran montre que la turbidité peut être réduite de 80 à 90 % à l'extérieur de l'écran. Cependant, **l'efficacité des écrans** dépend de plusieurs facteurs :

- la **profondeur du site**,
- les **conditions hydrodynamiques** (marée, vitesse du courant, agitation),
- la **localisation des points d'émission de matières en suspension**,

- la quantité et le type de matières en suspension à l'amont de l'écran,
- le type de sédiments (granulométrie, cohésion) et la nature des opérations,
- les caractéristiques et les conditions d'utilisation de l'écran,
- les méthodes d'ancrage de l'écran.

L'efficacité des écrans protecteurs est réduite quand :

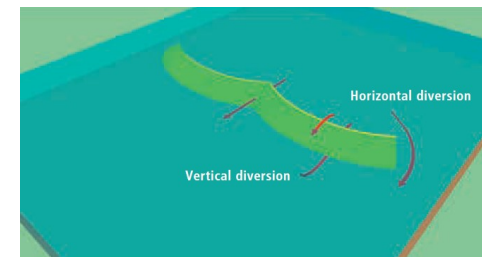
- la hauteur d'eau dépasse 6 m et les courants sont supérieurs à 0,50 m/s (une limite maximale est donnée à 0,80 m/s). A des profondeurs supérieures, les charges et les pressions sur les écrans deviennent incontrôlables (déchirements, mise en drapeau),
- les secteurs concernés sont fréquemment exposés aux vents forts, à l'action des vagues et des marées,
- la nature des engins de dragage nécessite de fréquents déplacements de l'écran.

On estime que l'augmentation de la vitesse du courant de 1 à 10 multiplie par un facteur 40, les forces hydrodynamiques qui s'exercent sur un écran vertical.³⁶

Les forces générées par les courants ont tendance à déformer l'écran en s'opposant aux forces générées par les ancrages et bouées qui maintiennent l'écran. Cela peut conduire l'écran à se soulever du fond, réduisant sa hauteur effective et créant un passage pour les matières en suspension.

Un phénomène opposé se produit quand les forces exercées par les ancrages de maintien ne contrebalancent pas les forces générées sur l'écran par le courant. Dans ce cas, l'écran est dévié de sa position verticale et le flux de matières en suspension passe au-dessus de l'écran. Lorsque l'agitation est trop forte, les vagues peuvent passer par-dessus l'écran entraînant les matières en suspension.

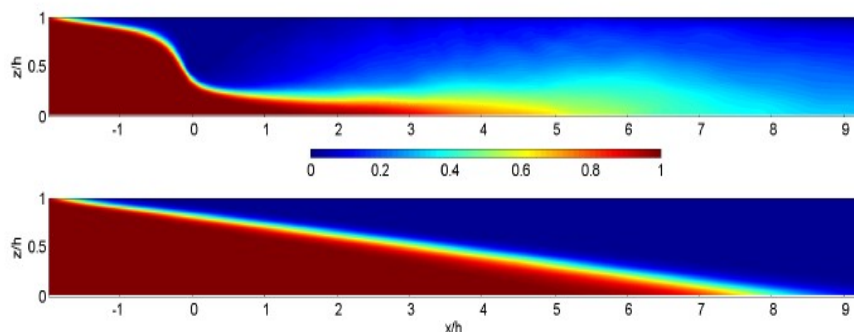
L'efficacité des écrans a été testée à l'aide de modèles 3D (dispersion verticale) et 2D (dispersion horizontale). Les essais ont consisté à comparer l'évolution d'un panache turbide sans écran et celle avec interposition d'un écran³⁷.



³⁶ Ogilvie J.C., D. Middlemiss, M.W. Lee, N. Crossouard and N Feates. Silt curtains - a review of their role in dredging projects. Published in the proceedings of CEDA Dredging Days 2012, 12-13 December, Abu Dhabi, United Arab Emirates.

³⁷ M. Radermacher, F. Van Der Goot, D.C. Rijks AND L. de Wit. The Art of Screening: Effectiveness of Silt Screens 3. *Terra et Aqua*, Number 132, September 2013.

Figure 47 : Modélisation de l'efficacité d'un écran libre sur l'évolution d'un panache turbide, sans écran (en bas) et avec interposition d'un écran (en haut)



Dans l'exemple de la figure 47, l'écran agit ponctuellement en réduisant la concentration maximale en MES (efficacité de 32 %), mais à l'aval du courant, la concentration en surface est plus importante comparativement à la situation de référence (efficacité de - 10 % par rapport à cette situation). Une forte vitesse de sédimentation est un facteur favorable en cas de pose d'un écran, mais elle existe aussi en situation de référence.

Au final, les auteurs estiment que, dans le pire des cas, les écrans « libres », c'est-à-dire sans fermetures latérales, laissent passer 40 % du flux verticalement au droit de la chute de l'écran et 60 % horizontalement autour de ses extrémités.

L'efficacité des écrans estimés par modélisation, ne dépasse pas 10 % dans cette étude. Les écrans disposés en pleine eau sans fermetures latérales sont donc considérés comme inefficaces, du fait que le panache turbide peut les contourner soit verticalement, soit horizontalement.

7.2.3.3 Implantation des écrans

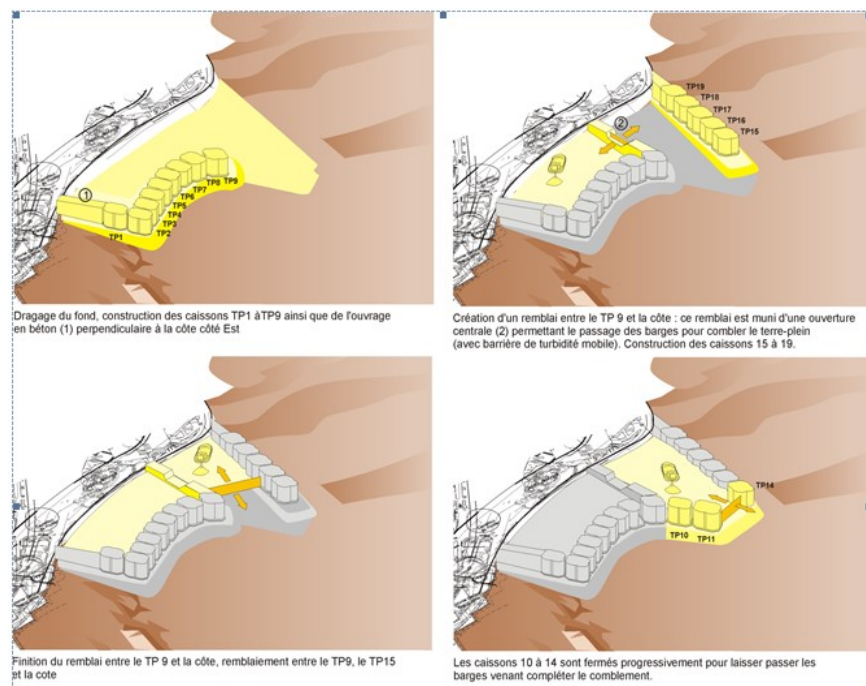
Tableau 28 : Modalités et limites d'utilisation des écrans de protection

Utilisation de l'écran	Limites d'utilisation
L'écran protecteur est installé autour de l'engin de dragage et isole la zone à draguer : la turbidité est contenue à l'intérieur du périmètre et ne diffuse pas à l'extérieur	Cas de zones isolées avec des sédiments contaminés. Drague stationnaire à benne, drague rétrocaveuse, pelle à godet montée sur ponton. Pompes immergeables.
L'écran est destiné à isoler la zone d'immersion et éviter des départs de MES vers l'extérieur	Cas où l'écran vient fermer une enceinte constituée d'un bassin ou une digue en partie ouverte
L'écran protège la ou les zones sensibles que l'on veut éviter de soumettre au nuage turbide.	Les limites sont la surface des zones à protéger, leur profondeur, leur distance par rapport à la zone de dragage ou d'immersion.

Ecran utilisé pour confiner une zone de mise en remblais pour la construction d'un terre-plein

Dans l'exemple de la figure 48, l'écran est utilisé en complément de merlons provisoires pour confiner la zone comblée par des déblais de dragage. A noter que l'écran doit être mobile pour permettre le passage des barges.

Figure 48 : Utilisation d'écrans anti turbidité (orange) lors de la construction d'un terre-plein (MCDC, 2008)



Ecran installé autour du matériel de dragage

La figure 49 de la page suivante, illustre l'utilisation d'écrans anti-turbidité disposés dans des sites portuaires abrités où l'agitation est limitée et la profondeur faible à modérée compatible avec la pose d'un écran sur toute la hauteur de la colonne d'eau.

Figure 49 : Différents cas d'implantation d'un écran anti-turbidité pour isoler la zone à draguer



Colonne de gauche et du milieu : écrans dans des bassins portuaires protégés d'une forte agitation.

Colonne de droite : écran disposé dans une lagune dans de petits fonds.



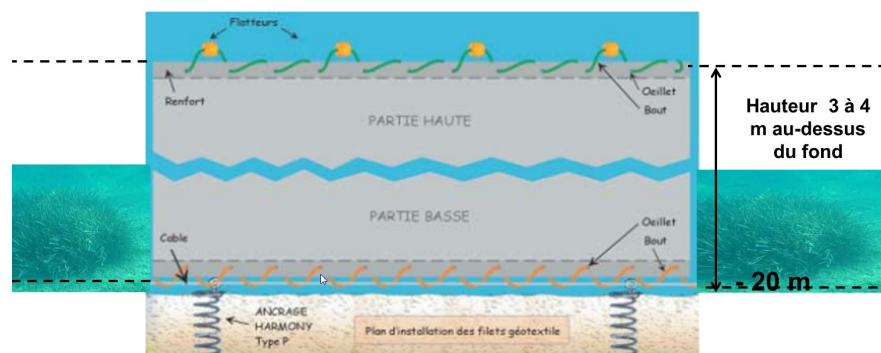
Ecrans utilisés pour protéger des zones sensibles

Il ne s'agit plus de confiner la source de turbidité, mais de protéger les cibles potentielles situées à plus ou moins longue distance de la zone d'extraction ou d'immersion, généralement des biocénoses comme les herbiers de phanérogames (posidonies, zostères) ou le coralligène en Méditerranée.

Ces peuplements sont souvent situés à de profondeurs pouvant atteindre 20 m ou 30 m, voire plus. L'utilisation d'écrans couvrant toute la hauteur de la colonne d'eau n'est pas envisageable pour des raisons hydrodynamiques, d'installation, de maintenance et de coût.

L'une des solutions consiste à installer un écran de fond, de 3 à 4 m de hauteur, permettant d'isoler partiellement la zone sensible de la zone à draguer ou faisant l'objet d'immersion de matériaux. L'écran peut être ouvert à ses extrémités ou plus ou moins refermé sur la zone, selon la surface à protéger et la configuration du site.

Figure 50 : Positionnement d'un écran anti-turbidité au-dessus du fond pour protéger un herbier de posidonies



Sur la figure 51, avant le démarrage des travaux de construction d'une digue, un écran anti turbidité est mis en place sur le fond pour assurer la protection passive d'un herbier. Le merlon parallèle à la côte permet de limiter le fluage de la couche sédimentaire (« courants de densité ») vers l'herbier lors de la mise en place des matériaux d'assise de la côte vers le large.

Figure 51 : Illustration de l'utilisation d'un écran de fond pour protéger une zone sensible lors de l'exécution de travaux maritimes

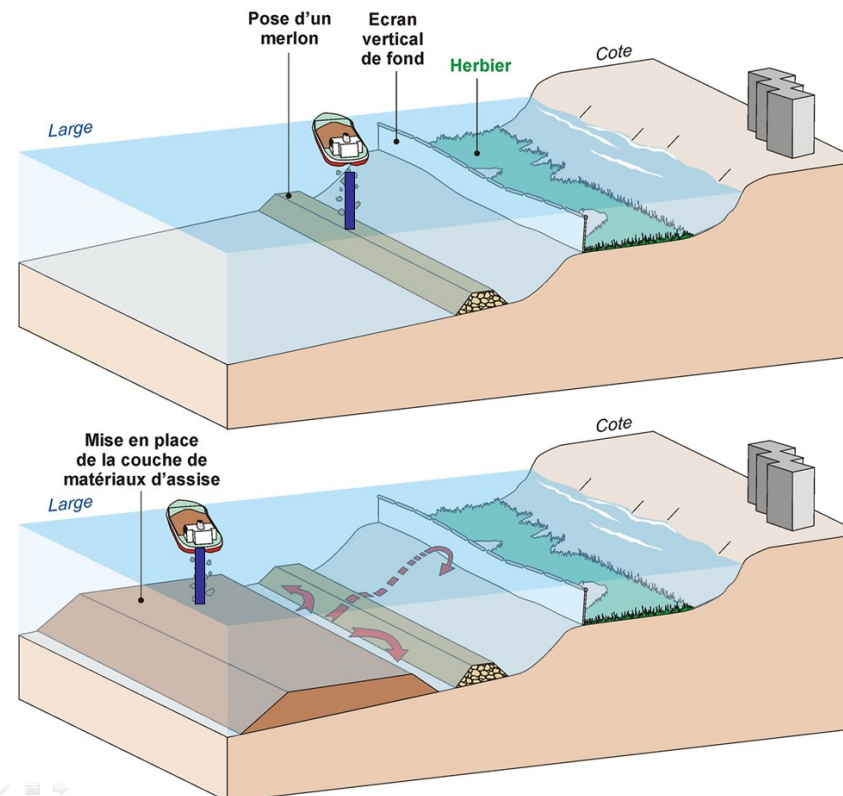
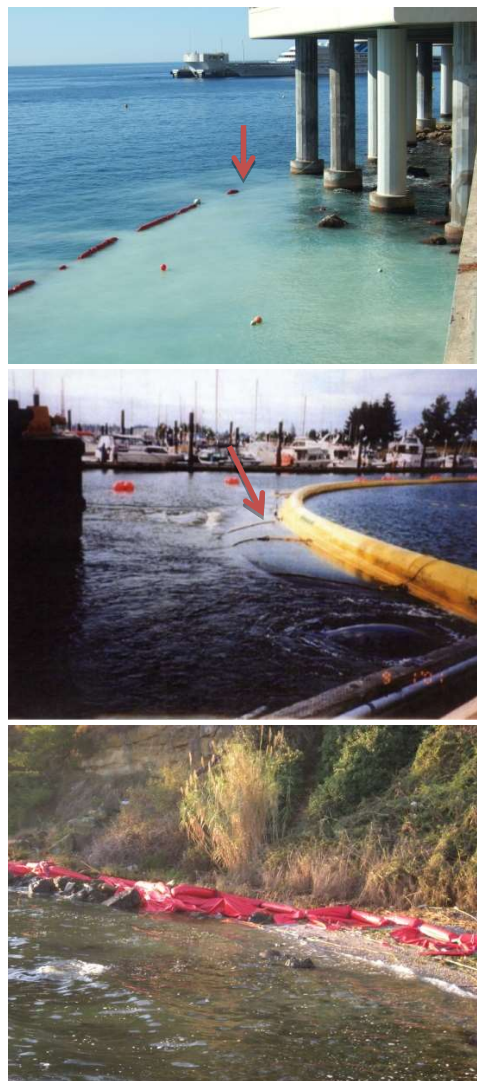


Figure 52 : Exemples des limites d'utilisation des écrans anti-turbidité



A gauche :

En haut : mauvaise maintenance de l'écran avec surverse des eaux turbides vers le milieu extérieur.

Au milieu : rupture de la jupe de l'écran sous l'effet des courants de marée.

En bas : écran rejeté au rivage après une forte houle.

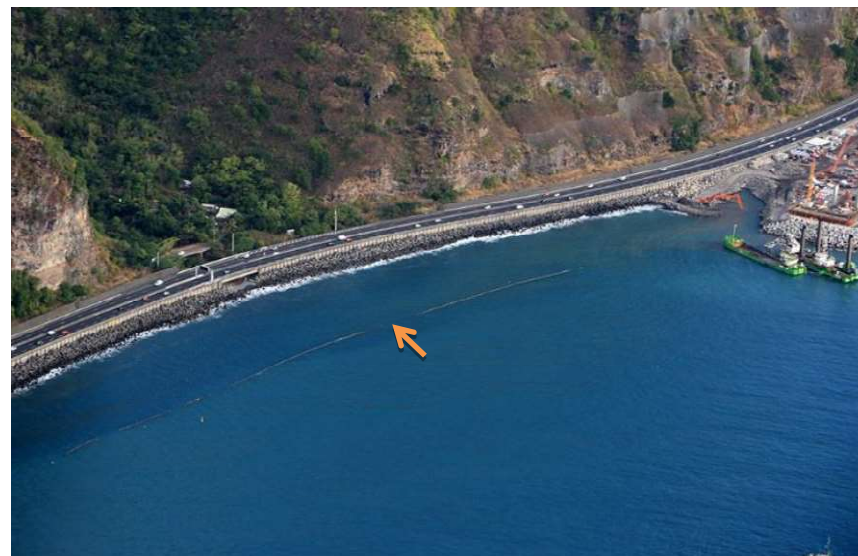
Ci-dessus :

Mise en place d'un écran autour d'un récif corallien.

Ci-contre :

En haut : écran protecteur isolant un récif corallien

En bas : limites de l'efficacité de l'écran lorsque les extrémités sont libres : le courant de marée entraine les MES vers le secteur à protéger.



7.2.3.4 Ecran par rideau de bulles

Le principe repose sur la production d'un rideau de bulles d'air vertical faisant écran devant la zone que l'on veut protéger du panache turbide, ou venant isoler la zone de dragage du milieu extérieur.



L'air est produit à partir d'un compresseur ordinaire à terre ou disposé sur un navire de servitude. L'air est distribué dans une rampe percée de buses suffisamment rapprochées pour permettre l'échappement de l'air sous forme d'un rideau de bulles. Sur la photo ci-contre, le tuyau d'un diamètre de 25 cm est lesté. Les buses libérant l'air ont un diamètre de 2 mm et sont espacées de 33 cm.

La figure 53 illustre l'utilisation d'un rideau à bulles pour confiner des sédiments contaminés dans un bassin portuaire en Finlande.³⁸

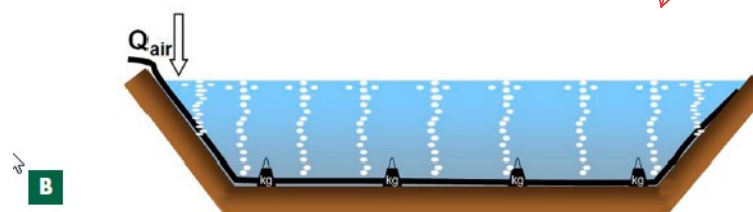
A – Vue de la darse et de l'entrée équipée du rideau de bulles. La différence de couleur des eaux entre la darse et le milieu extérieur, témoigne de l'efficacité du système.

B – Coupe en travers type du dispositif.

C – Les courants de densité entraînent des échanges entre la darse (eaux chargées et le milieu extérieur (à gauche). Le rideau de bulles permet de maintenir une séparation entre les deux milieux.

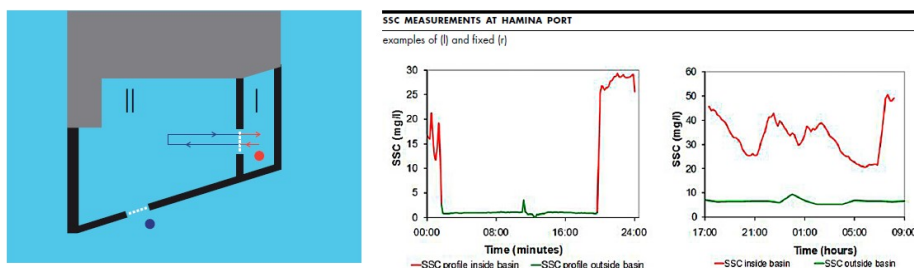
³⁸ BOSKALIS. Environmental mitigation measures. Air bubble screen. A Case Study : Hamina Port Project — Finland.

Figure 53 : Utilisation d'un rideau de bulles pour confiner un bassin portuaire en Finlande



Le suivi de l'efficacité du dispositif a été réalisé par des mesures en continu de la concentration en MES par bouées automatisées et par mesures ponctuelles.

Figure 54 : Evolution des teneurs en MES à l'intérieur et à l'extérieur du bassin, séparés par un écran à bulles



Les concentrations ont varié entre 20 et 50 mg/l à l'intérieur de la darse - les pics maximums étant enregistrés après le déversement des sédiments dans la darse -, alors que les teneurs à l'extérieur oscillaient entre 6 et 11 mg/l (Figure 54).

Tableau 29 : Avantages et inconvénients comparés d'un rideau de bulles

Avantages ☺	Inconvénients ☹
Facilité d'installation et de réglage	L'ascension des bulles est déviée sous l'influence d'un courant fort
Modulation du débit en fonction des conditions hydrodynamiques	Agitation (mer ouverte)
Ne crée pas d'obstacle au passage d'un navire (perturbation momentanée par le brassage des hélices)	Courants de marée

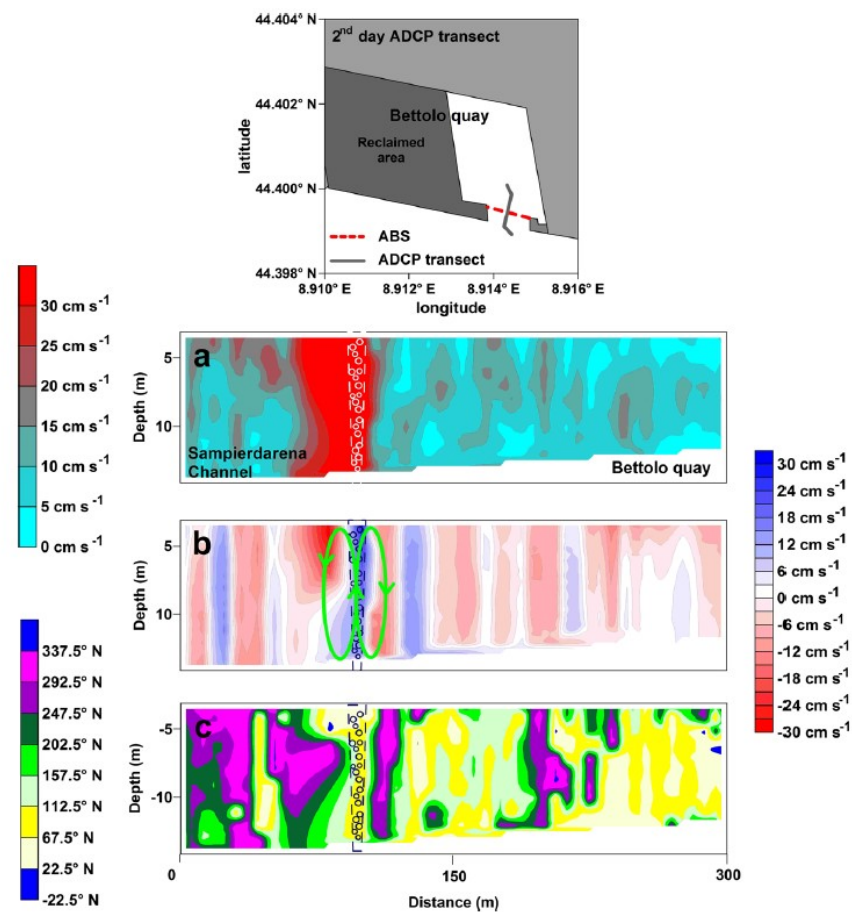
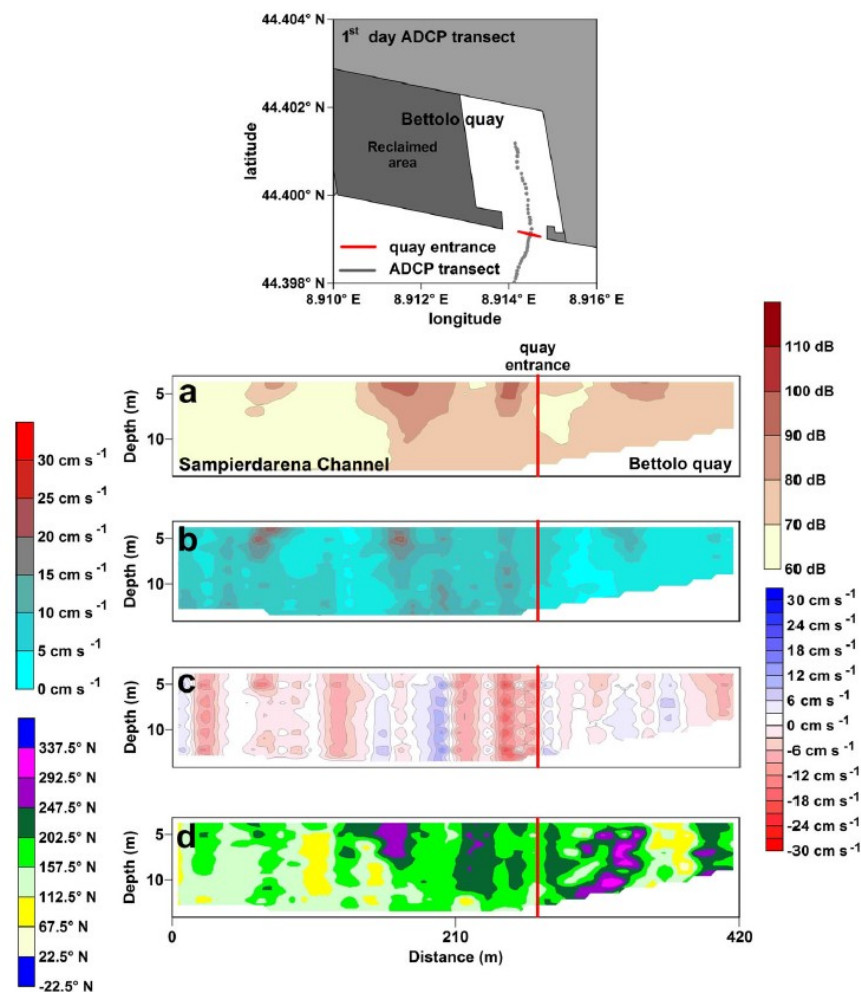
7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage

Tirée d'une expérience dans un port italien³⁹, la figure 55 sur la page suivante, permet de comparer les paramètres suivants mesurés par un profileur de courant à effet Doppler (ADCP) entre la situation sans rideau de bulles (à gauche ; ligne rouge = entrée de la darse) et celle avec le rideau de bulles (tirets rouge = rideau de bulles).

- a - Distribution verticale du signal de rétrodiffusion ADCP (dB) selon la ligne de transect indiquée en gris.
- b - Distribution de la vitesse horizontale des courants (cm/s).
- c - Distribution de la vitesse verticale des courants (cm/s).
- d - Distribution de la direction des courants (°N).

³⁹ L. Cutroneo et al. A check on the efficiency of an air-bubble screen using acoustic measurements and an artificial tracer Journal of Soils Sediments. May 2014.

Figure 55 : Mesure de l'efficacité d'un rideau à bulles à l'entrée d'un bassin portuaire



7.2.4 Le dragage flexible ou adaptatif

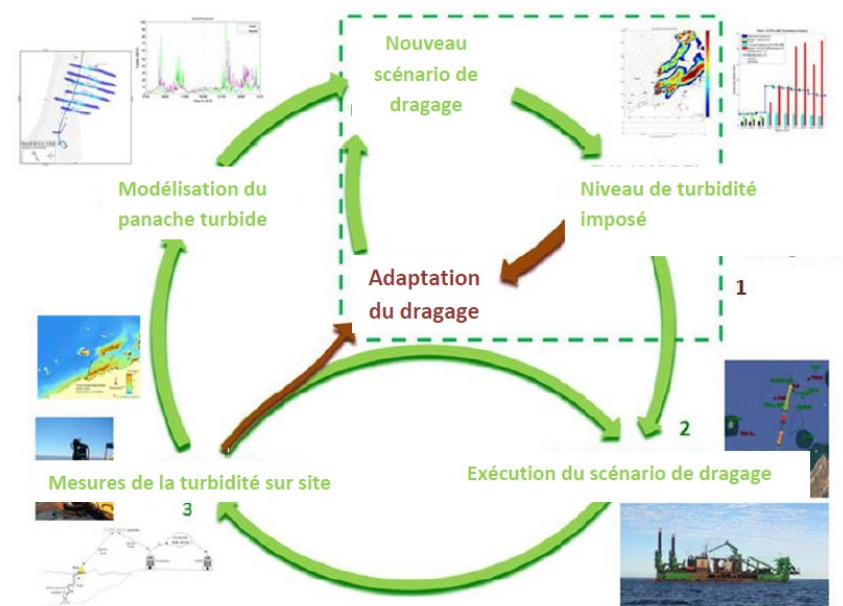
Dans le chapitre 5.5.3., nous avons vu l'intérêt, en phase de conception, d'utiliser les outils de modélisation numérique hydro-sédimentaire pour anticiper les effets prévisionnels avant la réalisation des travaux et, le cas échéant, réduire les incidences par le choix d'une technique de dragage appropriée ou l'évitement de certaines conditions océano-météorologiques défavorables. Cette approche communément utilisée comporte deux points faibles qui peuvent conduire à une exécution non conforme du dragage lors d'opérations ponctuelles.

- la méthode d'exécution peut différer de celle prévue en phase de conception (type et capacité des dragues, nombre d'engins mobilisés, rythme des opérations,...) ;
- les conditions hydrodynamiques au moment de l'exécution peuvent être différentes des scénarios océano-météorologiques théoriques avec lesquels le modèle a été calé, dans la phase de conception.

Pour répondre à cette difficulté, le système ECOPLUME[®] mis au point par DEME⁴⁰, est basé sur un modèle prédictif en temps réel calé sur des mesures *in situ* de la turbidité et des paramètres courantologiques. Le système intègre les conditions hydrodynamiques prévues à court terme, beaucoup plus précises, ainsi que la méthode d'exécution de dragage exactement prévue dans le planning des opérations afin de déterminer les concentrations en MES dans le panache de turbidité généré et ses variations spatiales et temporelles.

⁴⁰ Groupe DEME. EcoPlume, un système intégré de gestion opérationnelle et proactive des dragages et de leur impact environnemental.

Figure 56 : Logigramme d'une démarche de dragage flexible ou adaptative (source : DEME)



Pendant les travaux de dragage, des mesures de la turbidité peuvent être effectuées à des emplacements situés entre l'atelier de dragage et les zones sensibles.

Le système peut comparer les valeurs mesurées à celles prédites par le modèle de transport des sédiments et détecter les écarts par rapport au niveau de turbidité imposé par la réglementation ou fixés par les parties prenantes.

Pour illustrer le système ECOPLUME®, la figure 57 montre l'évolution temporelle des niveaux de la turbidité mesurée in situ (en vert) et les concentrations estimées par le modèle (en bleu) à une station donnée. La courbe en pointillé rouge permet de visualiser la valeur-seuil admissible pour la turbidité sur le site, tandis que la ligne grise (à l'intérieur de l'enveloppe jaune) indique le nombre de jours où la limite sera dépassée dans le scénario de dragage simulé.

Ce système fournit donc à l'opérateur une aide en temps réel lui permettant d'optimiser le déroulement du dragage en fonction des contraintes environnementales qu'il a fixées (arrêt momentané du dragage, alternance des sites d'extraction, utilisation de plusieurs engins pour diminuer la durée d'extraction, ...).

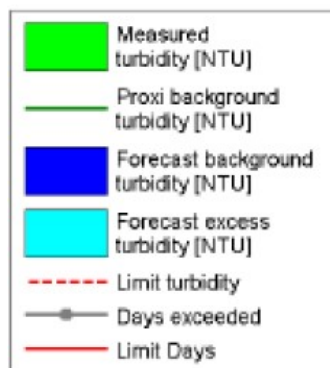
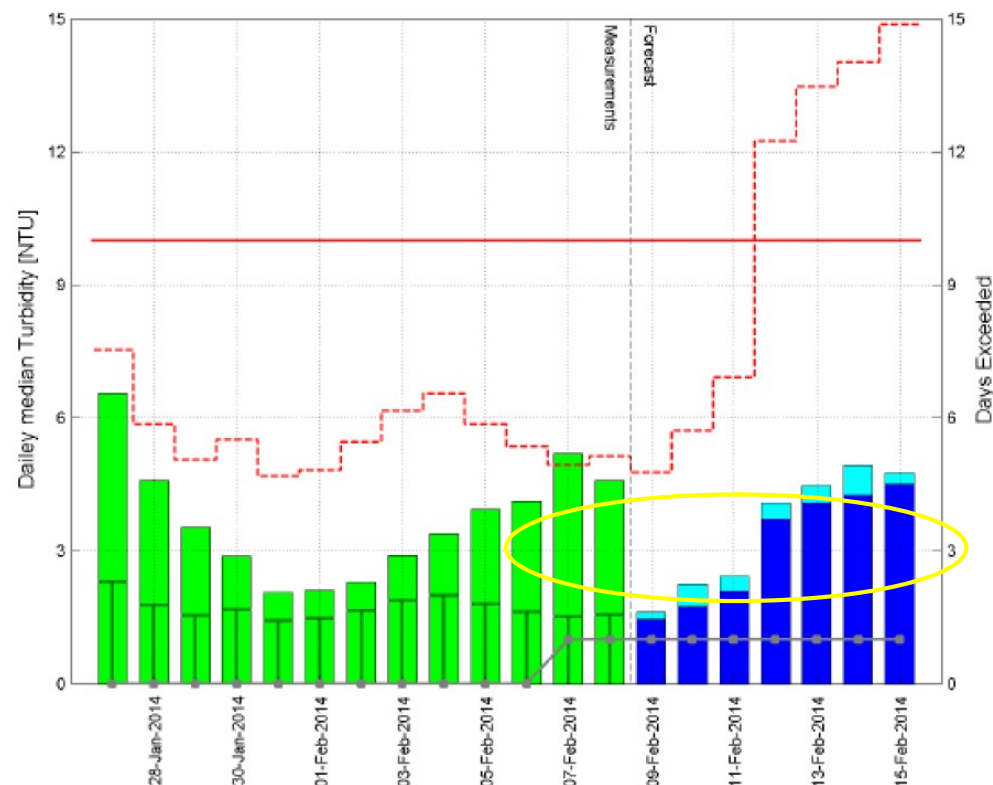


Figure 57 : Dragage pour les installations maritimes d'une usine de GNL en Australie (source : DEME)



7.2.5 Gestion des matériaux de dragage pour la récupération de terrains sur la mer

Les travaux maritimes de création ou d'entretien d'un ouvrage public maritime ou d'un chenal d'accès produisent des **matériaux de dragage qui sont souvent réutilisés pour prolonger un terre-plein existant ou en créer un autre** en continuité avec les ouvrages portuaires existants.

Les sédiments extraits par dragage hydraulique sont généralement déposés derrière un endiguement fermé qui délimite un casier de décantation. La méthode de remplissage du casier consiste à refouler les sédiments en un point d'entrée du casier et de rejeter par surverse. Sous l'action de la gravitation et de la poussée d'Archimède, les particules des sédiments issus du dragage tombent vers le fond ou remontent à la surface selon leur densité et leur diamètre (décantation ou sédimentation). Les eaux de surverse contiennent la partie des sédiments les plus fins qui n'aura pas le temps de décanter suffisamment et qui restera dans la lame d'eau supérieure. Rejetés sans traitement dans le milieu récepteur, elles peuvent donc entraîner un nuage de turbidité et remobiliser des contaminants dans la colonne d'eau.

L'annexe 8 présente deux cas de gestion des matériaux de dragages dans le cadre de travaux maritimes ayant pour objet de récupérer des terrains sur la mer.

7.2.6 Gestion des matériaux de dragage utilisés pour la conservation du domaine public maritime naturel

Le rechargement en sable de plages ou d'avant-plages est une technique qui s'est largement développée depuis les années 1980 et qui est aujourd'hui considérée comme une approche efficace de lutte contre l'érosion côtière. Elle reste souvent associée à l'utilisation d'ouvrages lourds classiques (épis, brise-lames)⁴¹.

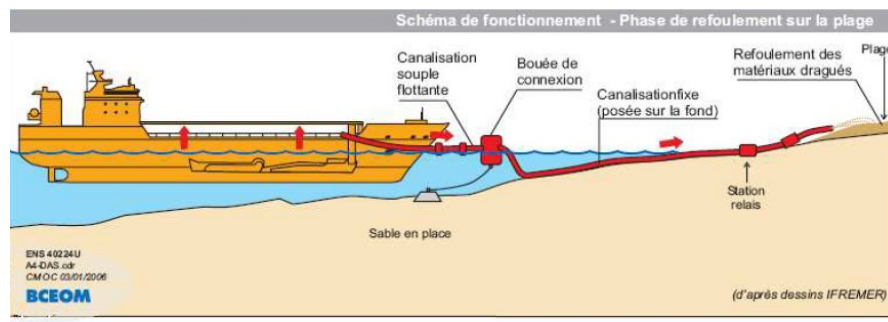
Les matériaux en mer sont généralement extraits des fonds marins par le biais de dragues hydrauliques, puis refoulés sur le point de déchargement par l'intermédiaire de la drague utilisée. Depuis l'aire d'emprunt à la zone de rechargement, les matériaux peuvent être déplacés de trois manières :

- déplacement de la drague elle-même, puis refoulement sur la plage ou l'avant-plage,
- refoulement hydraulique depuis le site d'emprunt, sous réserve de pompes suffisamment puissantes en fonction de la distance (des pompes relais peuvent être installées pour refouler à de plus grandes distances),
- transport par étapes successives : extraction, dépôt intermédiaire et rechargement.

Lorsqu'un refoulement hydraulique est exécuté, des conduites de refoulement sont nécessaires entre la plage et les petits fonds, à une distance de la côte compatible avec le tirant d'eau de la drague en charge. Les conduites peuvent être flottantes ou installées sur le fond de la mer (Figure 58).

⁴¹ DREAL Languedoc-Roussillon. Document de cadrage préalable des études d'impact relatives aux opérations côtières de protection du littoral sableux du Languedoc-Roussillon. Juillet 2011.

Figure 58 : Illustration de la phase de refoulement sur plage à partir d'une drague



Afin de limiter la dispersion des fines associées au rejet, des diguettes en sable sont édifiées pour délimiter des casiers de rechargement où les sédiments sont ressuyés (Figure 59). Le mélange eau-sédiments est déchargé à une extrémité fermée du casier. Lorsqu'il atteint l'autre extrémité du casier, ouverte sur la mer, les eaux sont allégées en particules en suspension qui ont pu se déposer, le temps du transit, d'une extrémité à une autre du casier. A la fin du remplissage, les diguettes sont arasées après que le sable se soit déposé et stabilisé sur la plage.

Exemple du rechargement des plages de la baie d'Aigues-Mortes

Utilisée lors du rechargement des plages de la baie d'Aigues-Mortes en 2009, cette technique a montré sa limite face au débit de refoulement de la drague. Des casiers en série sont en effet nécessaires pour assurer un temps de décantation suffisant des eaux chargées en particules en suspension. L'intégrité du confinement doit être également assurée, comme le montre la photo ci-contre : le rechargement entraîne un nuage de turbidité à proximité du rivage, car le dernier casier s'est rompu (flèche).

L'annexe 8 développe un autre exemple de rechargement de plage.

Figure 59 : Refoulement de sable par une drague hydraulique dans des casiers de ressuyage



7.2.7 Gestion des opérations d'immersion des matériaux de dragage

7.2.7.1 Eloignement de la zone d'immersion des secteurs côtiers sensibles

Les études de conception, notamment l'évaluation environnementale, précise la distance optimale d'éloignement de la zone d'immersion au regard des risques de retour des sédiments vers des secteurs sensibles situés soit à proximité de la côte (zones de baignade, écosystèmes sensibles), soit à une certaine distance de celles-ci comme les zones d'élevage en mer (parcs conchylicoles, filières à moules, cages flottantes) ou encore les récifs artificiels de production.

La distance à la côte n'est cependant pas une condition suffisante, car il faut aussi vérifier que les fonds concernés n'abritent pas d'habitats ou d'espèces sensibles. Dans les secteurs où le plateau continental est étroit, il est envisageable de rechercher un point de rejet à forte bathymétrie (forte rupture de pente, tête de canyon sous-marin) où les sédiments pourront d'abord être dilués dans la colonne d'eau avant d'atteindre le fond. Cependant le maître d'ouvrage doit s'assurer que des peuplements de grands fonds ne seront pas impactés par les sédiments. Par exemple, les tombants profonds ou les têtes de canyons révèlent souvent des habitats remarquables notamment par la présence de coraux profonds d'eau froide et d'espèces biologiques particulières (voir encadré).

En Méditerranée, les nombreux canyons sous-marins qui entaillent la bordure du plateau continental sont des zones très riches avec des remontées d'eau (upwelling) très chargées en nutriments qui favorisent notamment la concentration de mammifères et d'oiseaux. Ils forment des habitats remarquables notamment par la présence de coraux profonds d'eau froide et d'espèces biologiques particulières (poissons, crustacés, cnidaires).



Ils constituent tout à la fois un lieu de refuge, de reproduction et de nurserie pour de nombreuses espèces. Certaines de ces espèces, d'intérêt commercial (langouste et merlu), sont capturées au niveau du plateau continental à proximité de la côte. La compréhension de ces écosystèmes remarquables va de pair avec la compréhension de la biodiversité des zones côtières et du plateau continental. Il existe aussi de telles formations sur les côtes bretonnes entre 600 m et 1 100 m, dans des canyons au large du Guilvinec et du Croisic.

7.2.7.2 Immersions assujetties à des conditions particulières

Limitation du volume rejeté

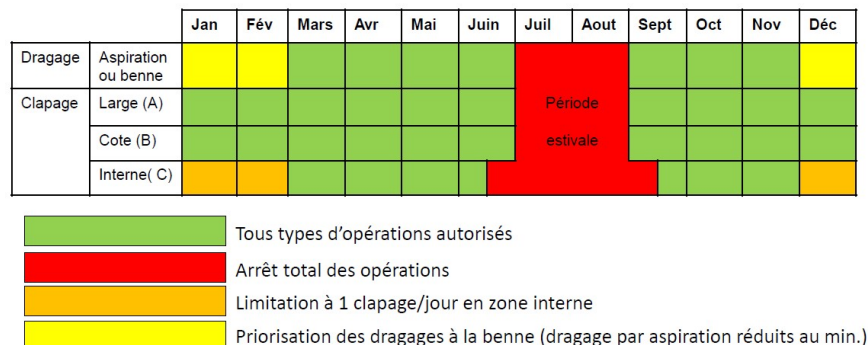
L'arrêté préfectoral d'autorisation des travaux de dragage peut imposer une limitation journalière de rejet de sédiments, par exemple 500 m³ pour le dragage du port de plaisance du Havre et 600m³ pour le port du Légué.

Adaptation du calendrier de dragage (fenêtre environnementale)⁴²

Le port de Bayonne adapte son calendrier de dragage aux enjeux identifiés : passage des poissons migrateurs amphihalins (décembre à février) et fréquentation touristique et balnéaire du site (juillet et août).

⁴² Plus de détails au paragraphe 7.3.3. sur les fenêtres environnementales appliquées au compartiment biologique.

Figure 60 : Adaptation du calendrier de dragage



Conditions océano-météorologiques particulières

Les dragages et les rejets du port de plaisance du Havre sont interrompus par vents de sud-ouest à nord-ouest supérieurs à 30 nœuds. Par ailleurs, la dispersion des sédiments en petite rade est conditionnée au jusan uniquement et pendant une durée dépendant des coefficients de marée.

Coefficients de marée	Rejet
< 35	Non autorisé
35<=50	De PMH à PMH + 5h
50<=95	De PMH à PMH + 6h
>95	De PMH à PMH + 5h

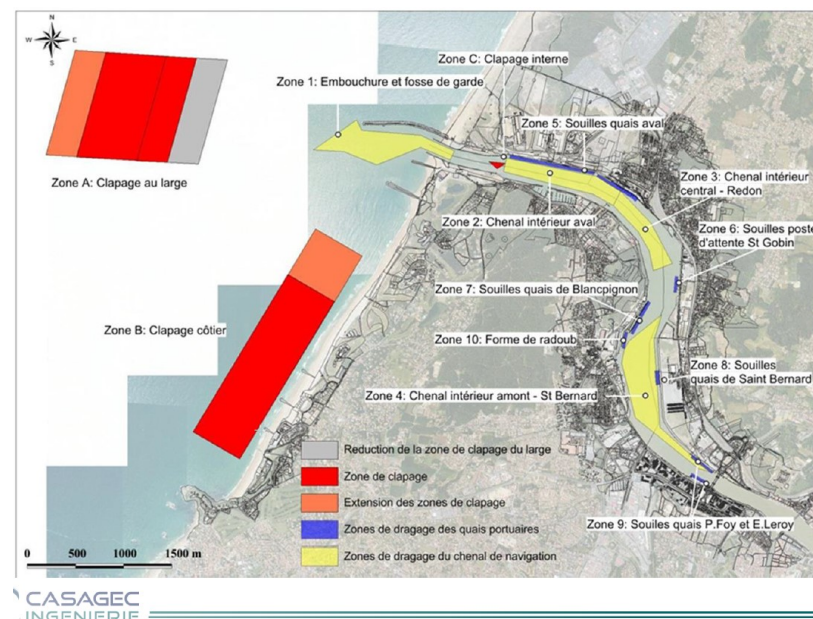
PMH = Horaire de Pleine Mer au Havre

7.2.7.3 Stratégie d'utilisation des sites d'immersion et modes opératoires

Exemple du port de Bayonne

Le port de Bayonne a modifié l'implantation de ses sites et les modalités d'immersion des matériaux de dragage à la lumière des études environnementales menées dans le cadre du renouvellement de l'autorisation de dragage du port. En effet, l'évaluation environnementale a montré que les clapages dans la zone du large caractérisée par des fonds sableux, perturbaient l'équilibre des peuplements benthiques résidents et qu'ils étaient responsables de la formation d'un haut-fond favorisant la concentration de la houle au niveau de la plage la plus proche.

Figure 61 : Modification de la localisation des sites de clapage des sédiments de dragage du port de Bayonne



Le port a aussi modifié sa stratégie d'immersion des sédiments en délimitant des casiers de dépôts favorisant le processus de recolonisation des peuplements benthiques par homogénéisation de la nature des dépôts et alternance des immersions dans les casiers de dépôt. Cette disposition limite également les hauts fonds.

Tableau 30 : Modification des modalités d'immersion des sédiments de dragage du port de Bayonne

	Arrêté 2004 -2014	Nouvel arrêté 2015- 2025
Modes immersion Zone A	-	4 casiers principaux divisés en 4 sous-casiers - Casiers à l'Est : matériaux à dominance sableuses - Casiers à l'Ouest matériaux à dominance vaseuses Clapages alternatifs sur chacun des casiers et sous-casiers
Modes immersion Zone B	En moyenne 234 000 m3 de sable dragué à l'embouchure sur les 5 dernières années	400 000 m3 de sable dragué à l'embouchure dans la limite des besoins pour l'entretien du chenal
Modes immersion Zone C	Courant de jusant établi Déblais constitués de vases de St Bernard uniquement (sable et sable-vasard exclus) Impossibilité de claper à l'extérieur du port (conditions de mer)	Hs > 2,0m Courant de jusant établi Volume max: 50 000 m³/an Calendrier d'utilisation spécifique

7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage

Exemple du port de Rouen⁴³

*Pour remplacer le site d'immersion du Kannik qui a atteint ses limites de capacité, le port de Rouen a choisi le site de Machu (cf. **annexe 3**). Pendant deux ans, il a mené sur ce site des clapages expérimentaux dans le but :*

- *d'évaluer les incidences hydrosédimentaires et biologiques des immersions et leur évolution dans le temps,*
- *de valider le modèle informatique hydrosédimentaire conçu pour étudier le site,*
- *et de mettre au point un mode d'exploitation optimal pour le site, et notamment les pratiques d'immersion les moins pénalisantes pour l'environnement⁴⁴.*

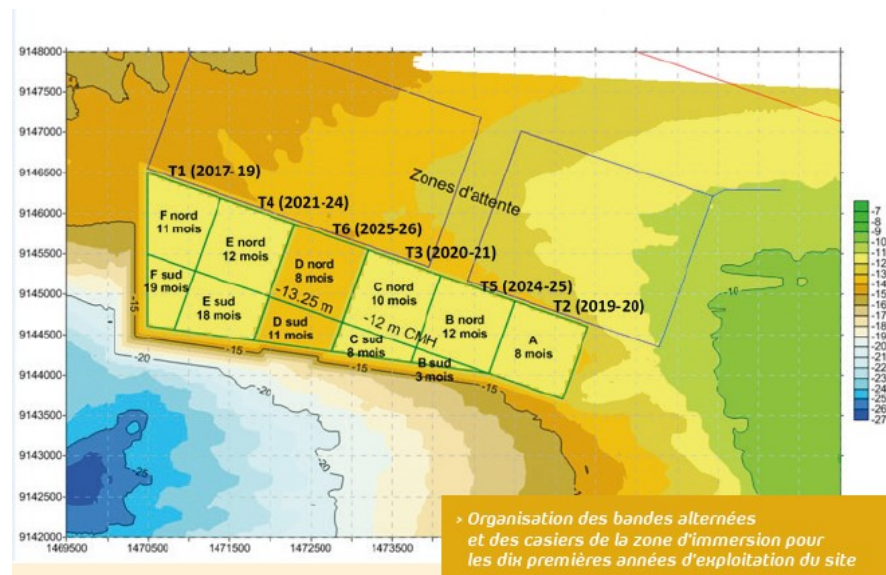
Le plan de clapage de Machu a fait l'objet d'une étude visant à définir le mode opératoire le moins pénalisant pour l'environnement, et notamment pour la faune benthique

Afin de favoriser la recolonisation des fonds, la zone principale d'immersion sera gérée par bandes alternées, elles-mêmes découpées en casiers. Les bandes seront parallèles à l'axe des plus forts courants sur le site (axe Nord-Est / Sud-Ouest). Comme l'indique le schéma de la figure 62, chaque bande recevra des sédiments de dragage jusqu'à ce que le dépôt atteigne la cote - 12 m CMH, correspondant en moyenne à une épaisseur de 5 m de dépôt sur la totalité de sa surface.

⁴³ Port de Rouen – Haropa. Immersion de sédiments de dragage sur le site de Machu en baie de Seine orientale. Plaquette d'information.

⁴⁴ Ce mode d'exploitation a été déterminé à partir des données acquises dans le cadre d'une thèse financée en partie par le Port de Rouen dans le cadre du dispositif CIFRE.

Figure 62 : Site d'immersion de Machu : organisation des bandes alternées et des casiers de la zone d'immersion pour les dix premières années d'exploitation du site



Une fois la hauteur maximale des dépôts atteinte, les clapages cesseront sur la bande en cours d'exploitation et pourront commencer sur une autre bande non adjacente. Le clapage commencera par la bande F puis, dans l'ordre, les bandes A, C, E, B, D, etc. L'ensemble de la surface du site d'immersion sera ainsi couvert progressivement. Le fait de ne jamais exploiter successivement deux bandes contiguës est destiné à favoriser la recolonisation, notamment par les recrutements des organismes benthiques et les migrations de poissons adultes.

7.2.8 Stratégie de contrôle de la turbidité pendant le chantier

7.2.8.1 Quels seuils sont utilisés pour contrôler la turbidité ?

Les activités de dragage ont une incidence potentielle sur la santé des espèces marines sensibles (herbiers marins, coraux, poissons, mollusques...) et sur les phases de vie sensibles (œufs, larves, juvéniles). Le dragage et l'immersion peuvent causer des changements considérables de l'environnement abiotique (perturbation des sédiments, incidences sur la qualité de l'eau, altération du fond marin, changement des propriétés hydrodynamiques et bathymétriques).

La stratégie courante consiste généralement à fixer des **prescriptions pour limiter les effets de la turbidité et une valeur-seuil de turbidité à ne pas dépasser.**

Le tableau 31 examine les seuils fixés par les arrêtés préfectoraux d'autorisation de travaux de quelques opérations récentes de dragage⁴⁵.

⁴⁵ Certains arrêtés, qui ne fournissent pas un seuil, renvoient au document d'incidences sur l'eau ou à l'étude d'impact. Nous n'avons pas examiné ces documents pour savoir s'ils préconisaient un seuil particulier.

Tableau 31 : Valeurs-seuils de la turbidité imposées par les arrêtés préfectoraux d'autorisation de travaux de quelques opérations de dragage

Projet	Volumes à draguer (m ³)	Seuils de turbidité prescrit par l'arrêté
Dragage d'entretien et d'immersion des produits de dragage du port de Boulogne-sur-Mer	530 000 m ³ /an	Pas de seuil
Dragage du port de plaisance du Havre et rejets y afférents en milieu marin / 2014	70 000 m ³	Pas de valeur mais assujettissement des rejets au jusant, à certaines conditions océano-météorologiques et à un volume journalier maximal.
Dragages d'entretien de l'estuaire aval et immersion des sédiments du port de Rouen	50 Mm ³ sur 10 ans avec un maximum annuel de 5,9 Mm ³	Pas de seuil
Amélioration des accès nautiques et extension des terres-pleins du port de Cherbourg / 2013		« Le permissionnaire s'assurera (...) que le taux de MES est inférieur à 100 mg/l au droit des casiers de décantation ».
Dragage du port du Crouesty / 2014	33 290 m ³ dans le chenal et le bassin plus 2 010 m ³ dans la passe d'entrée	« La concentration des MES dans le champ de la drague devra rester en deçà de 300 mg/l ».
Renouvellement de l'autorisation de dragage et d'immersion de Port Joinville sur l'île d'Yeu/ 2015	15 000 m ³ sur 10 ans	Pas de seuil
Port Haliguen / 2015	Bassins : 50 000 m ³ dans Passe d'entrée : 5 000 m ³	Pas de seuil
Dragage d'entretien et clapage en mer d'es matériaux dragués dans l'estuaire de la Loire / 2013	Volumes dragués 8 500 000 m ³ /an Volumes clapés sur le site de la Lambarde 5 500 000 m ³ /an	Pas de seuil
Dragages d'entretien du port d'Arcachon	300 000 m ³ annuels (5 000 à 30 000 m ³ par mois)	Renvoi au document d'incidences sur l'eau pour les spécifications relatives à la turbidité (remplacement du disque Secchi par une sonde turbidimétrique)
Requalification du quai Dezoums dans le port de Port-Vendres / 2017	17 000 m ³	« Il est considéré une valeur-seuil correspondant au dépassement de 50 % de la turbidité « naturelle » mesurée au point témoin. En cas de dépassement, les alertes signifient l'arrêt des opérations génératrices de matières en suspension et la vérification des mesures prises pour en réduire la production ».

Projet	Volumes à draguer (m³)	Seuils de turbidité prescrit par l'arrêté								
Travaux de dragage du quai de l'Esquineau à Salins-de-Giraud (Arles) / 2014	2 000 m³ par an sur 10 ans	Mesure des écarts admissibles entre deux points, l'un à 100 m en amont du Rhône, l'autre à l'aval du chantier (voir tableau ci-dessous) <table><tr><th>Turbidité à l'amont du chantier (en NTU)</th><th>Ecart maximal de turbidité entre l'amont l'aval</th></tr><tr><td>< 15</td><td>10</td></tr><tr><td>Entre 15 et 100</td><td>20</td></tr><tr><td>> 100</td><td>30</td></tr></table>	Turbidité à l'amont du chantier (en NTU)	Ecart maximal de turbidité entre l'amont l'aval	< 15	10	Entre 15 et 100	20	> 100	30
Turbidité à l'amont du chantier (en NTU)	Ecart maximal de turbidité entre l'amont l'aval									
< 15	10									
Entre 15 et 100	20									
> 100	30									
Elargissement de la passe d'entrée nord (bassins Est) du GPM / 2014		« En cas de dépassement supérieur ou égal à 50 % de la valeur de la turbidité de référence, le chantier devra être arrêté ».								
Réfection et confortement des digues du port de plaisance de Cannes (projet d'arrêté)	15 300 m³	« En cas de dépassement de plus de 50 % de la valeur de la turbidité mesurée à l'ouverture du chantier, le chantier est provisoirement arrêté jusqu'au rétablissement des conditions de travail dans le milieu et la police de l'eau avisée sans délai. La détermination de l'origine du phénomène de turbidité doit être recherchée par l'entreprise ou le bénéficiaire de l'autorisation, et doit proposer des solutions de réparation ».								
Travaux de dragage et de réaménagement de Port Canto (Cannes) / 2013		« En cas de dépassements de plus de 50 % de la valeur de la turbidité mesurée à l'ouverture du chantier, le chantier est provisoirement arrêté jusqu'au rétablissement des conditions de travail dans le milieu ».								
Nouvelle Route Littorale (NLR) de la Réunion / 2013	Dragage par drague excavatrice, des souilles pour la digue et les piles du viaduc.	« En cas de dépassement du seuil de 50 mg/l de MES au droit des zones écologiques les plus sensibles de la pointe du Gouffre et du banc des Lataniers, les opérations susceptibles d'émettre des matières en suspension dans le milieu marin seront arrêtées pendant toute la durée nécessaire au rétablissement des niveaux MES acceptables (< 50 mg/l) ».								
Construction d'une route littorale gagnée sur la mer et comprenant 5,4 km de viaduc et 6,7 km de digues	Dragage ponctuel depuis la terre pour certains travaux									
		« Un suivi hebdomadaire des zones profondes sera réalisé lors de la première opération la plus émettrice de matières en suspension (qui sera validée au préalable par le service de l'État en charge de la police de l'eau) pour s'assurer de l'incidence faible à négligeable du projet au-delà de - 20 m. La concentration maximale en matières en suspension apportée par le projet devra être inférieure à 5 mg/l au-delà de 500 m de la cote, c'est-à-dire au-delà de la zone bathymétrique - 20 m ».								

D'une manière générale, et indépendamment des autres prescriptions destinées à réduire la turbidité pendant les dragages et rejets y afférents, les cas examinés montrent que :

- les arrêtés des dragages d'entretien des estuaires (gros volumes annuels) ne fixent pas de valeurs de turbidité. La turbidité naturelle et ses variations annuelles étant naturellement élevées, l'intérêt de respecter une valeur limite n'est pas avéré ;
- les valeurs fixées découlent généralement d'un objectif de protection au regard d'un milieu (habitat ou espèce protégée), ou d'une activité (conchyliculture, aquaculture, baignade).

On constate que les valeurs-seuils fixées peuvent être :

- **une valeur seuil unique** qu'il convient de ne pas dépasser (on/off). Elles sont généralement exprimées en mg/l ; elles précisent quelquefois l'endroit où cette valeur ne doit pas être dépassée (rejet de la drague, rejet des bassins de décantation des sédiments),
- **une valeur-seuil correspondant au dépassement d'un certain pourcentage de la turbidité « naturelle » mesurée sur un point témoin non influencé par les travaux.** Le pourcentage de dépassement est souvent fixé à 1,5 fois la valeur mesurée à la station témoin,
- plus rarement, la **mesure des écarts admissibles entre deux points**, au regard de la variation de la turbidité naturelle.

7.2.8.2 Détermination de seuils en fonction de l'intensité de la turbidité, de la durée et de la fréquence de l'évènement

Le principe d'évitement et de réduction implique que la turbidité résultant des travaux de dragage doit rester dans des gammes comparables aux valeurs environnementales afin de minimiser le stress subi par les communautés biologiques présentes.

Pour ce faire, trois facteurs peuvent être pris en compte :

- **l'intensité de la turbidité,**
- **la durée,**
- **et la fréquence des évènements,**

en considérant que les plus fortes turbidités mesurées dans l'environnement ont très probablement une incidence sur les communautés biologiques (cas d'évènements exceptionnels), mais pour certaines de ces valeurs, la faible durée/fréquence des pics permet, dans la plupart des cas, la résilience de l'écosystème.

*Cette méthode utilisée pour contrôler la turbidité dans le cadre des travaux d'extension du port du Grand Port Maritime de la Guadeloupe est explicitée dans **l'annexe 9**.*

7.2.8.3 Détermination de seuils de tolérance pour des espèces sensibles particulières

Cette méthode consiste à définir les seuils de tolérance, c'est-à-dire les limites inférieure et supérieure considérées comme tolérables par une ou plusieurs espèces sensibles, seuils au-delà desquels, des effets sublétaux ou létaux peuvent se produire.

Les seuils sont définis au regard :

- **d'un critère d'intensité**, à savoir les valeurs moyennes considérées comme représentant les exigences minimales à long terme de l'espèce considéré,
- **d'un critère de durée des conditions défavorables**, les espèces étant en effet capables de tolérer et de survivre pendant de courtes périodes en cas de dépassement de ces seuils, une situation qui se produit naturellement, par exemple suite à une forte tempête ou lors d'une crue d'une rivière côtière.

*Un exemple d'application à trois espèces méditerranéennes sensibles est donné dans **l'annexe 10**.*

7.2.9 Plans de maîtrise de la turbidité d'une opération de dragage

Ce paragraphe fournit les **grandes lignes pour l'élaboration d'un plan de maîtrise de la turbidité (PMT)**.

L'objectif prioritaire d'un PMT est de mettre en place des mesures de suivi, de prévention et de correction afin d'éviter les dommages sur l'environnement naturel et socio-économique pendant la préparation et l'exécution de l'atelier de dragage. On notera que :

- le PMT doit être proportionnel aux enjeux environnementaux et aux caractéristiques des travaux (volumes, niveau de contamination des sédiments, techniques et dragues utilisées) ;
- dans les travaux neufs ou de requalification d'ouvrages maritimes, le dragage n'est qu'une étape préalable à la construction d'ouvrages maritimes (terre-plein, quai, digue, poste de débarquement...),

pouvant eux même être générateurs de turbidité. Dans ce cas, le PMT est global dans ses objectifs de maîtrise de la turbidité en intégrant les prescriptions propres à chaque catégorie de travaux.

7.2.9.1 Définition des mesures préventives

Le PMT présente ces mesures par phase de travaux. Un exemple est donné sur un chantier de dragage comprenant plusieurs ateliers avec des engins différents (Tableau 33) et pendant l'exécution du transport et de l'immersion des sédiments (Tableau 32).

Tableau 32 : Exemple de mesures préventives à inscrire dans le PMT pour l'exécution du transport et de l'immersion des matériaux de dragage

Mesures préventives
Absence de surverse / déverse de la DAM.
Chargement limité afin d'éviter la surverse accidentelle lors du transport
Immersion contrôlée avec libération à - 75 m par le biais de l'élinde de la drague (immersion dans des fonds de 200 m).
Adaptation du planning spatial de l'immersion en fonction des données / prévisions de la marée, des courants et du vent.
Inspection visuelle du transport du matériau dragué afin de vérifier que le puits de la DAM est bien fermé.
Mise en place d'une fiche de contrôle du suivi des travaux d'immersion, transmise de façon quotidienne.
Utilisation d'un système d'enregistrement pour connaître, à intervalle de temps régulier, la position du navire. Chaque position sera enregistrée (DAM en action de dragage, navigation, exécution du rejet). Le même contrôle sera mis en place pour les barges qui vont claper sur les zones d'immersion.

Tableau 33 : Exemple de mesures préventives à inscrire dans le PMT pour le dragage (extraction)

Mesures préventives	Dragage des vases polluées	Dragage des souilles au ponton pelle	Dragage du remblai	Dragage des souilles à la DAM
Modélisation d'impact et comparaison avec des seuils de protection des espèces sensibles	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Dragage mécanique pour la partie la plus contaminée afin d'éviter la liquéfaction de la matière	<input checked="" type="checkbox"/>			
Utilisation d'une benne écologique sur la drague conçue pour un dragage dans un environnement sensible	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Absence de surverse de la DAM afin d'éviter la cause principale de turbidité	<input checked="" type="checkbox"/>			
Absence de surverse du chaland	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Limitation du chargement du chaland afin d'éviter la surverse / déversement accidentel lors du transport	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Positionnement de haute précision	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Inspection visuelle du transport du matériau dragué	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Suivi intensif avec comparaison avec les seuils déclencheurs de réponse en temps réel et système d'alerte automatique en cas de dépassement		<input checked="" type="checkbox"/>		
Dragage mécanique		<input checked="" type="checkbox"/>		
Adaptation du planning spatial du dragage en fonction des données / prévisions de la marée, des courants et du vent		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Chargement limité afin d'éviter la surverse / déverse accidentelle lors du transport	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Installation d'écrans anti-turbidité à la limite des espaces sensibles (herbier de posidonies, tombant coralligène)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Utilisation d'un équipement de dragage régulièrement entretenu de manière à garantir le bon fonctionnement de l'ensemble	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
L'utilisation d'une « benne capotée » et/ou d'un écran anti-turbidité flottant autour du ponton si la modélisation en indique la nécessité			<input checked="" type="checkbox"/>	

7.2.9.2 Ecrans anti turbidité

Le PMT doit préciser :

- le type d'écrans employés, par exemple des écrans sous-marins à poste fixe avant le début des travaux maritimes et des écrans flottants, utilisés de façon ponctuelle et mobile lors de certaines phases de travaux,
- les matériaux employés (géotextiles et/ou PVC),
- le dimensionnement (longueur totale, hauteur, longueur des modules élémentaires),
- les moyens de fixation sur les fonds marins et de flottaison employés,
- la planification de la mise en place des écrans en fonction du calendrier des travaux,
- le plan de contrôle de l'efficacité des écrans (contrôle des déchirures, des flotteurs, du colmatage éventuel (géotextiles)).

Pour plus détails, se reporter au paragraphe 7.2.3. Ecrans anti-turbidité.

7.2.9.3 Surveillance de la turbidité et des paramètres associés

La turbidité peut être surveillée pendant le chantier de dragage avec des moyens gradués choisis en fonction des enjeux environnementaux et de l'acceptabilité des parties prenantes (Tableau 34).

Les moyens de contrôle et de surveillance sont développés dans **l'annexe 11**.

Tableau 34 : Différents types de suivi pour la surveillance de la turbidité et de la sédimentation dans les chantiers de dragage

Type de suivi	Objectifs	Méthodes
Visualisation de la turbidité	Contribuer à l'information des parties prenantes	Caméras, photos, outils dédiés à l'information (website)
Mesure simplifiée de la turbidité	Détecter visuellement les changements de turbidité	Disque de Secchi
Mesure ponctuelle de la turbidité	Mesurer la turbidité sur la hauteur de la colonne d'eau	Prélèvements et analyses d'échantillons. Sondes multiparamètres portatives
Suivi automatisé et continu de la turbidité	Enregistrer en temps réel le niveau de turbidité sur la hauteur d'eau Détecter les dépassements de seuils et lancer les alertes	Dispositif de capteurs accrochés à des bouées et de transmission et retranscription des données par informatique
Visualisation de la sédimentation	Disposer d'un témoin immédiat d'une sédimentation lors d'événements de turbidité	Mise en place de substrats durs artificiels dans une zone sensible
Suivi spécifique à la sédimentation	Quantifier les dépôts de sédiments dans les zones à enjeu	Pièges à sédiments
Surveillance des espèces et écosystèmes	Suivre l'état de santé des espèces et écosystèmes susceptibles d'être impactés	Protocoles spécifiques à chaque espèce



La turbidité résultant des dragages dépend de plusieurs facteurs :

- la technique de dragage elle-même : dragage mécanique ou hydraulique ; transport vertical ou horizontal des sédiments dragués ; modalités d'exécution.
- le potentiel de remise en suspension des sédiments sur les fonds, lié aux conditions océanographiques,
- les conditions océanographiques : profondeur, agitation, courants, stratification haline ou thermique.

Les opérations de dragage entraînent une remise en suspension des MES, se traduisant par une augmentation de la turbidité au voisinage des fonds et dans la colonne d'eau. Cette augmentation - et les effets qui en découlent sur les compartiments physiques et biologiques - sont à relativiser en fonction des valeurs de la turbidité naturelle et de leurs variations saisonnières.

Au regard du contrôle et de la maîtrise de la turbidité, les bonnes pratiques environnementales sont à rechercher dans :

- les techniques de dragage « environnemental » qui ont pour objectif de prélever des sédiments en entraînant la plus faible turbidité possible,
- l'optimisation des paramètres de dragage par l'instrumentation embarquée, avec pour conséquence la réduction des impacts environnementaux (limitation de turbidité, réduction de durée du dragage par augmentation des rendements...),

- les écrans anti-turbidité pour limiter la dispersion des particules remises en suspension, leur utilisation étant limitée par les conditions d'agitation,
- le dragage flexible ou adaptatif, basé sur un modèle prédictif en temps réel calé sur des mesures in situ de la turbidité et des paramètres courantologiques,
- la gestion des matériaux de dragage pour la récupération de terrains sur la mer,
- la gestion des matériaux de dragage utilisés pour la conservation du domaine public maritime naturel,
- la gestion des opérations d'immersion des matériaux de dragage : éloignement de la zone d'immersion des secteurs côtiers sensibles, immersions assujetties à des conditions particulières,
- la stratégie de contrôle de la turbidité pendant le chantier : définition de seuils (fonction de l'intensité de la turbidité, de la durée et de la fréquence de l'évènement ; seuils de tolérance pour des espèces sensibles particulières),
- les plans de maîtrise de la turbidité.

7.3 Biodiversité marine

7.3.1 Mesures pour réduire l'impact sur les habitats et les espèces associées

Ce chapitre présente succinctement les pratiques et méthodes pour sauvegarder certains habitats et espèces, notamment par transplantation dans un site de substitution.

7.3.1.1 Cadre général

Travaux neufs

Les dragages peuvent avoir un impact important sur les habitats et les espèces associées, directement par emprise ou indirectement sous l'effet de la turbidité engendrée pendant les travaux. Les dragages étant une étape préalable aux aménagements portuaires, la mise en place des mesures d'évitement, de réduction et, le cas échéant, de compensation, relèvent du projet global.

Dragages d'entretien

Les habitats sont généralement dégradés par les campagnes successives. Les espèces des peuplements benthiques sont des espèces opportunistes bien adaptées aux conditions d'instabilité et d'envasement des fonds meubles.

Zones d'immersion

La recherche de sites de moindre sensibilité environnementale permet généralement de réduire les impacts des dépôts sur les habitats et les espèces.

7.3.1.2 Herbiers de magniophytes

Les herbiers de magniophytes ⁴⁶ tiennent un rôle fondamental dans les écosystèmes marins :

- en libérant environ 20 litres d'oxygène par jour et par m² d'herbier,
- en produisant et exportant de la biomasse dans les écosystèmes limitrophes et en profondeur,
- en abritant de nombreuses espèces de poissons, céphalopodes, bivalves, gastéropodes, échinodermes, urochordés...,
- en consolidant les fonds côtiers en freinant le transport sédimentaire.

Jusqu'à ce jour, la transplantation d'herbiers de magniophytes a été menée selon trois techniques différentes : la plantation de jeunes plantules obtenues à partir de graines, le bouturage à partir de rhizomes, et le déplacement de mottes entières.

Lorsque des surfaces significatives d'herbier (plusieurs dizaines ou centaines de mètres carrés) sont concernées, seule la technique de transplantation par motte semble adéquate. Les opérations de transplantation de mottes sont assistées par l'utilisation de robots sous-marins, machines ou tous autres outils opérés depuis la surface ou sous l'eau dont l'objectif est d'augmenter le rendement des opérations de transplantation. Les retours d'expériences de telles méthodes sont rares à l'échelle mondiale.

⁴⁶ *Posidonia oceanica* en Méditerranée, *Zostera marina* et *Zostera noltii* dans la Manche et l'Atlantique et dans les lagunes méditerranéennes ; *Syringodium filiforme*, *Halophila baillonis*, *Thalassia testudinum* notamment dans les eaux ultramarines.

Certaines de ces rares expérimentations n'ont d'ailleurs pas fait l'objet de suivis scientifiques, et il n'est donc pas toujours possible de conclure quant à l'efficacité des méthodes employées.

En 2015, Guadeloupe Port Caraïbes a prélevé des herbiers qui devaient être touchés par les travaux d'aménagement de l'extension du Grand Port Maritime de Guadeloupe, pour les transplanter vers les sites de l'îlet Cochon et de l'Anse Vinaigri. Ce chantier sous-marin a mobilisé 25 plongeurs pendant trois mois. La transplantation et l'ensemencement d'herbiers sur une surface de 13 000 m² d'herbier, sont inédits en Guadeloupe car ces deux techniques ont toujours été utilisées séparément et jamais ensemble pour augmenter les chances de réussite.



Très récemment, durant l'été 2017, des mottes de posidonies ont été transplantées dans la réserve du Larvotto à Monaco, préalablement au dragage de la zone d'emprise du futur quartier en mer. Le suivi est en cours.

7.3.1.3 Coraux

La France est le seul pays au monde à posséder des récifs coralliens dans les trois océans de la planète. Les récifs et leurs lagons couvrent 57 557 km², soit en moyenne le double des surfaces des terres émergées qu'ils entourent⁴⁷. Les huit collectivités françaises d'outre-mer abritent ainsi près de 10 % des récifs et 20 % des atolls du monde. Lorsqu'ils sont en bonne santé, les récifs coralliens, les mangroves et les herbiers garantissent aux communautés humaines de nombreux services - tourisme et loisirs marins, approvisionnement en nourriture et opportunités de pêche artisanale, protection du littoral - et contribuent au développement économique local.

Au titre des mesures de réduction, la transplantation consiste à collecter les colonies sur la zone d'emprise du dragage ou des travaux maritimes et de les fixer sur un substrat dur de nature variée (squelettes coralliens, béton) sur un site de transplantation présentant des similitudes physico-chimiques et biologiques similaires au site donneur.

Dans le cadre des travaux d'extension du Grand Port Maritime de Guadeloupe, 4 150 colonies coralliennes situées sur la pente Est de l'îlet Cochon et la Caye Sans Nom ont été réimplantées sur l'îlet du Gosier et la Caye à Dupont. Les zones de prélèvement sont sélectionnées puis balisées au regard de l'intérêt écologique des colonies présentes sur les deux sites donneurs et de façon à favoriser les espèces les plus propices notamment Agaricia, Colpophyllia, Madracis, Diploria, Siderastrea, Meandrina, Porites, Orbicella et Montastrea.

⁴⁷ Andréfouët, S. et al, 2008. Atlas des récifs de France outre-mer, IRD),



Les techniques de prélèvement dépendent de la taille et de la forme des colonies. La majorité des colonies coralliennes présentes sur les deux sites donneurs est encroûtante ou massive et les colonies de tailles supérieures à 20 cm. Pour les grandes colonies, le substrat sur lequel la colonie se développe est prélevé afin de ne pas léser le tissu vivant.

La plus grande opération connue à ce jour de transplantation de coraux et d'organismes associé est celle qui a précédé la construction du terminal de croisière de Falmouth en Jamaïque⁴⁸. Entre août 2009 et avril 2010, 147 947 organismes (8 975 coraux mous, 137 789 coraux durs et 1 183 éponges) ont été collectés et transplantés avec succès sur deux sites receveurs. Quelque 2807 oursins principalement *Diadema* ont été également relocalisés ainsi que des holothuries, mollusques et crustacés divers. Le chantier a mobilisé 93 intervenants.

Le suivi a posteriori a montré que, dix-huit mois plus tard, 86 % de ces colonies sont restées attachées sur leur substrat et seulement 4 % sont mortes. Bien que l'état sanitaire des coraux se soit amélioré six mois après le transfert (2010), les taux de mortalité de la colonie et de

recouvrement par prolifération algale ont ensuite augmenté à chaque échantillonnage. Dix-huit mois après la transplantation, l'état sanitaire était revenu au niveau de 2009, avec des cas de mortalité totale et la recrudescence de maladies. Les auteurs évoquent une corrélation avec l'augmentation de la turbidité due au démarrage des travaux de dragage, mais aussi au régime hydrologique d'un cours d'eau proche se déversant à proximité. Parallèlement, un contrôle indépendant n'a rapporté aucune différence de l'état sanitaire et du recouvrement algal des coraux entre les sites receveurs et un site témoin.

7.3.1.4 Autres invertébrés : l'exemple de la Grande Nacre

En Méditerranée, la sauvegarde par réimplantation d'individus de la Grande Nacre *Pinna nobilis* est devenue assez courante (projets d'extensions portuaires de Port-Leucate et de Port-Vendres ; agrandissement de la passe nord de l'avant-port de Marseille (bassins est) ; réfection et confortement des digues du port de Cannes ; remplacement de la canalisation d'adduction d'eau de mer de l'aquarium du muséum de Monaco,...).

Outre l'importance des suivis sur le long terme, les opérations de transplantations de grandes nacres restent délicates malgré la relative résistance de l'espèce aux opérations de transplantation généralement soulignée par les auteurs. La réussite de l'opération n'est ainsi pas assurée et une mortalité élevée doit toujours être considérée à ce jour. La rapidité de l'ancrage du byssus suite à la transplantation est un facteur clé du succès des opérations. Des conditions hydrodynamiques inadaptées et les risques de prédation constituent les principales causes d'échec des opérations.

⁴⁸ A. Kramer and I. Kenny Coral Relocation: A Mitigation Tool for Dredging and Reclamation Works at the Cruise Ship Terminal in Jamaica. *Terra et Aqua*, Number 128. September 2012.

Figure 63 : Illustration du protocole appliqué lors de l'opération de transplantation de Grandes nacres à Monaco (Photos Créocéan)



7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage

Les retours d'expériences menées en Corse⁴⁹ et à Monaco⁵⁰ montrent des taux de survie relativement satisfaisants (entre 50 et 60 %) grâce à l'amélioration des connaissances sur la biologie et l'écologie de *P. nobilis* depuis les années 1990. Pour autant, que ce soit pour les expérimentations corses menées dans les années 90 ou les récentes expérimentations monégasques, les taux de mortalité observés restent significatifs (respectivement 43 % après 3 mois en Corse et 52 % à Monaco après quatre ans).

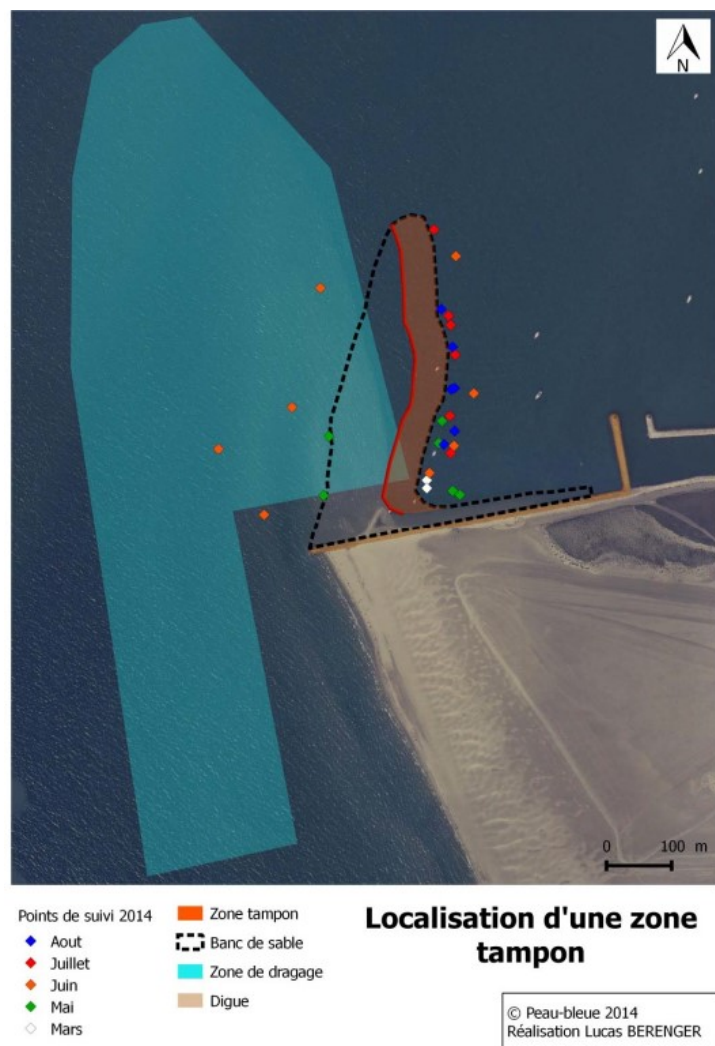
7.3.1.5 Poissons

Le secteur de l'Espiguette, à l'est-du Grau-du-Roi, est une zone d'emprunt de sable destiné à recharger les plages du golfe d'Aigues-Mortes. Une population d'hippocampes à museau court *Hippocampus hippocampus* exceptionnellement dense (plus forte densité connue en France) a été repérée et suivie sur le banc de sable concerné par les emprunts. Cette population est permanente, juvéniles et adultes reproducteurs étant présents sur le même lieu. Une zone tampon a été définie pour réduire l'impact du dragage sur cette population.

⁴⁹ B. de Gaulejac et N. Vicente N., 1990, Ecologie de *Pinna nobilis* (L.) mollusque bivalve sur les côtes de Corse. Essais de transplantation et expériences en milieu contrôlé. Grand Forum de la Malacologie et Symposium international d'écophysiologie des mollusques. Société Française de Malacologie. Ile des Embiez, Haliotis 20, p.83.

⁵⁰ C. Reveret, Vaugelas J., et al., 2015. Transplantation et suivi de grandes nacres préalablement aux travaux de remplacement d'une canalisation d'adduction d'eau de mer à Monaco, Présentation Colloque Sublimo, Driver, 28/04/2015.

Figure 64 : Délimitation d'une zone tampon pour protéger la population locale d'hippocampes



7.3.1.6 Espèces invasives

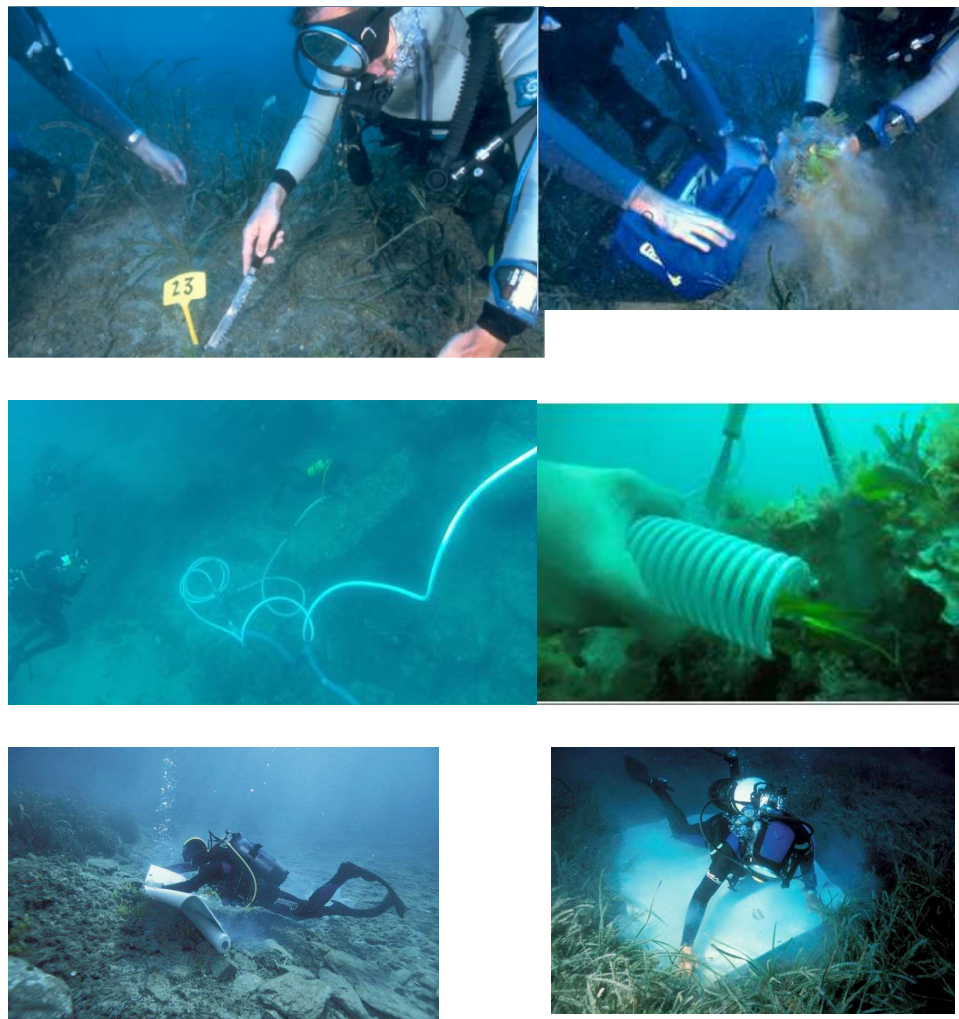
On traitera ici, à titre d'exemple, le cas de *Caulerpa taxifolia*, algue verte pérenne dont la prolifération est à l'origine d'importants déséquilibres au sein des écosystèmes côtiers marins méditerranéens où elle a été accidentellement introduite (compétition interspécifique, baisse de la biodiversité locale, etc.).

L'enjeu est d'éliminer les colonies de *C. taxifolia* avant le début des travaux maritimes, afin d'éviter tout risque de dissémination et de propagation de l'algue dans l'emprise des travaux, mais également au-delà de celle-ci. Si ce cas se présente, des dispositions d'éradication adaptées aux caractéristiques des colonies et des substrats colonisés seront ainsi prises avant le lancement des travaux. Plusieurs méthodes et protocoles d'éradication ont été mis au point :

- élimination physique : découpage et retrait du substrat porteur de l'algue dans le cas de colonies de petites dimensions se développant sur sable, sur matte morte ou dans l'herbier ; aspiration à l'aide de motopompes (air-lift ou water-lift) sur les blocs artificiels, enrochements et fonds rocheux,
- élimination chimique par mise en contact des colonies de *C. taxifolia* avec du cuivre auquel cette algue est particulièrement sensible (recouvrement des colonies par des « couvertures au cuivre »).

Au printemps 2017, les colonies de Caulerpa taxifolia présentes sur une surface de 32 350 m² ont été éradiquées préalablement aux travaux de dragage et de construction du futur quartier gagné sur la mer à Monaco.

Figure 65 : Différentes méthodes d'éradication de *Caulerpa taxifolia* : découpage du substrat porteur et confinement dans un sac étanche (en haut) ; aspiration à l'aide d'un air-lift opéré par des plongeurs (milieu) ; recouvrement par des couvertures au cuivre (en bas)



Photos : Andromède océanologie, Jean-Michel Cottalorda et D.R.

7.3.1.7 Mammifères marins⁵¹

Prévention des risques de collision

Le risque de collision de cétacés par des bateaux est un phénomène largement reconnu (Mayol, 2007 ; Laist *et al.*, 2001) dans les secteurs où la circulation des navires est dense. L'impact peut être d'autant plus important que l'espèce touchée est menacée.

À l'approche de bateaux, la plupart des mammifères marins ont tendance à fuir. Toutefois, le risque de collision avec les navires utilisés pour la phase de construction (hélice, coque) n'est pas à exclure. Ces chocs peuvent causer des blessures, voire le décès des individus. Beaucoup de facteurs entrent en jeu : la vitesse et le type de bateau, le bruit dans l'eau, les conditions climatiques et les caractéristiques de l'animal. Le taux de mortalité augmente sensiblement avec la taille des navires (van Waerebeek et Leaper, 2008). Au même titre que la taille des navires, la littérature pointe la vitesse comme un facteur aggravant des risques de collision. Jensen et Silber (2003) expliquent que même si l'éventail des vitesses recensées lors des collisions est compris entre 2 et 51 nœuds, la moyenne est de 18,1 nœuds et une majorité de navires naviguait à 13-15 nœuds. Pace et Silber (2006) estiment ainsi qu'à 10,5 nœuds, un grand cétacé percuté a 50 % de chance d'être tué ou gravement blessé. Cette valeur passe à 90 % à 17 nœuds.

Dans le cadre des ateliers de dragage,

- les dragues stationnaires sont par définition quasi immobiles, sauf pendant les changements de position et ceci à très faible vitesse,
- les dragues aspiratrices en marche évoluent à très faible vitesse,
- les navires-supports circulent à 3 nœuds au maximum.

⁵¹ Le volet relatif aux incidences du bruit sous-marin sur les mammifères marins est développé à part dans le paragraphe 7.4.

- Les dragues, chalands ou barges transportant les sédiments vers les sites d'immersion ont par contre des vitesses plus élevées (de l'ordre de 10 nœuds).

Dans le cas du projet de dragage du port de Galisbay (Saint-Martin), les cadences prévues sont 10 rotations journalières pour un chaland (39 rotations par jour avec un chaland de 2000 m³). Quatre chalands fonctionnant en simultanément, le rythme des immersions sera donc d'un clapage toutes les 40 minutes en continu (24 h sur 24), hors aléa et durant une période d'environ 9 mois. Or la zone d'immersion est située dans le périmètre du sanctuaire AGOA, aire marine protégée (dix-sept espèces de cétacés présentes de façon avérée dans l'espace marin côtier et cinq autres espèces). La loi pour la reconquête de la biodiversité oblige les navires battant pavillon français et supérieurs à 24 m qui fréquentent régulièrement les eaux du sanctuaire Agoa à être équipés, depuis le 1^{er} juillet 2017, d'un dispositif de partage des positions des cétacés rencontrés.

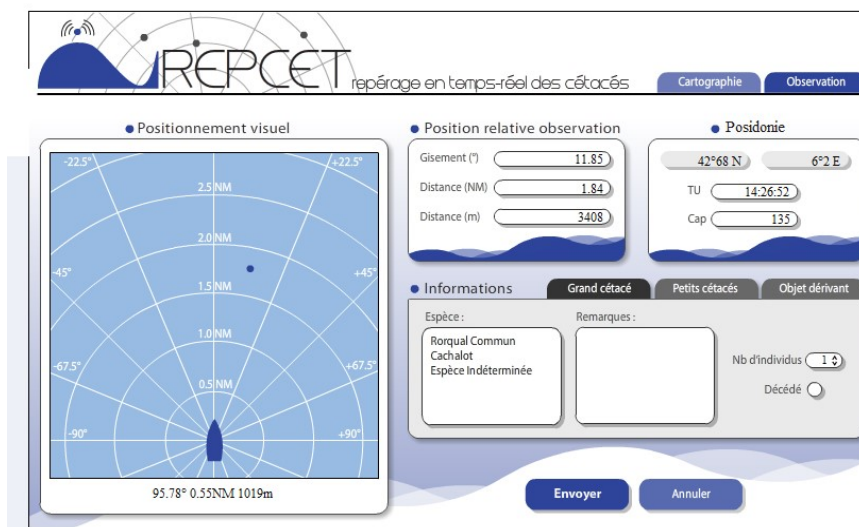
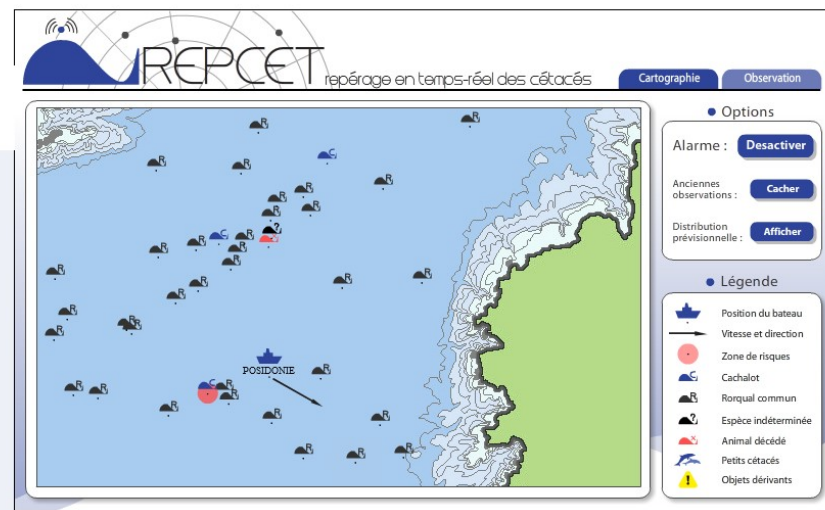
REPCET, système de repérage des cétacés pour éviter les collisions

L'outil REPCET est un système logiciel dédié à la navigation. Il vise prioritairement à limiter les risques de collisions entre les grands cétacés et les grands navires.

Chaque observation de grand cétacé réalisée par le personnel de quart depuis un navire utilisateur de REPCET est transmise en temps quasi-réel par satellite à un serveur situé à terre. Le serveur centralise les données et diffuse des alertes aux navires équipés et susceptibles d'être concernés par un signalement. Les alertes sont alors cartographiées à bord, sur un écran dédié.

La nature collaborative du système repose sur la densité du trafic maritime commercial. D'autres contributeurs volontaires peuvent également participer au dispositif en signalant les cétacés observés, notamment les navires militaires, les scientifiques en mer, les opérateurs de whale-watching ou encore la grande plaisance.

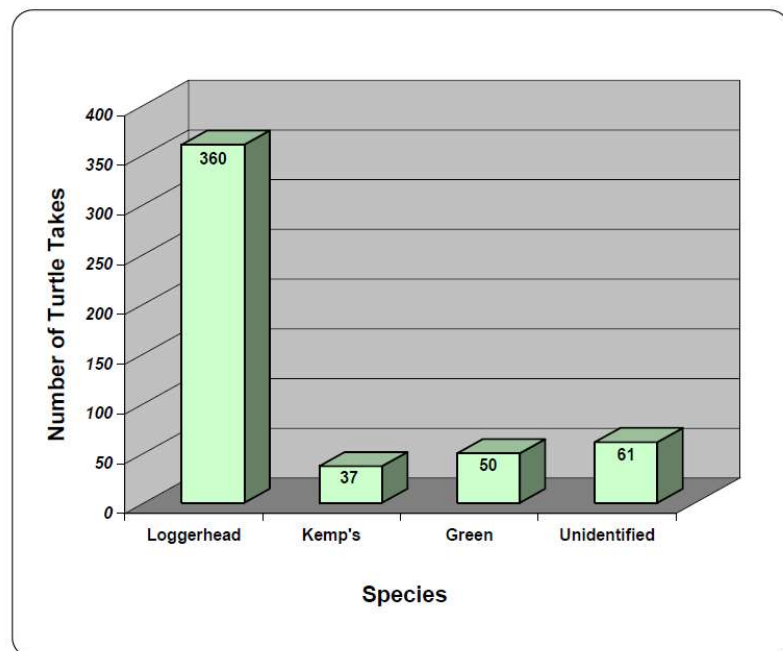
7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage



7.3.1.8 Tortues marines

Cet exemple est certes spécifique aux dragages effectués dans la région sud-ouest des Etats Unis⁵², mais cet enjeu est aussi avéré dans les régions ultramarines (Antilles françaises, Réunion, Nouvelle-Calédonie, Mayotte) en fonction du projet et des caractéristiques de la zone concernée.

Figure 66 : Prises accidentelles de tortues dans les opérations de dragage



⁵² Dickerson D., Wolters M., Theriot C. and C. Slay. Dredging impacts on sea turtles in the southeastern USA: A historical review of protection. U.S. Army Corps of Engineers, Engineering Research and Development Center.

Le long des côtes du Sud-Est des Etats Unis, quelque 508 prises accidentelles de tortues marines ont été relevées entre 1980 et 2003 impliquant des dragues hydrauliques opérant sur 38 chantiers de dragage. Ces prises ont concerné 360 tortues caouanne (*Caretta caretta*), 50 tortues vertes (*Chelonia mydas*), 37 tortues de Kemp (*Lepidochelys kempii*) et 61 espèces non identifiées.

Les auteurs considèrent que ces comptages sont sous-estimés du fait de la difficulté d'observations des prises accidentelles à bord des dragues et de la configuration technique des dragues qui diffèrent d'un engin à l'autre.

Un programme de recherche de l'USACE (Sea Turtle Research Program) a été mis en place dès 1991 pour diminuer les prises accessoires. Il porte sur un volet biologique (données sur l'abondance relative des différentes espèces de tortues, comportement des tortues) et un volet d'ingénierie (détection acoustique, effarouchement acoustique, adaptation et opération des dragues).

Les méthodes expérimentées et employées pour réduire l'impact sur les tortues marines sont les suivantes :

- **Détermination préalable de l'abondance relative des tortues** : les méthodes hydroacoustiques ont montré leurs limites, des échantillonnages préalables sont également réalisés par chalutage mais la méthode reste coûteuse.
- **Fenêtres environnementales** : les observations montrent qu'en dessous de 16 °C, l'abondance des tortues chute significativement et qu'en deçà de 12 °C, les tortues sont absentes. Les dragages sont donc préférentiellement réalisés entre le 1^{er} décembre et le 31 mars.
- **Choix de l'engin de dragage** : il est établi que les dragues hydrauliques avec élinde sont les engins les plus dangereux pour les tortues contrairement aux dragues à benne et aux dragues à désagrégateur. Cela a conduit les autorités à interdire les dragues

hydrauliques dans certains secteurs, sous réserve de faisabilité technique et sauf en cas de dragages d'urgence, mais au détriment des coûts opératoires.

- **Amélioration technique des dragues** : la première adaptation a été de fermer l'angle entre la bouche d'aspiration et l'axe de l'élinde de manière à ce que la bouche travaille bien à plat sur le sédiment. Sur le site de Canaveral Harbor, cette seule adaptation a permis de passer de 71 à 6 prises accidentelles seulement (Figure 67).

Par contre, la réduction de la taille de la bouche d'aspiration à 300 mm n'a pas apporté d'amélioration, néanmoins les prises d'aspiration accessoires ont été grillagées par précaution.

La seconde amélioration a consisté à équiper les têtes d'aspiration de déflecteurs. Plusieurs types ont été expérimentés et testés. Les déflecteurs fixes en forme de « V » ont montré leur efficacité en réduisant drastiquement les prises sous condition que la tête d'aspiration reste en permanence en contact avec les sédiments. Dans le cas contraire, l'effet peut être inverse !

- **Capture de sauvegarde des tortues** : des captures préventives ont été expérimentées sur le site Canaveral Harbor aboutissant à la capture de 1 250 individus en 4 mois et relâchés à 5 milles du site de dragage. Ces pêches ont été abandonnées en raison de leur coût excessif (300 000 \$ pour une seule opération !) et de leur inefficacité.
- **Effarouchement** : Tous les dispositifs testés -canon à air, rideaux à bulles, répulsifs acoustiques, chaînes gratteuses- ont été jugés difficiles à mettre en œuvre et finalement inefficaces.

La corrélation entre l'évaluation des prises annuelles et le nombre de projets de dragage suivis, montre une notable diminution des prises depuis que les différentes mesures de réduction prises par les autorités sont opérationnelles.

Figure 67 : Evolution des prises de tortues dans les dragues avant et après l'équipement des élinde avec des déflecteurs (flèche jaune)

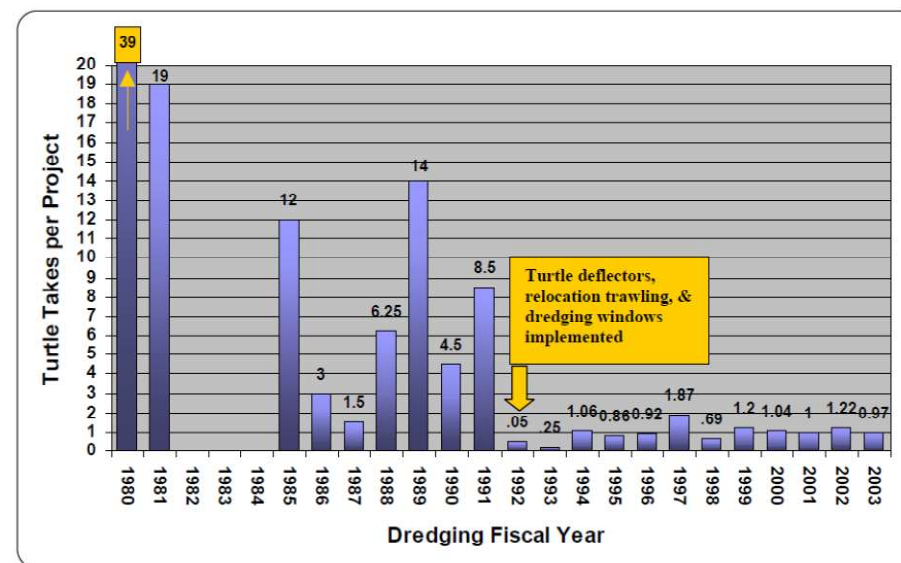


Fig. 6. Catch per unit effort (CPUE) for sea turtle takes per dredging projects with sea turtle monitoring

7.3.1.9 Oiseaux marins

Les travaux engagés peuvent amener au dérangement de certaines espèces par le bruit ou par la présence d'engins. Ceci peut entraîner une fuite ou un évitement de la zone de travaux dans la mesure où les bruits générés sont supérieurs au bruit ambiant naturel (Cook et Burton, 2010). Si cette dernière se situe à proximité d'une zone de rassemblement de colonies, de repos, d'alimentation ou de reproduction d'une espèce, l'impact peut alors s'avérer plus important.

- *A titre d'exemple, les dix années de suivi menées par le trust britannique pour l'ornithologie dans le cadre de l'évaluation de l'impact des opérations de dragages sur les populations d'oiseaux dans la baie de Cardiff (Estuaire de Severn, Royaume-Uni) n'ont mis en évidence que des effets à court terme (Morrison et al., 2012).*
- *Au titre de mesures pour limiter le dérangement des oiseaux, l'USACE propose de respecter des zones tampons minimales, selon les espèces concernées, leurs cycles de reproduction et leurs activités saisonnières.⁵³*
- *Concernant les impacts des immersions, le suivi de l'avifaune conduit sur le site d'immersion de la Lambarde au large de l'estuaire de la Loire montre que le clapage des sédiments ne modifie pas la distribution et la fréquentation du cortège classique d'oiseaux de mer, dont certains d'intérêt européen, dans cette partie du Golfe de Gascogne.*

⁵³ Valente, J. V., and R. A. Fischer. 2011. Reducing human disturbance to waterbird communities. DOER Technical Notes Collection. ERDC TN DOER-E29. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center.

7.3.2 Fenêtres environnementales

Les opérations de dragage peuvent être, à des degrés divers, limitées ou non autorisées pendant certaines périodes où les incidences sur les espèces, les habitats naturels et les activités socio-économiques (pêche, baignade, loisirs nautiques) sont minimales, voire non significatives⁵⁴. Ces périodes sont appelées « **fenêtres environnementales** »⁵⁵.

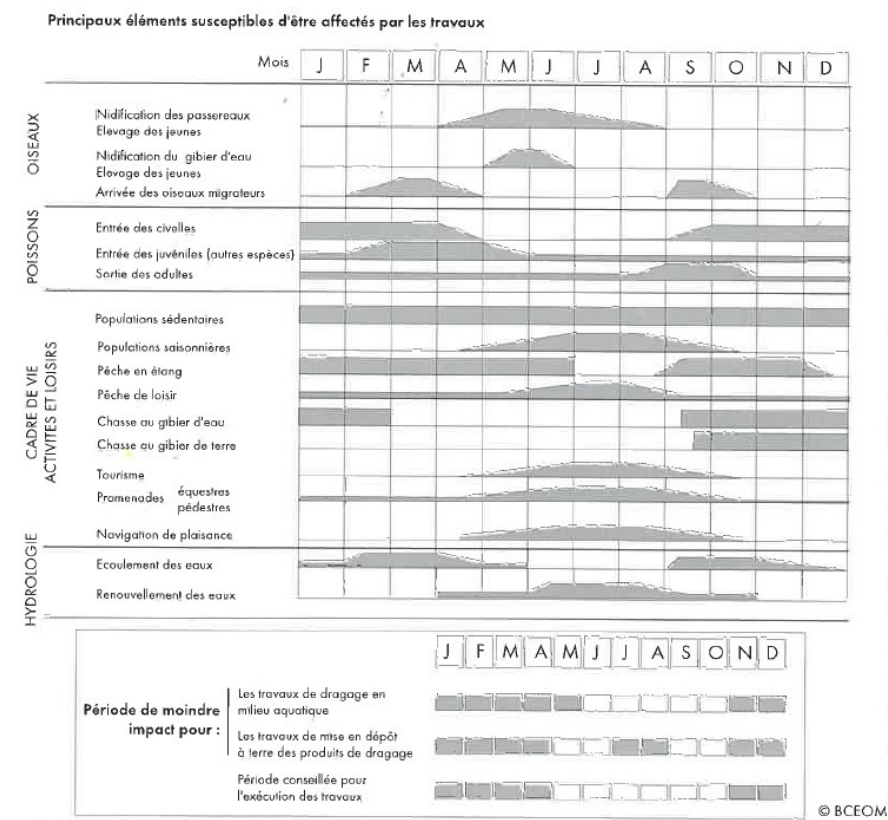
Les dragages peuvent être soumis à des restrictions pour respecter des fenêtres environnementales justifiées pour des raisons très variées, qui peuvent être :

- les effets de la turbidité sur le recrutement d'espèces de poissons et de mollusques,
- le dérangement de poissons migrateurs.
- l'entraînement de larves ou de juvéniles de poissons dans les systèmes des dragues hydrauliques,
- le dérangement de la nidification et la destruction des habitats de certaines espèces d'oiseaux.

⁵⁴ Seules sont décrites ici les fenêtres environnementales relatives à la biodiversité.

⁵⁵ Hales L., 2000. Scientific foundation for determining environmental windows. *Dredging Research, information from US Army Engineer Research and Development center.*

Figure 68 : Calendrier d'établissement de fenêtres environnementales s'appliquant à une opération de dragage en milieu lagunaire



7.3.2.1 Exemples

- Le site d'immersion des matériaux de dragage du port de Rouen (Zone Intermédiaire) est interdit depuis 2005, du 1^{er} mai au 30 septembre inclus, afin d'éviter d'impacter la pêche à la crevette grise. La limitation de l'immersion sur la zone intermédiaire est possible du fait que le GPMR dispose d'un site principal d'immersion permettant de gérer, durant cette période, les sédiments dragués en continu dans l'estuaire aval où les processus sédimentaires sont importants.
- Le Plan de gestion des dragages du Grand Port Maritime de Bordeaux prévoit l'arrêt des dragages du 15 mai au 15 juillet dans le secteur de Saintonge à forts enjeux biologiques : couloir de migration de l'esturgeon, lieu de reproduction du maigre de mai à juillet (le banc des Marguerites situé entre Meschers et Mortagne-sur-Gironde est la seule zone de reproduction connue du maigre dans le golfe de Gascogne).
- La rade de Brest est concernée par des efflorescences du plancton *Alexandrium minutum* qui est une micro-algue potentiellement dangereuse pour la santé humaine puisqu'elle produit des toxines paralysantes. Ces efflorescences conduisent à la fermeture temporaire des entreprises conchylicoles. Les analyses génétiques menées dans les sédiments ont montré la présence d'ADN d'*Alexandrium* sp. dans toutes les stations inventoriées. Afin de contrer le risque de réactivation des kystes d'*Alexandrium* contenus dans les sédiments, les dragages du port de Brest sont interrompus entre mai et octobre.

- *Aux Etats-Unis, 80 % des opérations de dragage entreprises au niveau fédéral sous maîtrise d'ouvrage de l'USACE⁵⁶ sont assujetties à des fenêtres environnementales. Dans l'ordre d'importance, les raisons qui ont motivé l'USACE à appliquer des fenêtres environnementales sont d'éviter la détérioration physique des habitats, la turbidité et la sédimentation, la collision physique ou l'entraînement hydraulique, de prévenir les obstacles à la navigation, de maintenir la qualité de l'eau et de permettre l'exercice des activités de loisirs. Ce cas est développé dans **l'annexe 12**.*

7.3.2.2 Opérationnalité

La majorité des fenêtres environnementales se situe généralement entre le printemps et l'été (avril à octobre), impliquant que les opérations de dragages soient plutôt entreprises pendant l'automne et l'hiver. Restreindre la période de dragage à la saison hivernale où l'activité biologique est considérée comme moins sensible, entraîne des risques pour l'exécution du chantier : aléas météorologiques plus forts en hiver et donc probabilité plus forte d'un *stand-by* de la drague, conditions de travail et de sécurité plus difficiles pour les marins armant la drague, dépassement de délai. L'application de fenêtres environnementales contraint donc le planning de réalisation des travaux et a une répercussion financière sur le budget de l'opération (*voir l'exemple de l'annexe 12*).

Ces périodes sont relativement faciles à respecter dans le cas de dragages liés à des travaux neufs. Dans le cas des travaux de dragage d'entretien, la pratique des fenêtres environnementales est plus délicate. En effet, les estuaires sont soumis à de forts et permanents processus sédimentaires qui nécessitent d'entretenir régulièrement les chenaux de navigation par des dragages en continu afin de maintenir la sécurité des navires.

⁵⁶ US Army Corps of Engineers



Les opérations de dragage peuvent avoir un impact important sur les habitats et les espèces associées, directement par emprise ou indirectement sous l'effet de la turbidité engendrée pendant les travaux.

Lorsque les dragages sont une étape préalable à des aménagements portuaires, la mise en place des mesures d'évitement, de réduction et, le cas échéant, de compensation, relèvent du projet global.

- **Herbiers de magniophytes** : la transplantation peut être menée selon trois techniques différentes : la plantation de jeunes plantules obtenues à partir de graines, le bouturage à partir de rhizomes, et le déplacement de mottes entières. Lorsque des surfaces significatives d'herbier (plusieurs dizaines ou centaines de mètres carrés) sont concernées, seule la technique de transplantation par motte semble adéquate. Les retours d'expériences avec des résultats significatifs sont rares à l'échelle mondiale.
- **Coraux** : la transplantation consiste à collecter les colonies sur la zone d'emprise du dragage ou des travaux maritimes et de les fixer sur un substrat dur de nature variée (squelettes coralliens, béton) sur un site de transplantation présentant des similitudes physico-chimiques et biologiques similaires au site donneur.

- **Grande Nacre *Pinna nobilis*** : en Méditerranée, la sauvegarde de cette espèce par réimplantation d'individus est devenue assez courante, bien que les taux de mortalité soient assez élevés.
- **Espèces invasives**, comme l'algue verte *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée : l'enjeu est d'éliminer les colonies avant le début des travaux maritimes, afin d'éviter tout risque de dissémination et de propagation de l'algue dans l'emprise des travaux, mais également au-delà de celle-ci.
- **Mammifères marins** : l'enjeu est la prévention des risques de collision avec les dragues, barges, chalands et navires de services associés.
- **Tortues marines** : l'enjeu est avéré dans les régions ultramarines (Antilles françaises, Réunion, Nouvelle-Calédonie, Mayotte) en fonction du projet et des caractéristiques de la zone concernée. Les mesures d'atténuation concernent le choix d'une période de dragage n'interférant pas avec le cycle de vie, le choix de l'engin de dragage, la capture de sauvegarde des tortues ou encore l'effarouchement.

Les opérations de dragage peuvent être, à des degrés divers, limitées ou non autorisées pendant certaines périodes lorsque les incidences sur les espèces, les habitats naturels et les activités socio-économiques (pêche, baignade, loisirs nautiques) sont évaluées minimales, voire non significatives. Ces périodes sont appelées « fenêtres environnementales ». Leur application en routine doit tenir compte d'un équilibre entre la protection du milieu, le surcoût et l'opérationnalité du dragage.

7.4 Bruit sous-marin

Le bon état écologique établit l'état des eaux marines qui doit être atteint ou maintenu conformément à l'article L. 219-9 du code de l'environnement. Le descripteur 11 du bon état écologique concerne « *l'introduction d'énergie, y compris de sources sonores sous-marines, [qui doit s'effectuer] à des niveaux qui ne nuisent pas au milieu marin* » (cf. arrêté du 17 décembre 2012 relatif à la définition du bon état écologique des eaux marines).

→ Les paragraphes 7.4.1 à 7.4.3. font l'objet d'un développement dans [l'annexe 13](#).

7.4.1 Rappels acoustiques et impacts de la pollution sonore sur les mammifères marins

7.4.2 Sources de bruit émis par les opérations de dragage

7.4.3 Impacts des bruits de dragage sur les mammifères marins

Une étude récente et très complète⁵⁷ établit un bilan des impacts du bruit provoqué par les dragages sur les mammifères marins. Les auteurs concluent qu'il est difficile d'évaluer avec précision l'impact des bruits sous-marins provoqués par l'activité de dragage sur les mammifères

⁵⁷ Todd, V. L. G., Todd, I. B., Gardiner, J. C., Morrin, E. C. N., MacPherson, N. A., Di Marzio, N. A., and Thomsen, F. A review of impacts of marine dredging activities on marine mammals. ICES Journal of Marine Science Advance Access, November 4, 2014.

marins, étant donné les effets propres aux autres activités industrielles qui se produisent concomitamment.

Ils estiment que la plupart des effets à court ou de moyen terme entraînent des réactions de comportement et le masquage des fréquences basses chez les baleines et les phoques. La perte d'audition temporaire est possible si les animaux évoluent à proximité des engins de dragage pendant une période prolongée, mais les blessures auditives sont improbables.

7.4.4 Bonnes pratiques environnementales pour éviter ou réduire l'impact du bruit des dragages sur les mammifères marins

7.4.4.1 Prévisions d'impact

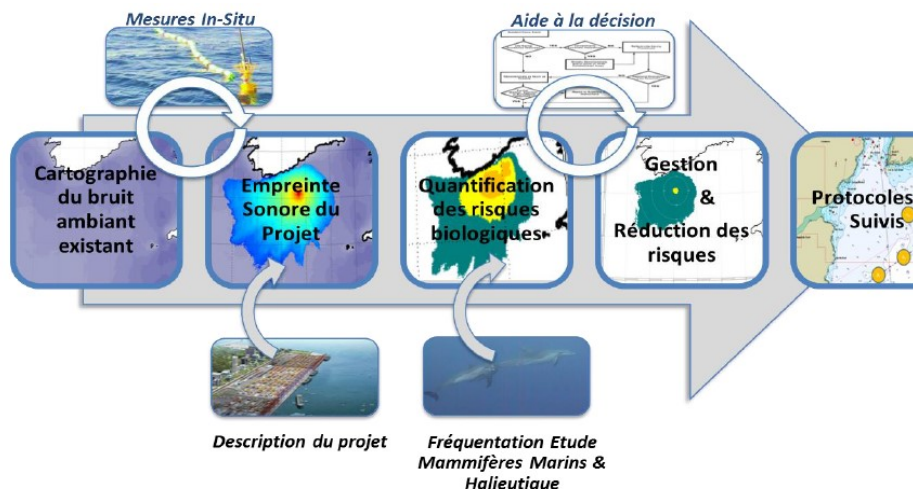
Lorsque l'enjeu est fort au regard de l'impact potentiel sur les mammifères marins, une étude spécifique pourra être menée dans le cadre de la conception du projet.

A partir du recueil des données initiales relatives au site du projet (caractéristiques biologiques, activités maritimes) et aux activités du projet de dragage, une cartographie statistique de l'état sonore initial et les émergences sonores relatives aux différentes phases du projet sont établies. Elles permettent d'en déduire les niveaux de risque biologique pour chaque espèce de mammifères marins potentiellement présente dans la zone (voir, à titre d'exemples, le tableau 35 et les figures 70 et 71).

Des mesures océano-acoustiques et une campagne d'observation visuelle des mammifères marins permettent de fournir une caractérisation reposant sur une vérité terrain et de fournir une analyse éclairée des risques environnementaux relatifs aux espèces protégées.

La Figure 69 décrit la méthodologie de réalisation de l'étude d'incidence acoustique sous-marine conforme aux recommandations de (Boyd, 2008).

Figure 69 : Méthodologie d'évaluation des impacts acoustiques et de définition d'une stratégie de gestion et de réduction adaptée. Les mesures in-situ permettent de calibrer les champs sonores (source : Quiet Oceans)



7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage

Figure 70 : Exemple de cartographie des risques liés à une activité de dragage par une drague aspiratrice en marche. Source : Ecocean Institut et Quiet-Oceans

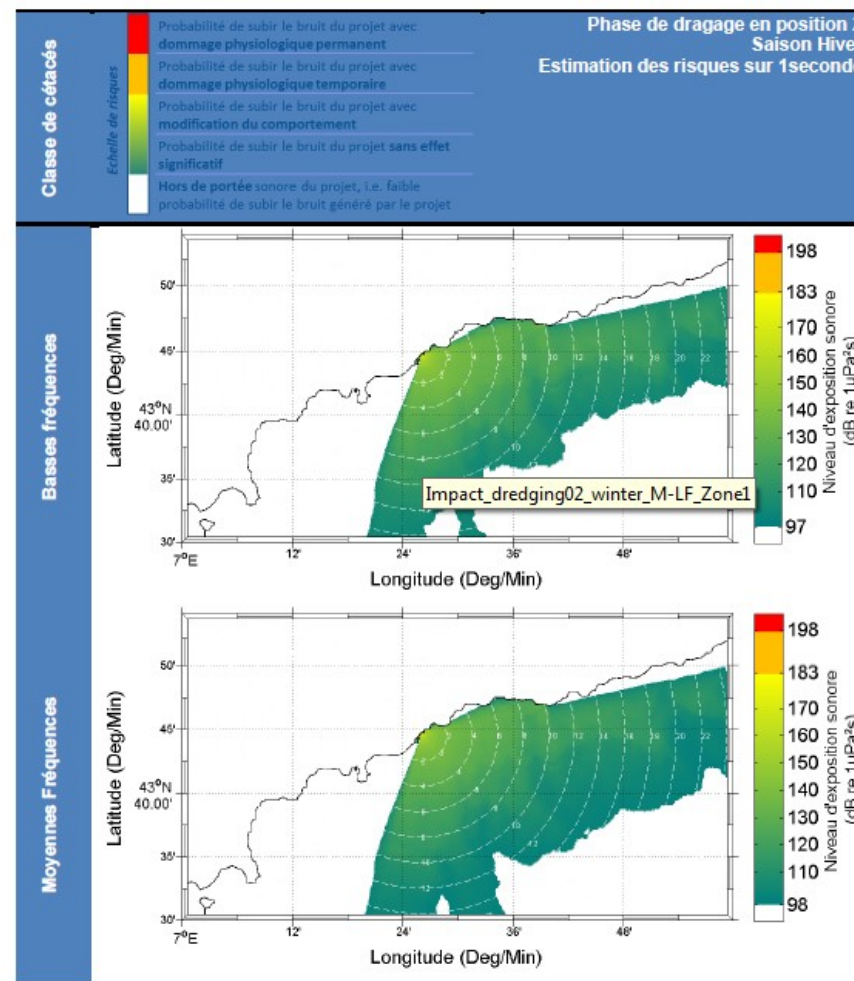
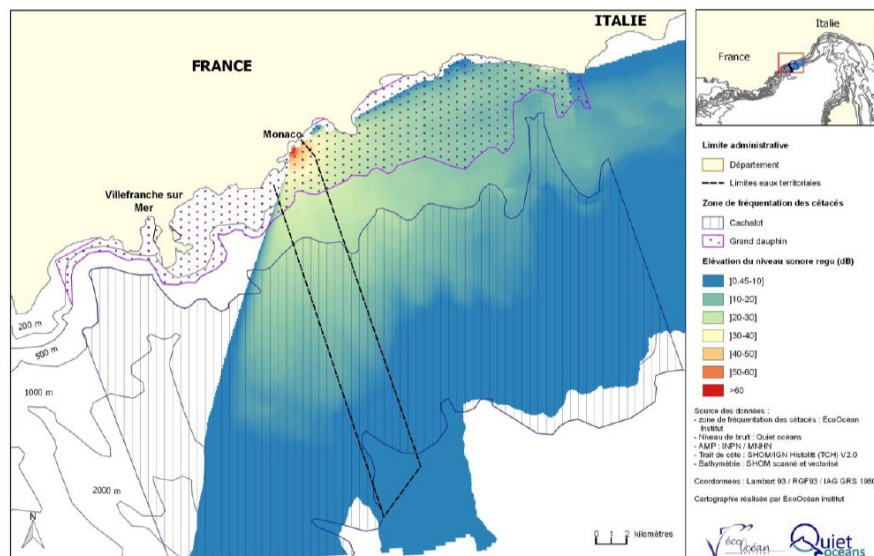


Tableau 35 : Appréciation des risques d'impacts liés aux bruits et aux vibrations d'un chantier de dragage sur les mammifères marins (source Impact Mer)
Les activités de dragage sont indiquées en gris dans la colonne de gauche. Le chantier comprend d'autres travaux (battage de pieux notamment).

Dimensionnement des risques du projet (avant mesures)	Espèces à enjeu fort			Espèce à enjeu modéré	Espèce à enjeu très modéré à faible				
PHASE 1 et 2 : IMPACTS DIRECTS ET INDIRECTS DUS AUX BRUITS ET VIBRATIONS / TEMPORAIRES (sauf autre trafic)									
Activités/ Impacts évalués	Baleine à bosse	Grand dauphin	Cachalot	Dauphin tacheté de l'Atlantique	Dauphin à long bec	Dauphin tacheté pantropical	Orque	Globicéphale tropical	Cachalot pygmée & <i>Kogia spp.</i>
<i>Dragage DSD, DAM, BACKOE</i>	élevé jusqu'à 25 m		modéré jusqu'à 25 m		Faible				modéré jusqu'à 25 m
<i>Clapage DAM</i>	élevé jusqu'à 25 m			modéré jusqu'à 25 m	Faible				modéré jusqu'à 25 m
<i>Navigation DAM et Chaland</i>	élevé jusqu'à 15 m			modéré jusqu'à 15 m	Faible				modéré jusqu'à 15m
<i>Autre trafic</i>	élevé jusqu'à 31 m			modéré jusqu'à 31m	Faible				modéré jusqu'à 31 m
<i>Battage de pieu</i>	élevé jusqu'à 2000 m			Faible					élevé jusqu'à 2 000 m
<i>Vibrofonçage (incluant vibrations)</i>	élevé jusqu'à 100 m			Faible					élevé jusqu'à 100 m

Figure 71 : Exemple des effets acoustiques potentiels d'un dragage sur les zones fréquentées par le Grand dauphin et le cachalot, moyennes fréquences. Source : Ecocean Institut et Quiet-Oceans



7.4.4.2 Fenêtres environnementales

Dans le projet de dragage du chenal du port de Galisbay (Saint-Martin)⁵⁸, il est préconisé d'éviter, dans la mesure du possible, les travaux de dragage de février à mi-mai correspondant à la période de reproduction des baleines à bosse et centrer ces travaux sur les 4 mois de l'année où les grands dauphins n'ont pas été observés (Tableau 36).

⁵⁸ Établissement portuaire de Saint-Martin port de commerce de Galisbay. Dragage d'un chenal d'accès et construction d'un terre-plein – Etude d'impact. Mai 2017. Egis / Impact Mer.-

La discontinuité des périodes possibles, ainsi que le statut probable du grand dauphin, conforte la mise en place d'une mesure de suivi par l'élaboration d'un plan de surveillance adapté au projet.

Tableau 36 : Calendrier de présence des espèces de mammifères marins à Galisbay à Saint-Martin (source : Impact mer)

Présence des espèces à enjeu forts	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc
Baleine à bosse												
Grands dauphins												

Légende : les périodes les plus foncées indiquent un pic de présence. Celles plus claires, une présence notée mais éparse pour la baleine à bosse. Le grand dauphin est observé régulièrement, sans pic de présence apparent.

Il est préconisé d'éviter les activités de nuit car la détection de nuit des cétacés reste complexe pour les observateurs embarqués. Cela implique que détecter les cétacés de nuit fait appel à l'usage de technologies de détection nocturnes, restant actuellement très complexes et surtout très onéreuses.

7.4.4.3 Choix des techniques et des engins

Pour les phases de dragage et de clapage et, d'une manière générale pour l'ensemble des engins qui seront utilisés, il faudra s'assurer des seuils sonores à la source ainsi que de leur gamme fréquentielle. Dans ce cadre, chacune des techniques utilisées devront être décrites acoustiquement (fréquences, puissance sonore, nombre d'impulsions ou de vibrations répétitives).

Reprenant l'exemple de Galisbay, le tableau 37 donne les puissances sonores maximales pour le projet en fonction des espèces de mammifères concernées. Par mesure de précaution les valeurs conservatives indiquées dans le plan de gestion d'Agoa sont utilisées pour toutes les espèces, soit des émissions sonores inférieures à 180 dB re 1 μ Pa SPL pour les risques critiques et 160 dB re 1 μ Pa SPL pour les risques de perturbation.

Tableau 37 : Seuils critiques physiologiques des émissions des engins retenus pour le dragage de Galisbay

Espèce	Seuils critiques physiologiques des émissions	Seuil de sensibilité
Baleine à bosse et autres espèces à audition de moyenne fréquence	230 dB re 1 μ Pa SPL	215 dB re 1 μ Pa ² (SEL)
Espèces de hautes fréquences (<i>Kogia</i> sp)	201dB re 1 μ Pa SPL	180 dB re 1 μ Pa ² (SEL)

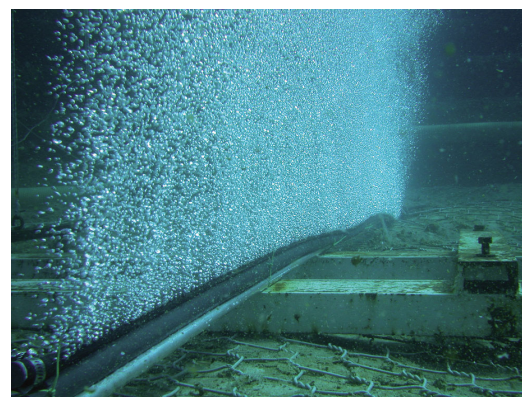
7.4.4.4 Réduction des impacts sonores à la source

Une mesure de réduction de la pollution sonore peut consister à isoler le chantier de dragage par un **rideau de bulles**. Le principe est celui décrit au paragraphe 7.3.4.2 pour créer un écran devant la zone que l'on veut protéger d'un panache turbide. Leur conception comme leur usage restent encore empiriques et leur efficacité sur l'atténuation des ondes de choc sous l'eau a encore besoin d'être optimisée. Des recherches sont en cours dans ce domaine.⁵⁹ Les rideaux de bulles utilisent l'air pour réduire les

⁵⁹ Le projet RESIBAD (REduction du Souffle en Immersion par Barrière Diphasique) a pour objectif de développer une expertise et des outils opérationnels de validation des rideaux de

sons sous-marins. Dans l'eau, les bulles d'air étouffent la transmission de bruit (Grandjean et *al.*, 2010, 2011) et agissent sur le spectre des sons en fonction de leur taille, comme illustré sur la figure (Nehls et *al.*, 2007). Cette technique permet une réduction sonore démontrée de 3 à 30 dB pour certaines fréquences. Les valeurs d'atténuation mesurées pendant des travaux maritimes font état de fourchettes comprises entre 12 et 16 dBA pour le battage de pieux d'éoliennes offshore et de 17 dBA dans le cas d'un tir de mines (pas de référence connue pour des opérations de dragage).

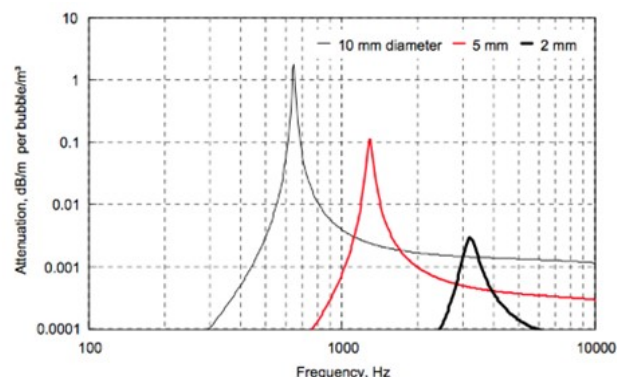
Figure 72 : Rideaux de bulles pour atténuer le bruit sous-marin



Ci-contre : un rideau de bulles d'air produites par un "tuyau à bulles" immergé dans un périmètre maritime à protéger, permet de réduire la propagation des ondes, y compris sonores (© DGA Techniques Navales. Ph. Boyce)

Ci-dessous : les bulles agissent sur le spectre des sons en fonction de leur taille de manière différente. (Nehls et *al.*, 2007).

bulles et autres dispositifs de réduction du bruit sous-marin généré par les explosions et travaux maritimes.



7.4.4.5 Protocole et programme de surveillance des espèces à risques élevés à modérés

Différentes mesures peuvent être opérées durant les travaux de dragage pour d'une part, effectuer le suivi/surveillance des espèces et d'autre part, contrôler/surveiller les risques liés aux engins.

Délimitation des zones à surveiller

Le plan de surveillance doit considérer les procédures d'arrêt ou suspension des travaux de dragage / clapage, en présence des cétacés, ainsi que les préconisations d'évitement en navigation (principalement en zones d'exclusions). Il doit notamment délimiter des distances conservatrices du **périmètre d'exclusion (zone de danger)** et du **périmètre de vigilance (zone de vigilance)**.

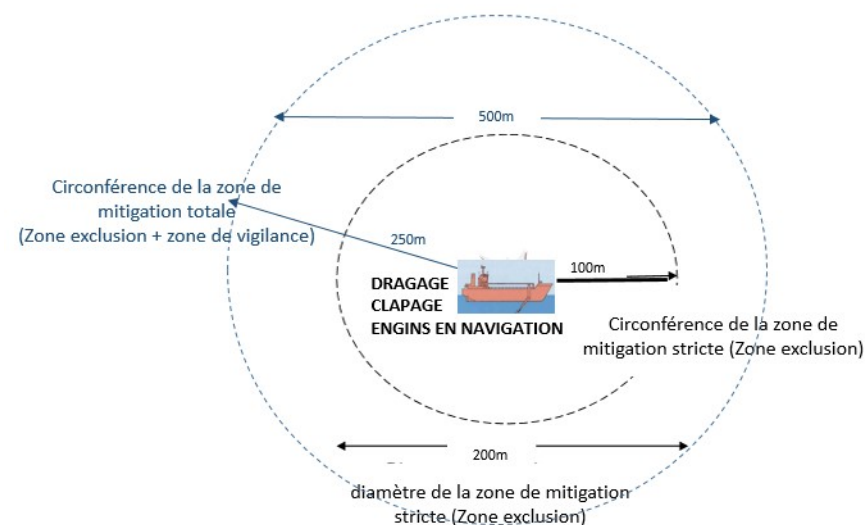
La zone de danger correspond à la zone dans laquelle toute espèce évoluant à l'intérieur de ce périmètre, pourrait être potentiellement impactée selon le niveau d'effets considérés (ici sonores) et sans réduction à la source. Cette zone doit être fixée et surveillée. La fixation des limites de cette zone est appelée zone d'exclusion. A l'intérieur de cette zone, si une espèce est détectée, une procédure doit être mise en place afin de

d'éviter tout impact (arrêt des engins). En général, la définition des zones d'exclusion est favorable pour les animaux par rapport aux valeurs mentionnées dans les études d'impact techniques.

Dans le cadre des travaux envisagés pour l'extension du port de Galisbay, les distances d'exclusion préconisées sont :

- 100 m autour de toutes les sources sonores pour les activités de dragage, de clapage et de navigation (excepté le trafic maritime classique) ;
- 300 m autour des zones de vibrofonçage ;
- 1 000 m autour des zones de battage de pieux (si cette activité est maintenue dans le projet).

Figure 73 : Exemple de schémas des zones de surveillance pour les activités de dragage, clapage et engins de navigation (source : Impact Mer)



Le périmètre de vigilance est un périmètre où toute approche de cétacé dans ce périmètre va impliquer une intensité d'observation accrue et éventuellement une procédure préventive tant que l'animal n'a pas quitté la zone. Dans le cadre des travaux envisagés, il est préconisé un périmètre de vigilance d'environ 150 m en plus de la zone d'exclusion maximale prévue.

Mise en place d'observateurs

Le plan de surveillance doit prévoir d'embarquer des observateurs spécialisés de type MMO (*Marine Mammals Observers*) sur chaque engin de chantier (dragues, chalands pour l'immersion des matériaux). Une surveillance visuelle à 360° suggère l'embarquement de plusieurs observateurs de jour et sur chaque engin. Si les travaux sont réalisés également de nuit, la surveillance peut être réalisée à partir de caméras thermiques ou jumelles infrarouge. En journée, une surveillance à partir d'un point à terre peut également être envisagée.

Mise en place d'écoutes acoustiques

En complément des observateurs embarqués, l'installation d'écoutes acoustiques nomades (instantanées et itinérantes avec hydrophones, détection en temps réel) et d'un système de gestion des alertes permet d'informer de l'état de la procédure en cours à l'équipe chargée de la surveillance. Le suivi acoustique instantané, avec mesures en temps réel, permet à différentes distances de mesurer les émissions sonores de l'activité et de compléter l'observation visuelle.

Formations des équipes de chantier et des observateurs spécialisés

La formation préventive des équipes de chantier doit permettre aux équipages de détecter les cétacés durant les travaux et mettre en place des mesures d'évitement et de réduction d'impacts préalablement établies. Des observateurs formés et qualifiés peuvent identifier rapidement les

espèces de cétacés et mettre en place les mesures d'évitement et de réduction des impacts.

7.4.4.6 Mesures de prévention

Limitation des impacts sonores en imposant un seuil d'émission sonore des engins de chantier

Cette mesure a pour objectif d'éviter les impacts létaux ou des blessures graves (altération de l'intégrité des individus et de leurs petits). Le seuil peut être fixé à une valeur inférieure ou égale à 198 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$ (à 1 m de la source) pour les cétacés exposés à des sons impulsionnels et 215 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$ (à 1 m de la source) pour les cétacés exposés à des sons non impulsionnels. Le seuil est de 180 dB re 1 μPa^2 (SEL) pour les espèces hautes fréquences.

Utilisation de la technique du « *ramp-up* » si nécessaire

L'objectif recherché est d'alerter les espèces et de provoquer leur éloignement temporaire. Cette procédure est réalisée préalablement au démarrage des opérations, en mettant progressivement en marche les engins pour limiter les nuisances sonores au démarrage ou à la reprise des travaux (avec maintien pendant 15 minutes d'un niveau d'exposition sonore inférieur à 160 dB à 1 m de la source, seuil conservateur minimal pour la perturbation des espèces).

Le ramp-up

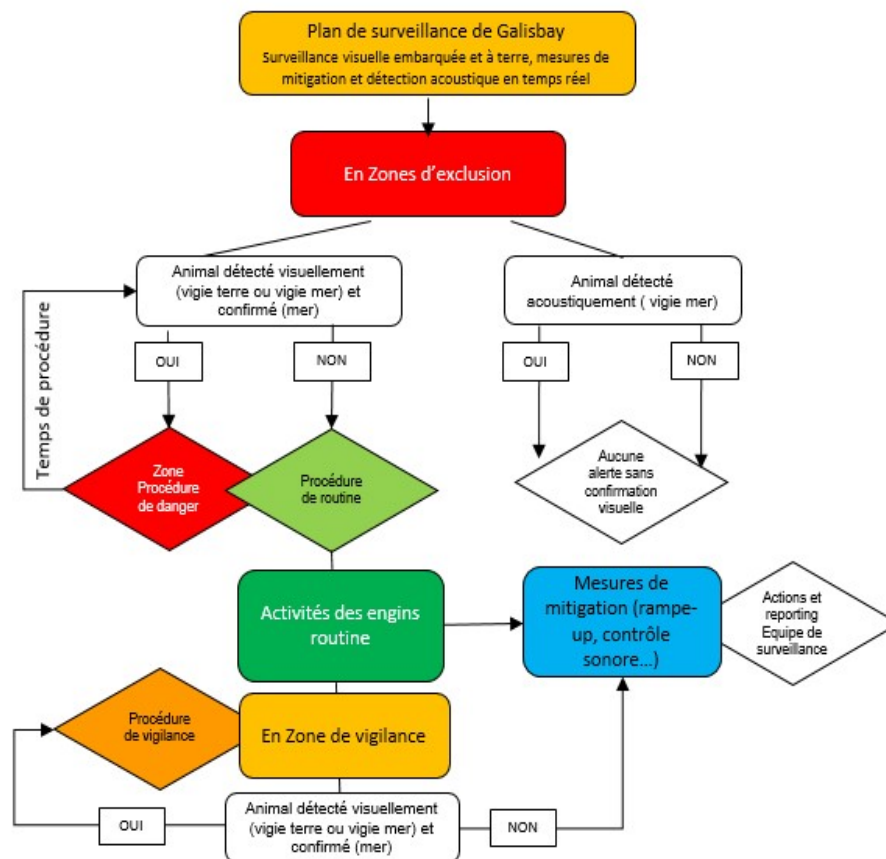
Cette technique consiste à générer, à partir d'une ou plusieurs sources acoustiques (transducteurs) dont les niveaux et les formes de signaux sont contrôlés par électronique, des niveaux de bruit de plus en plus forts. L'objectif recherché est d'alerter les espèces et de provoquer leur éloignement temporaire. Cette procédure est réalisée préalablement au démarrage des opérations lorsque qu'une période de calme sonore aura été significativement longue pour que les espèces aient eu la possibilité de revenir dans le voisinage des opérations.

Le *ramp-up* doit commencer avec les émissions de l'engin le moins puissant de la source, minimisant le risque de lésion auditive. Puis les autres engins sont mis en service successivement, jusqu'à atteindre le niveau d'émission maximal. La durée du *ramp-up* est variable selon les configurations. On retiendra une durée moyenne de 30 mn, avec un minimum de 15 mn (sources ne comportant que deux ou trois engins) jusqu'à 45 mn (sources comportant un grand nombre de sources et/ou des sources de forte puissance).

Les conditions pour que la mesure soit efficace sont que :

- les cétacés comprennent la manœuvre et s'éloignent de la source, et qu'ils soient capables de déterminer dans quelle direction s'éloigner, donc que le niveau initial ne soit pas à un niveau tel qu'il les désoriente déjà ;
- la durée du *ramp-up* leur laisse le temps de s'éloigner pour, qu'à la fin, ils aient compensé l'augmentation du niveau ;
- les cétacés ne soient pas en plongée profonde au début de la rampe, leur réaction pourrait être de remonter vers la surface et d'aggraver ainsi leur exposition (concerne moins les dauphins que les grands cétacés).

Figure 74 : Exemple de schéma décisionnel des procédures de gestion des risques pour les mammifères marins (source : Impact Mer)





Les mammifères marins, particulièrement les cétacés, sont des animaux qui utilisent le son pour détecter leurs proies, se diriger et communiquer. En général, le dragage produit un son continu à large bande avec l'énergie principale située au-dessous de 1 kHz.

Les niveaux de pression acoustique peuvent varier considérablement, par exemple avec le type de drague, la phase opérationnelle ou les conditions environnementales.

Les impacts sur les mammifères marins dépendent :

- de la nature du son (impulsion ou son prolongé),
- de l'intensité à la source sonore et de la fréquence,
- du niveau de l'exposition de l'espèce à cette source sonore (durée d'émission) et du type de source,
- de la sensibilité auditive de l'espèce.

De manière générale, les différents impacts de la pollution sonore sont mesurés en fonction de la distance physique de l'animal à la source. Dans la mesure où ces distances ne sont pas les mêmes selon les espèces, ni les modèles d'appréciation, ils sont classés en différents niveaux :

- Niveau primaire : lésions auditives, perte d'audition permanente, voire mortalité/échouage.
- Niveau secondaire : perte d'audition temporaire, masquage, modification des comportements, modification des émissions sonores, modification de trajectoire ou d'habitat.
- Niveau tertiaire : autres réactions ou réponses comportementales de moindre impact type perturbation ou stress.
- Effet neutre ou tolérable : pas de réaction ou acclimatation.

Dans la littérature, les études de cas consacrées aux effets des activités de dragage en mer sur les espèces de mammifères marins spécifiques sont rares et la contribution particulière du dragage est le plus souvent difficile à caractériser.

Les auteurs concluent qu'il est difficile d'évaluer avec précision l'impact des bruits sous-marins provoqués par l'activité de dragage sur les mammifères marins, étant donné les effets propres aux autres activités industrielles qui se produisent concomitamment. Ils estiment que la plupart des effets à court ou de moyen terme entraînent des réactions de comportement et le masquage des fréquences basses chez les baleines et les phoques. La perte d'audition temporaire est possible si les animaux évoluent à proximité des engins de dragage pendant une période prolongée, mais les blessures auditives sont improbables.

Les bonnes pratiques environnementales pour éviter ou réduire l'impact du bruit des dragages sur les mammifères marins portent sur :

- la prévision d'impact par modalisation,
- l'instauration de fenêtres environnementales,
- le choix des techniques et des engins,
- la réduction des impacts sonores à la source,
- le protocole et le programme de surveillance des espèces à risques élevés à modérés : délimitation des zones à surveiller, écoutes acoustiques, observateurs,
- les mesures de prévention : imposition d'un seuil d'émission sonore des engins de chantier ; technique du « ramp-up ».

7.5 Bruit aérien

7.5.1 Prévision des niveaux sonores par modélisation

Dans certains cas, le niveau de bruit provoqué par le fonctionnement d'une drague peut constituer un réel enjeu au regard des nuisances subies par la population locale. C'est notamment le cas lorsque l'opération de dragage concerne un port ou un chenal situé dans ou à proximité immédiate d'un centre urbain ou lorsque les conditions topographiques ou météorologiques entraînent une forte perception du bruit (riverains implantés en hauteur par rapport au site de dragage ; régime de brise thermique qui « ramène » le bruit à la côte, en particulier la nuit si les travaux sont exécutés 24 h sur 24).

L'étude acoustique a pour objectifs :

- d'établir un diagnostic acoustique du site par des mesures de bruit et par calcul (utilisation d'un logiciel spécialisé) ;
- de déterminer la contribution acoustique du projet en phase chantier ;
- de déterminer les protections acoustiques à la source et les mesures de gestion de l'atelier dragage pour répondre aux exigences réglementaires.

Deux cas sont présentés à titre d'exemples.

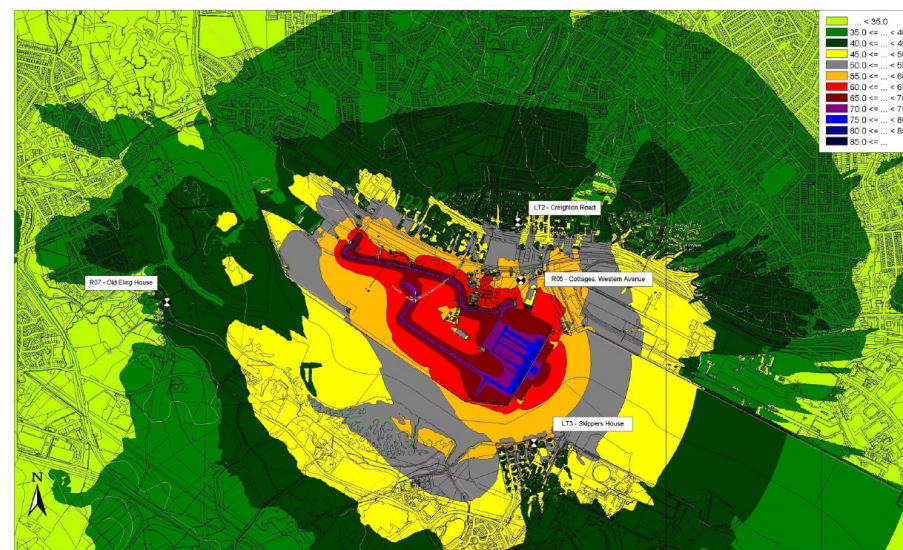
7.5.1.1 Dragage en site urbain dense

Le dragage du chenal d'accès du port de Southampton (GB)⁶⁰, nécessite l'extraction de 11,6 millions de m³ de matériaux faisant intervenir deux dragues rétrocaveuses pour les matériaux rocheux et une drague

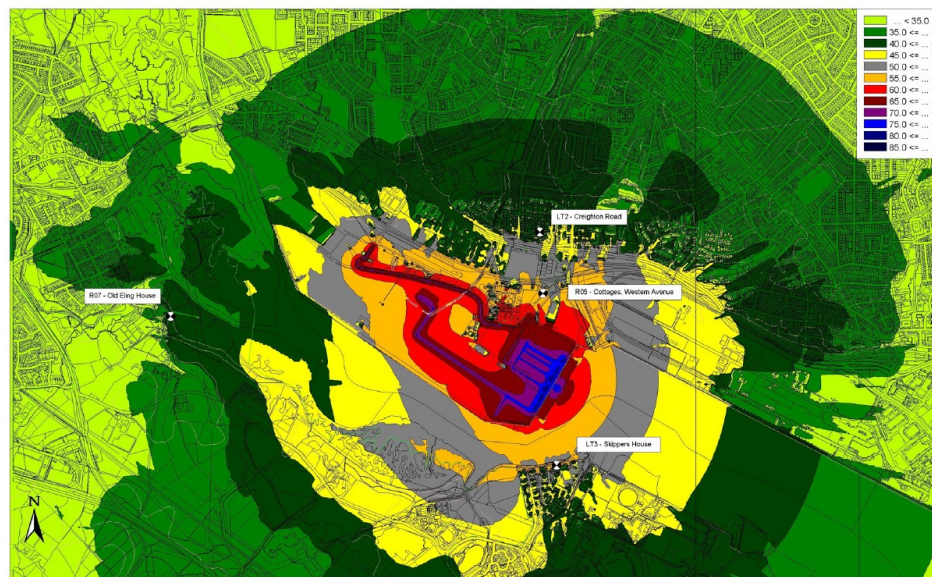
hydraulique en marche (DAM) pour les matériaux meubles. La durée du chantier est de 455 jours pour les dragues rétrocaveuses et 277 jours pour la DAM avec une cadence de 7 jours sur 7 et 24h/24.

La cartographie acoustique permet de définir les zones habitées ou fréquentées où le bruit perçu est maximal (LAeq sur 1 h = 70 dB au droit du quai de l'Amirauté).

Figure 75 : Port de Southampton. Impact sonore du dragage du chenal d'accès. Isophones pendant la période diurne (ci-dessous) et nocturne (page suivante) LAeq dB (Associated British Ports ; Xodus Group)



⁶⁰ Environmental Statement for Port of Southampton: Southampton Approach Channel Dredge.



Les mesures de réduction retenues ont été :

- l'équipement systématique des dragues avec des dispositifs insonorisants (silencieux d'échappement, capotage) dans la limite de la technologie disponible,
- la limitation des activités de dragage à certaines heures dans les quartiers identifiés comme sensibles, le niveau de bruit ne devant pas dépasser + 5 dB par rapport au bruit ambiant de jour comme de nuit,
- pour le quai de l'Amirauté, des limites fixées pour la période de nuit ($LA_{eq} = 52$ dB) et pour les week-ends ($LA_{eq} = 62$ dB).

7.5.1.2 Dragage dans une baie ouverte à proximité d'une zone littorale urbanisée

Le dragage du chenal d'accès et l'aménagement d'un terre-plein et d'un quai dans le port de commerce de Galisbay (Ile de Saint-Martin) va se dérouler en trois phases pendant une durée estimée à 22 mois (dont 1,5 mois de préparation).

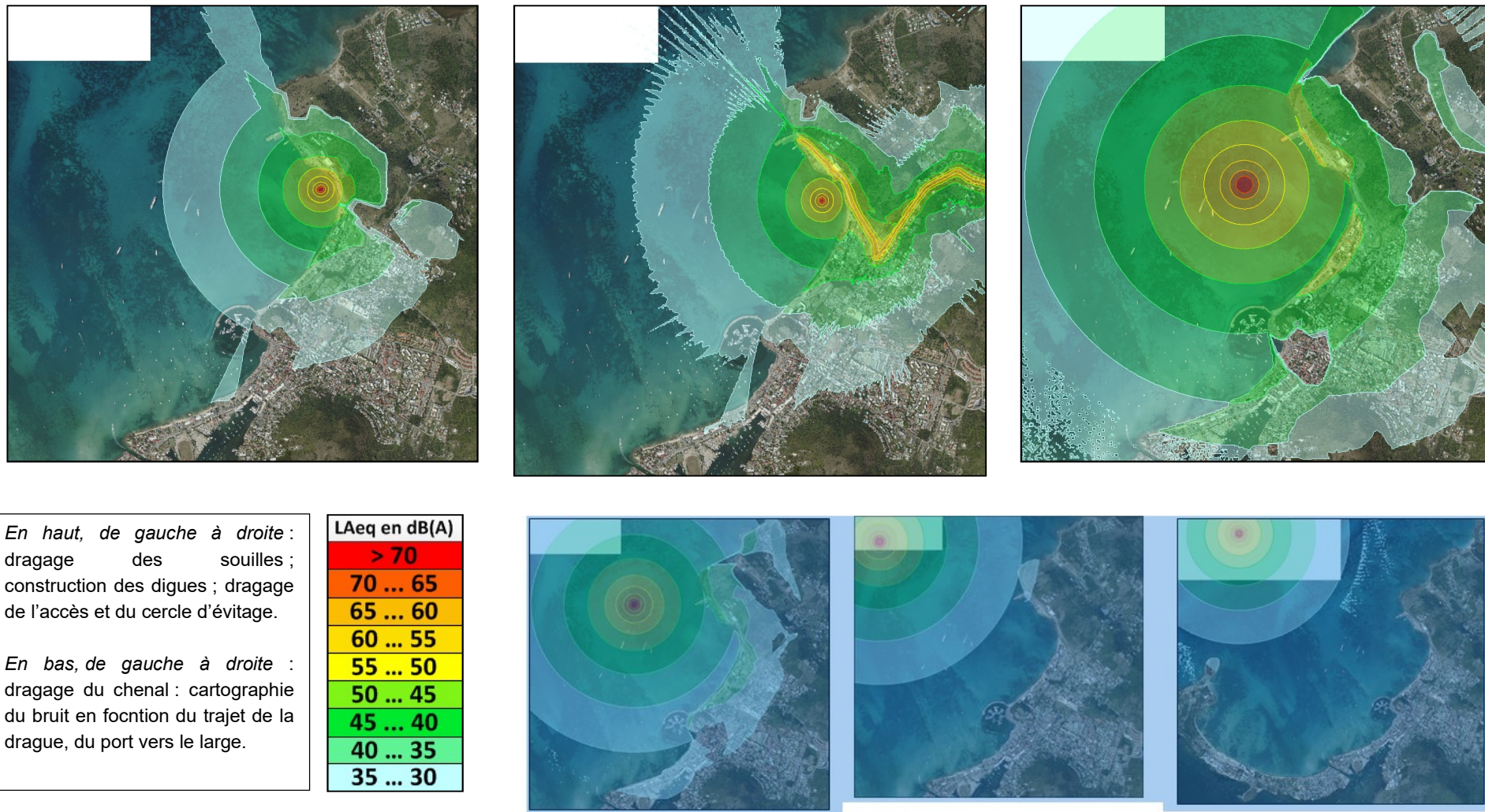
Tableau 38 : Dragage du chenal de Galisaby : nature des travaux et engins utilisés

Phases	Nature des travaux	Engins utilisés	Durée estimée (mois)
1	construction des digues et dragage des souilles	Pelle à godet sur ponton et chalands d'évacuation	5
2	dragage des accès pour la drague aspiratrice en marche (DAM)	Drague stationnaire à désagregateur (DSD)	7,5
3	dragage du chenal, du cercle d'évitage et des postes à quai	Drague aspiratrice en marche (DAM)	8

Plusieurs types d'actions sont prévus pour limiter les nuisances acoustiques du chantier de dragage (ces mesures intègrent l'ensemble des bruits qui peuvent être produits par le chantier et ne se limitent pas au seul atelier de dragage) :

- informations des riverains,
- contrôle des niveaux sonores en cours de chantier,
- choix et utilisation des engins et matériels de chantier,
- homologation des engins de chantier,
- organisation du chantier,
- sensibilisation du personnel des entreprises.

Figure 76 : Simulation des niveaux de bruit pour différentes phases de chantier



7.5.2 Adaptation du matériel de dragage pour réduire les niveaux sonores

Les niveaux sonores mesurés à bord d'une drague (Tableau 39) montrent la contribution des divers équipements : échappement du moteur principal, du générateur, moteurs du cutter équipant l'élinde, diverses pompes...

Tableau 39 : Contribution au niveau sonore des divers équipements d'une drague (source : CSTI Acoustics)

Sources de bruit	Niveaux de bruit dB(A) à 50 pieds (environ 15 m)	Mesures d'atténuation
Echappement du moteur de la drague	73	Aucune
Echappement des générateurs	69	Aucune
Moteur du cutter et de la pompe	78	Couverture et /ou rideaux
Moteur principal via les ouvertures	82	Condamnation des ouvertures et matériaux absorbant acoustique sur les panneaux
Pompes via les ouvertures	75	Idem ci-dessus
Générateurs via les ouvertures	65	Condamnation des ouvertures
Equipements de ventilation	56	Aucune

De nombreuses améliorations permettent de réduire sensiblement les bruits aériens et les vibrations. Il s'agit d'équipements d'origine montés lors de la construction de la drague ou de mesures adaptatives. Quelques exemples sont illustrés ci-après.

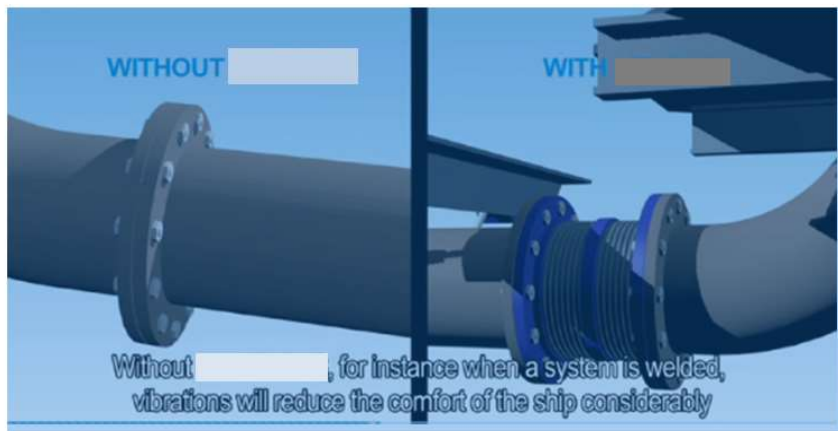
Superstructures montées sur amortisseurs hydropneumatiques



Moteurs électriques (cutter, pompes, moteurs de propulsion, cabestans...)



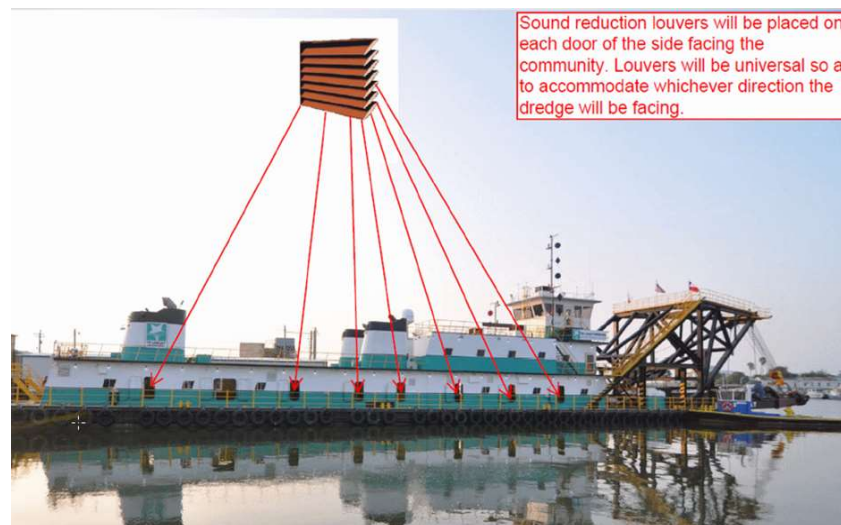
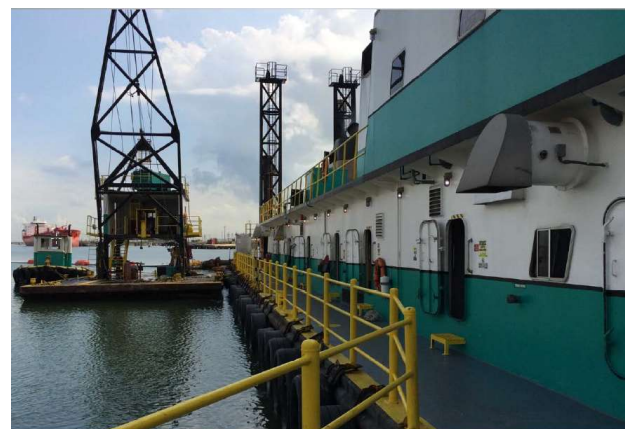
Manchons anti-vibratoires pour le raccordement des canalisations



Silencieux équipant l'échappement du moteur principal et des générateurs



Dispositifs de réduction du bruit équipant les portes et orifices de ventilation



Ecrans anti-bruit sur les moteurs des pompes et du cutter de la drague



7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage



Le niveau de bruit provoqué par le fonctionnement d'une drague peut constituer un réel enjeu au regard des nuisances subies par la population locale. C'est notamment le cas lorsque l'opération de dragage concerne un port ou un chenal situé dans ou à proximité immédiate d'un centre urbain ou lorsque les conditions topographiques ou météorologiques entraînent une forte perception du bruit.

De nombreuses améliorations permettent de réduire sensiblement les bruits aériens et les vibrations. Il s'agit d'équipements d'origine montés lors de la construction de la drague ou d'équipements adaptés :

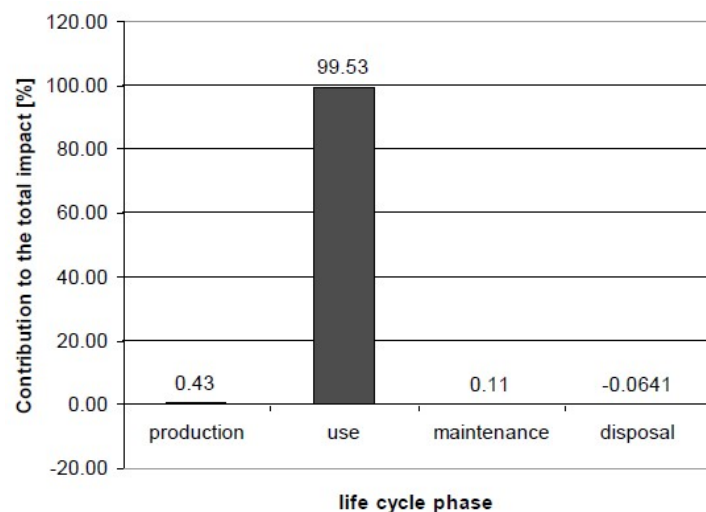
- silencieux d'échappement du moteur principal et des générateurs,
- superstructures montées sur amortisseurs hydropneumatiques,
- moteurs électriques (cutter, pompes, moteurs de propulsion, cabestans...),
- manchons anti-vibratoires pour le raccordement des canalisations,
- dispositifs de réduction du bruit équipant les portes et orifices de ventilation,
- écrans anti-bruit sur les moteurs des pompes et du cutter de la drague.

7.6 Qualité de l'air

7.6.1 Dragages et émissions atmosphériques

Au regard de l'analyse du cycle de vie, la phase opérationnelle du dragage reste le contributeur majeur aux émissions de gaz à effet de serre (Figure 77).

Figure 77 : Impact environnemental du cycle de vie d'une drague THSD (CEDA, 2011)

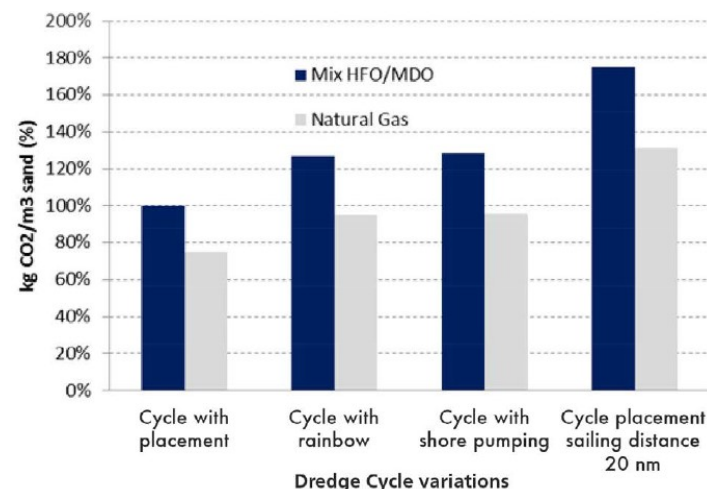


L'efficacité énergétique et les émissions atmosphériques des équipements de dragage sont encore très influencées par les conditions locales et les modalités d'opération⁶¹ (Figure 78).

⁶¹ J.-B de Cuyper et al. Smart, Sustainable: a Life Cycle Approach to Fuel Economy as Applied to Dredging Vessels

7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage

Figure 78 : Variations des émissions de CO² par m³ de matériaux dragués, en fonction des modalités de rejet, de la distance au site de dépôt (10 à 20 milles nautiques) et de la nature du carburant



Dans l'exemple qui suit, l'opération de dragage d'un chenal portuaire mobilise quelque 3 400 000 m³. De ces matériaux extraits, 490 000 m³ de sable seront valorisés pour construire le terre-plein et les matériaux excédentaires représentant près de 2 952 000 m³ seront immergés au large. La localisation prévisionnelle de la zone de clapage est située à environ 10 milles nautiques du site dragué. Les tableaux 40 et 41 établissent le bilan des émissions et de la consommation pour les navires utilisés sur le chantier de dragage.

Tableau 40 : Estimation des émissions globales pendant la durée du chantier (en tonnes)

	P-O ₃	CO	NO ₂	SO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
DSD (1)	0.78	1.75	8.52	0.09	0.244	0.237	875.8	0.07	0
DAM (1)	0.63	1.45	6.39	0.07	0.186	0.181	727.3	0.07	0
Chalands (4)	26.68	60.11	209.27	0.17	10.03	9.72	16 489	1.32	0.56
Navire support (1)	1.11	2.39	8.64	0.007	0.42	0.40	680.9	0.09	0.02
Annexes (2)	7.82	17.71	2.44	0.01	5.96	5.78	632.8	0.49	0.11
Total	37.02	83.41	318.67	0.347	16.84	16.32	19 405.8	2.04	0.69

P-O₃ : composés précurseurs de l'ozone (HC, aldéhyde)

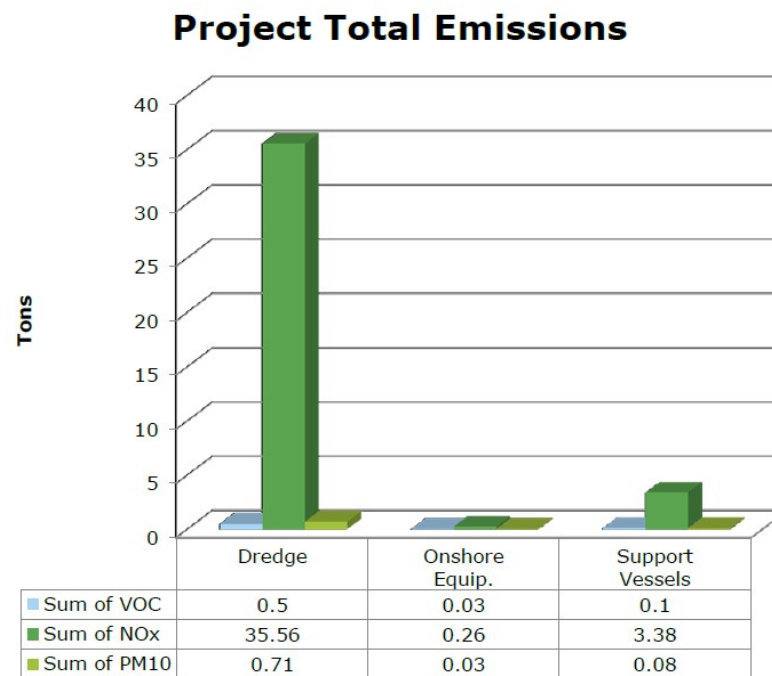
Tableau 41 : Estimation des consommations en carburant pendant la durée du chantier (en tonnes)

Engins	Motorisation (kW)	Consommation (g/kWh)	Durée de fonctionnement des moteurs (h)	Facteur de charge	Consommation (t)
DSD	1 270	205	1 700	0,70	309.82
DAM	1 700	205	1 080	0,70	264.46
Chalands	1 400	220	22 300	0,90	6 181.56
Navire support	800	205	2 790	0,50	228.78
Annexes	300	215	5 580	0,50	179.95
Total					7 164.57

Le bilan des émissions globales montre la forte contribution du transport vers le site d'immersion, les chalands étant à eux seuls responsables de 65,7 % des émissions de NO₂ et de 85 % des émissions de CO₂.

On constate que 86,3 % de la consommation en carburant du chantier maritime est due aux chalands dédiés à l'immersion des matériaux dragués en mer.

Figure 79 : Exemple de calcul des émissions atmosphériques produites par les navires mobilisés sur un chantier de dragage (dragues, navires de support, engins terrestres (Ramboll Environ))



7.6.2 Cadre réglementaire⁶²

En application de la directive européenne « soufre » (directive 2012/33), les émissions de soufre des navires sont limitées à 0,1 % dans une zone maritime couvrant le Nord de l'Europe de la Manche à la mer Baltique. Pour se conformer à cette nouvelle réglementation européenne, les entreprises de transport maritime ont fait face à des coûts supplémentaires (nouveaux carburants, filtres) compris entre 2,6 et 11 milliards d'euros. En outre, le seul carburant dont la teneur en soufre n'excède pas 0,1 % est un diesel marin, plus onéreux que le fioul lourd à teneur réduite en soufre (« low sulphur ») qui en contient 1 %.

L'impact de cette directive reste limité car, dans les autres zones y compris la Méditerranée, les taux sont peu, voire pas régulés et peuvent atteindre 4 %. A l'horizon 2020, les émissions de soufre devraient être limitées partout dans le monde à 0,5 %, conformément aux négociations en cours au sein de l'OMI (Organisation Maritime Internationale).

La SECA⁶³ couvrant la Manche, la mer du Nord et la Baltique, a toutes les chances de devenir également NECA⁶⁴. La demande a été présentée lors du 70^{ème} MEPC (*Marine Environment Protection Committee*) de l'OMI en octobre 2016, au cours duquel il a par ailleurs été décidé de généraliser le seuil maximal de 0,5 % de soufre hors zones SECA. Jusqu'ici, seule la zone d'émission spéciale américaine était à la fois SECA et NECA.

⁶² Conseil économique, social et environnemental. La politique européenne de transport maritime au regard des enjeux de développement durable et des engagements climat. Avis du CESE présenté par M. J. Beall, rapporteur au nom de la section des affaires européennes et internationales. Séance du 12 avril 2017.

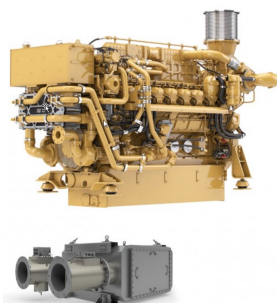
⁶³ *Sulphur Emission Control Area* ou Zones d'émissions spéciales de soufre.

⁶⁴ *NOx Emission Control Area* ou Zones d'émissions spéciales de NOx.

À l'inverse du soufre dont les limites s'imposent aux navires existants, les seuils prévus dans une NECA ne concernent que les navires neufs. Mais le spectre d'application est bien plus large puisque le NOx est aussi produit par les moteurs alimentés au gasoil, ce qui intègre les navires de travail comme les remorqueurs, les bateaux de pêche ou encore les yachts.

Les seuils d'émissions auxquels sont soumis les motoristes sont appelés Tier II en zones non réglementées et Tier III dans une NECA. À ce jour, à moins d'utiliser un carburant alternatif, la norme Tier III n'est immédiatement accessible qu'avec le renfort d'un post-traitement des fumées d'échappement de type système catalytique sélectif utilisant une solution d'urée. La NECA européenne s'imposerait aux navires après le 1^{er} janvier 2021, soit cinq ans après les États-Unis qui l'appliquent depuis le 1^{er} janvier 2016. La France en particulier souhaite la mise en place d'une SECA/NECA en Méditerranée occidentale, proposition qui a été débattue lors de la Conférence sur la Méditerranée du 23 février 2017.

Les principales technologies de réduction des émissions disponibles pour atteindre le Tier III (réduction de 80 % par rapport au Tier I) sont la recirculation des gaz d'échappement (EGR), les systèmes de réduction catalytique de traitement de la postcombustion de type SCR (*Selective Catalytic Reduction*) ou les moteurs fonctionnant (en partie) au gaz naturel liquéfié (GNL). Cependant, l'équipement *a posteriori* des navires montre que ces technologies génèrent une surconsommation de 10 %. La réduction locale des NOx est effective (- 80 %) mais l'analyse du cycle de vie montre que la surconsommation de 10 % entraîne une augmentation significative des émissions de NOx lors de la production d'énergie fossile, du raffinage des produits et de la fabrication des équipements.



Moteur Caterpillar's 3516E U.S. EPA Tier 4 / IMO III avec système de réduction catalytique des NOX ("U-Flow" selective catalytic reduction (SCR) system).

Au-delà des mesures techniques introduites par l'OMI pour les nouveaux navires, avec l'indice de performance énergétique, le comité de protection de l'environnement de l'OMI a adopté en avril 2016 l'obligation de communiquer la consommation des navires à la fin de chaque année. Celle-ci devrait entrer en vigueur en 2018 pour tous les navires marchands de plus de 5 000 tonneaux de jauge brute. Elle étend à l'échelle mondiale, le système de monitoring obligatoire que l'Europe veut également introduire en 2018⁶⁵. Cependant, les formules d'application de cet indice sont faites pour les navires de commerce transocéaniques. L'industrie du dragage est en discussion pour adapter cet indice aux équipements spécifiques à son activité. Les propositions de l'indice CO₂ tiennent compte des émissions par m³ dragués, profondeur, type de matériaux et distance entre le site d'extraction et les sites de dépôt ou d'immersion.

⁶⁵ Le Marin 2016.

7.6.3 Améliorations techniques pour diminuer la consommation de carburant et les émissions atmosphériques⁶⁶

Conception des carènes des navires

Les navires conçus avec un bulbe d'étrave ont une consommation inférieure de 20 % par rapport à un navire à coque classique.



Conception des pompes



Au cours des années 90, le rendement des pompes est passé de 80 % à 93 %. Les pompes ont été optimisées grâce à la conception assistée par ordinateur (*Computational Fluid Dynamics* ou *CFD*). Elles ont gagné en rendement, mais aussi en puissance d'aspiration pour des mélanges de forte densité.

⁶⁶ B. Gonçalves Castro et al. Approaching emissions in dredging. Terra et Aqua, Number 137, December 2014.

Systèmes de commandes et de transmissions

Les progrès sont également constatés sur les systèmes de commandes (générateurs à vitesse variable, contrôle et régulation de l'énergie à bord) qui induisent des émissions basses.

Alternatives aux carburants traditionnels

Le groupe DEME Belgique a commandé trois dragues aspiratrices en marches avec des moteurs alimenté au gaz naturel (photo Drague Bonny River d'une capacité de 15 000 m³). Le gain atteint est de - 25 % d'émissions de CO₂ par rapport à une drague fonctionnant au gasoil avec quasiment pas de sulfures et de particules.

International Dredging Review / September-October 2016

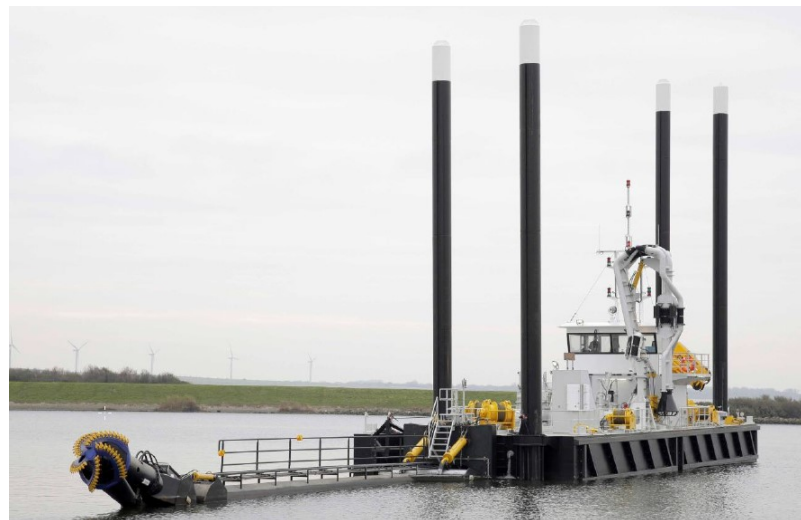


La plus grande unité de Dragages Ports la Samuel de Champlain va faire l'objet d'une remotorisation duale diesel-gaz naturel liquéfié.

7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage

Dragues à motorisation électrique

La drague à désagrégateur Amoris (Damen) d'une capacité de 3 000 m³/h, est munie de moteurs électriques y compris pour les pompes, la puissance totale étant de 15,75 kV à 1 800 kVA.



L'optimisation des têtes d'élinde permet d'augmenter la production en réduisant la consommation au mètre cube dragué et en conséquence de réduire les émissions de GES.

Récupération de la chaleur perdue

La récupération de l'énergie fatale perdue par les gaz d'échappement est aussi une piste d'économie du carburant (50 % de l'énergie contenue dans le carburant est perdue de cette sorte). Les systèmes de récupération permettent une réduction de la consommation en fuel de 5 à 10 %.

Formation des équipages

Une drague est un navire spécialisé dont la performance dépend plus de la capacité de son équipage à utiliser les équipements de dragage que de ses qualités de navigation. Un équipage compétent s'efforcera d'opérer efficacement en conciliant production et réduction des consommations. L'un des moyens de perfectionner les équipages des dragues est la formation continue, notamment sur simulateur, comme le proposent des organismes spécialisés tel le *Training Institute for Dredging*.

OPEN COURSES



[GENERAL DREDGING COURSE >](#)



[INTRODUCTION IN DREDGING >](#)



[PUMPS AND SLURRY
TRANSPORTATION TRAINING >](#)



[RADIOACTIVE
CONCENTRATION \(RAC\)
METER COURSE >](#)

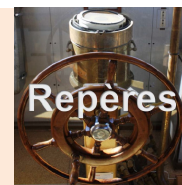


[TRAINING CALENDAR >](#)



[PROJECT STAFF TRAINING >](#)

7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage



La phase opérationnelle du dragage reste le contributeur majeur aux émissions de gaz à effet de serre. L'efficacité énergétique et les émissions atmosphériques des équipements de dragage sont encore très influencées par les conditions locales et les modalités d'opération.

A l'horizon 2020, les émissions de soufre devraient être limitées partout dans le monde à 0,5 %, conformément aux négociations en cours au sein de l'OMI. Les seuils d'émissions auxquels sont soumis les motoristes sont appelés Tier II en zones non réglementées et Tier III dans une zone d'émissions spéciales de NOx. À ce jour, à moins d'utiliser un carburant alternatif, la norme Tier III n'est immédiatement accessible qu'avec le renfort d'un post-traitement des fumées d'échappement de type système catalytique sélectif utilisant une solution d'urée.

Les améliorations techniques pour diminuer la consommation de carburant et les émissions atmosphériques concernent :

- la conception des carènes des navires,
- la conception des pompes,
- les systèmes de commandes et de transmissions,
- les alternatives aux carburants traditionnels,
- la motorisation électrique des dragues,
- la récupération de la chaleur perdue,
- la formation des équipages, un équipage compétent s'efforçant d'opérer efficacement en conciliant production et réduction des consommations.

7.7 Activités et usages de la mer, autres enjeux

7.7.1 Pêche

La vulnérabilité de l'activité de pêche aux opérations de dragage et d'immersion est liée aux différents effets sur les compartiments physiques et biotiques :

- l'altération de la ressource par destruction d'individus : les poissons (œufs, larves, juvéniles) sont prélevés pendant les dragages ou étouffés par enfouissement lors des immersions ;
- l'altération de la ressource par dégradation ou destruction de certaines « fonctions » supports telles que les habitats spécifiques nécessaires à la reproduction ou à l'alimentation, ou par contamination par apports de matériaux pollués au niveau des zones d'immersion.

Il est rappelé que les professionnels de la pêche et des élevages marins doivent être associés aux choix :

- des sites d'immersion et aux modalités de clapage pour éviter les zones traditionnelles de pêche, en particulier les zones exploitées intensivement,
- des protocoles scientifiques des études d'impacts et de suivi,
- de la période de réalisation des travaux.

Par rapport à l'activité de pêche professionnelle, le Grand Port Maritime de Marseille adapte les bonnes pratiques suivantes dans l'exécution de ses opérations de dragage :

- *Le contrôle des immersions par les dragues ou les chalands de manière à éviter le clapage hors des sites réservés à l'immersion.*

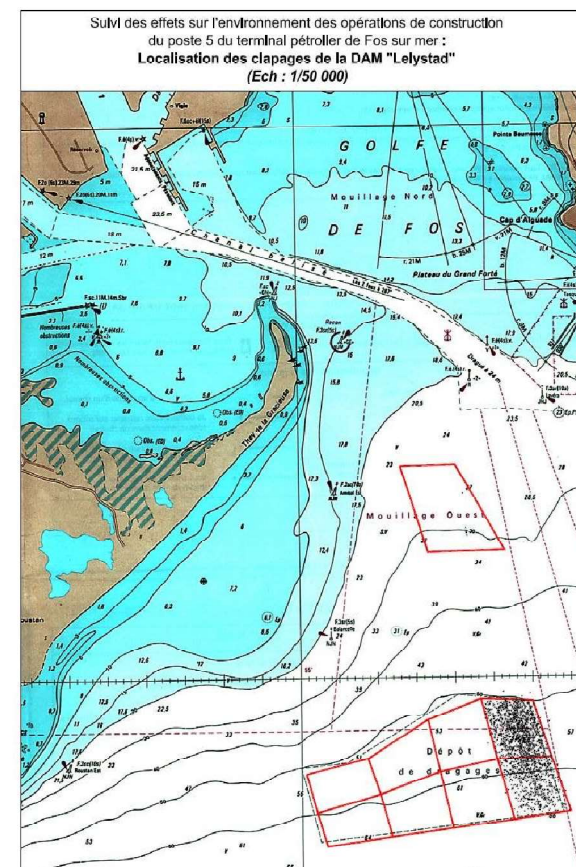


Figure 80 : Localisation des clapages de la drague dans la zone d'immersion

- *l'immersion par clapage dans une zone découpée en casiers permet de répartir les matériaux de manière à éviter un trop fort exhaussement des fonds. Cette technique évite des dépôts en tas pouvant créer des croches lors de la pratique du chalutage. Par ailleurs l'immersion alternée dans des casiers favorise la reprise et la*

restauration progressive des peuplements benthiques qui sont une source d'alimentation pour les poissons.

- après la fin des immersions, le suivi bathymétrique permet d'évaluer les modifications géomorphologiques du fond (Figure 81). Le tracé des pentes du fond est un bon indicateur pour estimer les risques d'accrochage des panneaux de chalut (à partir de 4 %) ;
- la prévention du transfert des macro-déchets depuis la zone de dragage vers le site d'immersion (cf. paragraphe 7.6.3).

Les fenêtres environnementales doivent aussi être recherchées pour éviter les impacts sur le cycle biologique des espèces et sur les ressources halieutiques. A titre d'exemples :

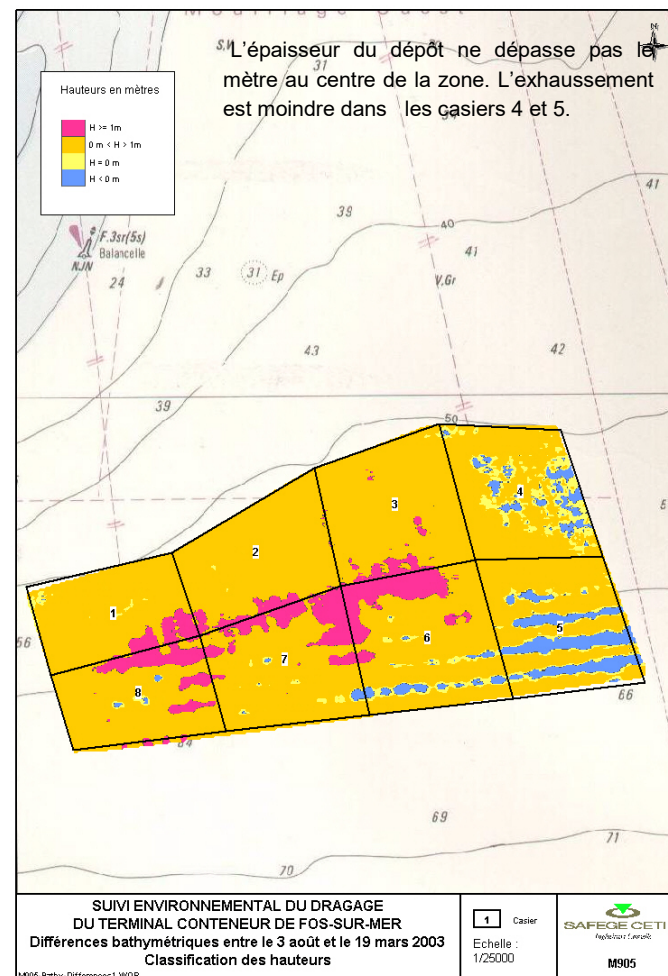
- dans l'estuaire de la Seine, le site d'immersion des matériaux de dragage du port de Rouen (Zone Intermédiaire) est interdit depuis 2005, du 1^{er} mai au 30 septembre inclus, afin d'éviter d'impacter la pêche à la crevette grise ;
- dans le bassin d'Arcachon, les dragages sont programmés en dehors de la saison de la pêche à la seiche (arrivée au printemps et pêche des « cassérons », petites seiches de l'année, en septembre).

Bassin d'Arcachon	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Estuaire de la Gironde	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Océan	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D

Pleine saison •
Pêche occasionnelle
Hors saison

7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage

Figure 81 : Carte des épaisseurs de dépôts après clapage dans les différents casiers de la zone d'immersion située dans le golfe de Fos



7.7.2 Elevages marins

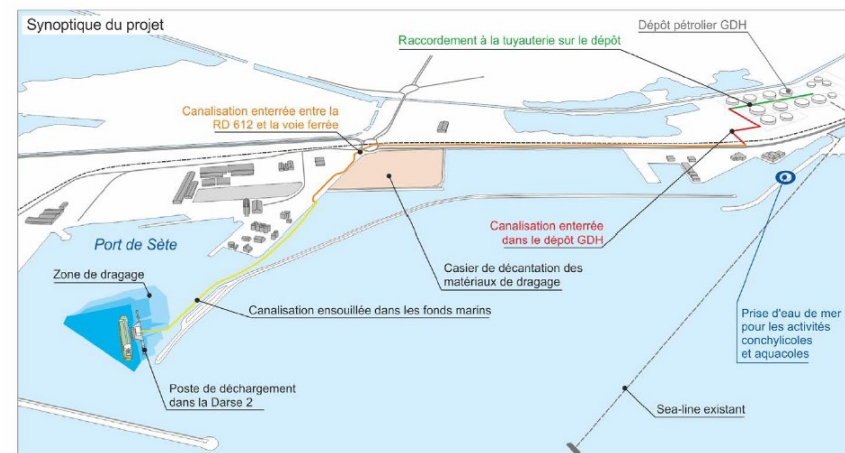
Les parcs conchylicoles, les élevages en mer de poissons en cage, les installations aquacoles terrestres utilisant des prises d'eau en mer peuvent être affectés par la modification de la qualité des eaux sous l'influence des dragages : augmentation de la turbidité, relargage et diffusion de contaminants chimiques et bactériologiques contenus dans les sédiments remaniés.

Les sites d'immersion doivent être suffisamment éloignés de ces zones sensibles pour éviter le retour de panaches turbides à la côte (utilité des modélisations numériques décrites dans la partie relative à la conception du projet). Lorsque les opérations de dragage se situent à proximité de ces zones, des précautions doivent être prises en confinant l'atelier de dragage ou les points sensibles et en exerçant un contrôle continu de la qualité des eaux pendant les travaux.

Dans l'exemple du projet de dragage / stockage de sable dans l'avant-port de Sète (cf. **annexe 8**), l'exécution des travaux intègre la proximité relative d'une prise d'eau de mer alimentant plusieurs entreprises conchylicoles et une entreprise d'aquaculture installées dans le port de pêche de Frontignan. Cette prise est située à 2 600 m du lieu d'extraction et 1800 m du site de confinement des matériaux (Figure 82). Pendant les travaux, il est prévu :

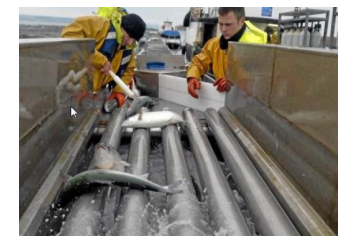
- d'isoler les ouvrages de prise d'eau par un écran anti-turbidité,
- de contrôler en continu la qualité de l'eau avant pompage dans les installations conchylicoles à l'aide d'un turbidimètre automatique permettant, en cas de dépassement, d'envoyer une alerte aux professionnels concernés.

Figure 82 : Positionnement de la prise d'eau conchylicole par rapport au site de dragage et de confinement des matériaux dragués



L'amélioration des accès nautiques et l'extension des terre-pleins portuaires du port de Cherbourg entraînent le dragage de 3 500 000 m³ de sables dans la grande rade de Cherbourg. Parmi les enjeux environnementaux, deux enjeux forts ont été mis en avant : des herbiers de zostère à l'est de la grande rade et un élevage salmonicole le long de la digue du large.

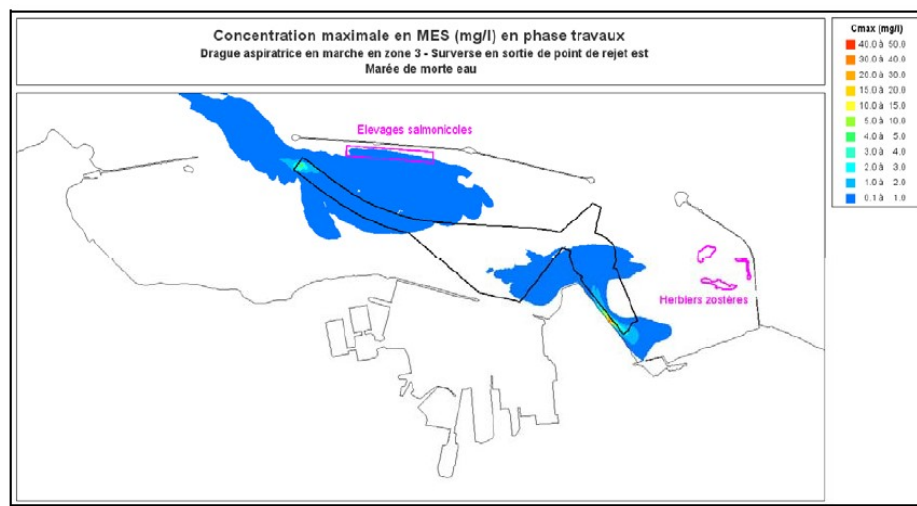
La ferme salmonicole exploite, sur 15 ha concédés sur le Domaine Public Maritime, huit cages rectangulaires de 660 m² où sont élevés jusqu'à 1 000 t de saumons avec une densité de 12 kg/m³, ce qui représente une population d'environ 300 000 saumons.



Au titre des mesures d'évitement et de réduction, il a été envisagé de draguer dans une période où la densité de saumons est faible (15 août au 15 septembre), mais celle-ci est trop courte pour procéder à la totalité du dragage. Le déplacement préventif des cages a été évoqué mais non retenu par l'entreprise qui la jugeait difficilement faisable.

Les études préalables ont modélisé la formation des panaches turbides provoqués par les opérations de dragage afin de connaître les incidences possibles sur la ferme aquacole. Cette modélisation intégrait la nature des sédiments, les courants, la marée, la dynamique de la drague, le type de drague et la localisation des points de rejet des eaux de ressuyage.

Figure 83 : Exemple de simulation de distribution spatiale des concentrations en MES issues des travaux de dragage dans la grande rade de Cherbourg



Les résultats des différents modélisations ont conclu que les valeurs additionnelles maximales en MES restaient extrêmement faibles au droit de la ferme aquacole, comparées à la gamme des variations naturelles de la rade, qui oscille entre 3 et 45 mg/l.

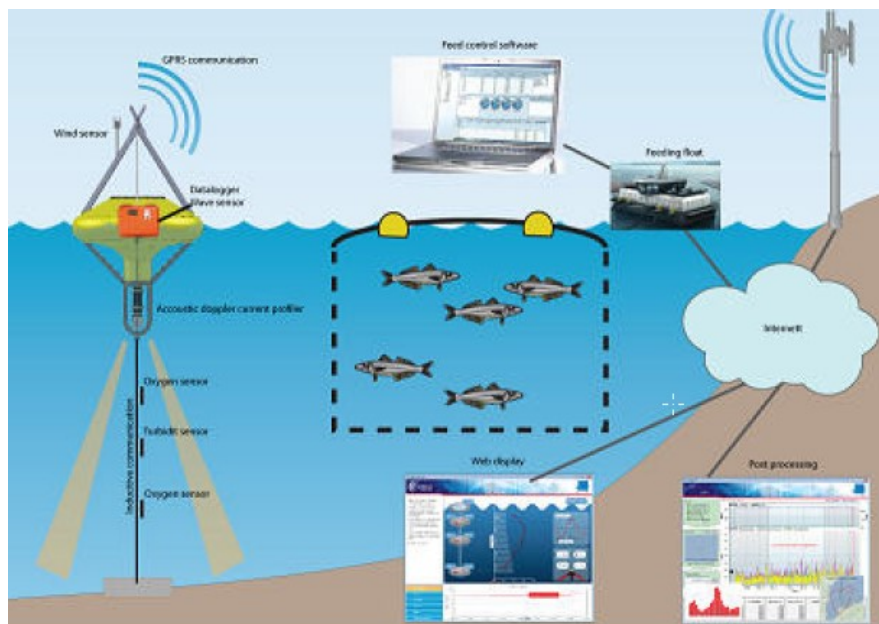
Pendant les travaux, un suivi de la turbidité a été effectué par l'entreprise et un autre par le maître d'ouvrage, conformément aux spécifications de l'arrêté préfectoral d'autorisation de travaux.

Pendant la campagne de dragage, la société exploitant la ferme a constaté une mortalité massive de son cheptel. Les expertises ultérieures, dans le cadre d'une procédure judiciaire en cours, n'ont pas permis d'établir un lien de causalité forte entre les perturbations apportées par le dragage (turbidité, bruit sous-marin) et la mortalité des saumons.

La présence d'une ferme aquacole à proximité d'une zone de dragage incite à disposer, avant et pendant les travaux, d'une station de mesure dévolue à l'enregistrement des paramètres du milieu naturel (Figure 84), afin :

- de mesurer l'évolution naturelle des paramètres physico-chimiques du milieu,
- de suivre les changements physico-chimiques en liaison avec l'augmentation de turbidité (atteinte des cages flottantes de la ferme aquacole par un panache turbide provenant d'une activité de dragage),
- et d'alerter, le cas échéant, le gestionnaire de l'élevage sur les risques encourus par le cheptel aquacole (en appui des propres mesures de suivi et de contrôle faites par l'éleveur).

Figure 84 : Station de mesures des paramètres physico-chimiques du milieu spécialement conçue pour les élevages aquacoles en mer (Nortek AS, AKVA group ASA, AquaCulture Engineering AS (SINTEF) and NortekMED AS)



Au regard du cheptel aquacole concerné, les seuils de turbidité sont difficiles à fixer en termes de doses-réponses dépendant de l'espèce considéré (loups, daurades), de leurs conditions physiologiques et sanitaires, de leur taille, du niveau de stress, des conditions physico-chimiques (température, disponibilité en oxygène dissous).

7.7.3 Baignade

Le risque sanitaire par rapport à la baignade est le possible déplacement d'un panache turbide vers la plage véhiculant des matières en suspension supportant des germes de contamination fécale issus des sédiments remaniés par le dragage. S'y ajoute l'altération visuelle de l'eau à même de rebuter les baigneurs et d'entraîner une baisse significative de la fréquentation de la plage.

La mesure idéale est d'éviter les dragages et immersions pendant la saison estivale (juin à août).⁶⁷ Cette mesure est très souvent défendue par les Agences régionales de Santé (cf. opérations de dragages du port de Bayonne).

Dans le cas où cet évitement est impossible, une surveillance du panache turbide est indispensable (par drone, par exemple). Elle doit être couplée avec des mesures bactériologiques dont les résultats peuvent conduire à la fermeture temporaire de la plage.

⁶⁷ En Méditerranée, les résidents peuvent commencer les bains de mer en mai et finir fin septembre. En région ultramarine, l'usage des plages toute l'année permet difficilement d'appliquer cette mesure.

7.7.4 Prévention du transfert des macro-déchets

Les fonds portuaires, et plus généralement côtiers, sont des zones d'accumulation des macro-déchets qui peuvent se retrouver dans les sédiments de dragage. Les immersions des matériaux de dragage peuvent, à ce titre, être des vecteurs de diffusion et de redistribution des macro-déchets dans l'espace maritime élargi.

Les dragues hydrauliques peuvent être équipées d'un dispositif de dégrillage placé à l'entrée de la soute de la drague et compatible avec le rendement de la drague et la taille minimale des macro-déchets à retenir.

Le GPMM impose que les têtes d'élinde des dragues hydrauliques soient équipées de grilles avec des mailles de 0,25 m de côté pour éviter l'aspiration des plus gros macro-déchets. Avant cette mesure, ceux-ci (blocs, ferrailles) étaient fréquemment crochés par les chalutiers opérant dans la zone d'immersion au large du Golfe de Fos.

Les dragues à godet peuvent être équipées d'un système de peigne. Des installations complémentaires de criblage des matériaux à terre existent également. Les macro-déchets récupérés doivent ensuite faire l'objet d'un tri et d'une évacuation vers les filières adaptées.



Dans le cas du dragage du bassin du port du Moros à Concarneau, une partie des macro-déchets a été récupérée par la mise en place d'une filière

de récupération reposant sur l'utilisation d'une pelle sur ponton équipée d'un godet peigne, le passage des déchets sur un crible vibrant sur terre-plein de maille 10 cm, puis l'application d'un peigne de maille 10 cm sur terre-plein. A noter que l'utilisation d'une maille inférieure est complexe du fait des risques de colmatage. Cette opération a permis de récupérer, trier et envoyer dans un centre agréé 280 tonnes de macro-déchets (funes, câbles, chariots, scooters, vélos, pneus, plastiques, cordes, ferrailles, ...).

L'enlèvement des feuilles mortes de posidonies dans les ports méditerranéens

Certains ports de plaisance méditerranéens voient la hauteur d'eau limitée dans leurs bassins par l'accumulation de feuilles mortes de posidonies. Pour rétablir le tirant d'eau, ces « déchets » particuliers doivent être enlevés. Or, la posidonie est une espèce protégée à laquelle on ne peut porter atteinte même aux parties mortes de la plante (matte morte, feuilles mortes).

Un projet d'arrêté fixe les conditions et limites dans lesquelles des dérogations aux interdictions de destruction de la Posidonie peuvent être accordées par les préfets. Il prévoit que « la récupération des feuilles mortes de posidonie présentes dans la colonne d'eau peut être autorisée en cas d'entrave ou de risque d'entrave à la navigation, au libre écoulement des cours d'eau estuariens ou à la circulation des effluents, à l'intérieur des ports, dans l'estuaire de certains cours d'eau côtiers, désignés par arrêté préfectoral, au droit des rejets d'eaux pluviales en milieu marin (...) Les feuilles récoltées doivent dans la mesure du possible être immergées ou déposées sur une plage. En l'absence d'autre solution alternative, la mise en décharge des déchets végétaux récoltés est autorisée par arrêté préfectoral, conformément aux usages et réglementations en vigueur (...).

En cas de dragage d'un port, autorisé par les autorités compétentes, les feuilles mortes de Posidonie pourront être évacuées dans les mêmes centres de traitement que les sédiments retirés, après en avoir informé les services du préfet en charge des dérogations à la protection de cette espèce ».

7.7.5 Archéologie et patrimoine sous-marin

La loi n° 2001-44 du 17 janvier 2001 sur l'archéologie préventive reconnaît le patrimoine archéologique comme devant être soit conservé en tant que tel, soit sauvegardé par l'étude scientifique. Elle impose d'accomplir des mesures de détection et, si besoin, de conservation et/ou de sauvegarde du patrimoine archéologique, même si celles-ci dépendent en fait de leur localisation, de leur nature, de leur intérêt scientifique ou historique et de l'importance des travaux d'aménagement projetés. Dans tous les cas, sont concernés les travaux soumis à déclaration préalable, ainsi que ceux dispensés d'autorisation d'urbanisme mais devant être précédés d'une étude d'impact.

La loi rappelle que l'archéologie préventive relève de missions de service public, et fixe les prérogatives de l'État : prescripteurs des opérations archéologiques, ses services désignent le responsable scientifique et assument le contrôle et l'évaluation scientifique des opérations. Ils dressent la carte archéologique nationale.

La loi a créé le 1^{er} février 2002 un établissement public national à caractère administratif, chargé de la recherche en archéologie préventive : l'Institut national de recherches archéologiques préventives (INRAP). Doté de droits exclusifs en la matière, cet établissement assure les diagnostics et fouilles préalables aux opérations d'aménagement. Pour la réalisation des opérations de terrain et des études, l'établissement public s'appuie notamment sur les services archéologiques des collectivités territoriales, ainsi que sur les établissements publics de recherche ou d'enseignement supérieur et sur les associations et autres structures de droit privé qualifiées.

Ce dispositif s'accompagne d'un double système de financement :

- d'une part, une redevance pour la réalisation de diagnostics par les personnes publiques ou privées projetant d'exécuter des travaux soumis à autorisation préalable en application du code de l'urbanisme ou donnant lieu à étude d'impact en application du code de l'environnement,
- d'autre part, un paiement direct par les aménageurs des fouilles prescrites sur l'emprise des travaux qu'ils réalisent.

L'article 79 de la Loi de finances rectificative 2017-II prévoit **d'adapter les modalités de calcul et d'établissement de la redevance d'archéologie préventive (RAP) aux opérations d'aménagement réalisées en mer**. Cet article propose, d'une part, de modifier les règles actuelles de calcul de la RAP pour les opérations d'aménagement en haute mer et, d'autre part, d'instituer, pour ces mêmes opérations, un dispositif conventionnel susceptible de se substituer à la redevance d'archéologie préventive.

Les opérations d'archéologie préventive sont prescrites, le cas échéant, par le préfet de région et leur mise en œuvre est assurée par l'INRAP ainsi que par les services archéologiques des collectivités locales ou d'autres organismes agréés.

La mise en place d'un processus progressif permet de convenir, à des moments définis, d'options claires et de prévoir le plus tôt possible les dispositions nécessaires à la bonne mise en œuvre du dispositif d'archéologie préventive.

Les questions d'archéologie doivent être, à chaque étape du projet, traitées avec le degré de finesse adapté à leur échelle⁶⁸.

Tableau 42 : Rappel de l'intégration de l'archéologie dans les différentes phases d'un projet

Concertation	
<i>Phases du projet</i>	<i>Prise en compte de l'archéologie</i>
Planification	<ul style="list-style-type: none"> • Evitement des grands sites connus.
Etudes Préliminaires	<ul style="list-style-type: none"> • Recensement des sites et indices de sites archéologiques connus.
Premières études sur le projet	<ul style="list-style-type: none"> • Délimitation des secteurs de sensibilité archéologique et des sites à éviter. • Méthode : documents existants. • sondages complémentaires facultatifs. • Point de consultation obligatoire de la DRAC.
Etudes d'avant-projet	<ul style="list-style-type: none"> • Recensement, localisation et hiérarchisation des contraintes archéologiques.
Elles précisent la conception et la justification des opérations définies à l'étude préliminaire.	<ul style="list-style-type: none"> • Identification des secteurs sensibles dans les périmètres de l'opération de dragage (sites d'extraction, d'immersion et de rejet à terre). • Méthodes : documents existants, sondages complémentaires facultatifs. • Point de consultation obligatoire de la DRAC.

⁶⁸ Sources : Circulaire n° 2004/025 du 24 novembre 2004 relative à la concertation entre services aménageurs et services régionaux de l'archéologie et à la perception de la redevance au titre de la réalisation d'infrastructures linéaires de transports.

Instruction jointe à la Circulaire n° 2004/025 du 24 novembre 2004 relative à la concertation entre services aménageurs et services régionaux de l'archéologie et à la perception de la redevance au titre de la réalisation d'infrastructures linéaires de transports.

7. Les BPE dans l'exécution de travaux de dragage

Dossier public.	d'enquête Evaluation	Prise en compte des éléments ci-dessus pour la partie archéologie du volet patrimoine.
environnementale		

Archéologie préventive	
<i>Phases du projet</i>	<i>Prise en compte de l'archéologie</i>
Concertation interadministrative	<ul style="list-style-type: none"> • Vérification de la conformité des éléments du dossier proposé par le maître d'ouvrage avec les éléments actés lors de la phase de coopération.
Mise au point du projet	<ul style="list-style-type: none"> • Saisine du préfet de région au titre de l'archéologie.
Saisine du préfet	<ul style="list-style-type: none"> • Prescription du diagnostic par le préfet de région. • Prescription des fouilles par le préfet de région. • Cahier des charges de la consultation et choix du prestataire en concertation DRAC / maître d'ouvrage.
Phase chantier	<ul style="list-style-type: none"> • Concertation et mesures conservatoires en cas de découvertes imprévues. • Information à la fin des travaux.



8. Les BPE dans le suivi environnemental des travaux de dragage

8.1 Définition et objectifs des suivis environnementaux

Le suivi environnemental des opérations de dragage et d'immersion constitue une démarche à caractère analytique et scientifique qui sert à mesurer les impacts de l'opération sur l'environnement.

Sa conception intervient à la suite de l'évaluation environnementale, lorsque les impacts prévisionnels du projet ont été définis et que les enjeux environnementaux ont été hiérarchisés au regard de la sensibilité des milieux et de la mise en perspective spatiale et temporelle des interactions du projet avec ces milieux.

8.1.1 Champ d'application

Le champ d'application des suivis comprend :

- **les études préalables** aux travaux de dragage et d'immersion permettant de définir un état de référence de l'environnement,
- **les suivis en temps réel** des travaux de dragage et d'immersion,
- **les suivis post-travaux** pour évaluer les impacts à moyen ou long terme des opérations de dragage.

8.1.2 Objectifs

L'objectif majeur des suivis environnementaux est la préservation de l'environnement grâce aux :

- suivis en temps réel permettant une adaptation directe du projet par la mise en œuvre d'actions correctives,
- suivis à moyen et long terme visant une amélioration itérative des projets par retour d'expérience.

Les objectifs des suivis s'inscrivent ainsi dans plusieurs logiques complémentaires :

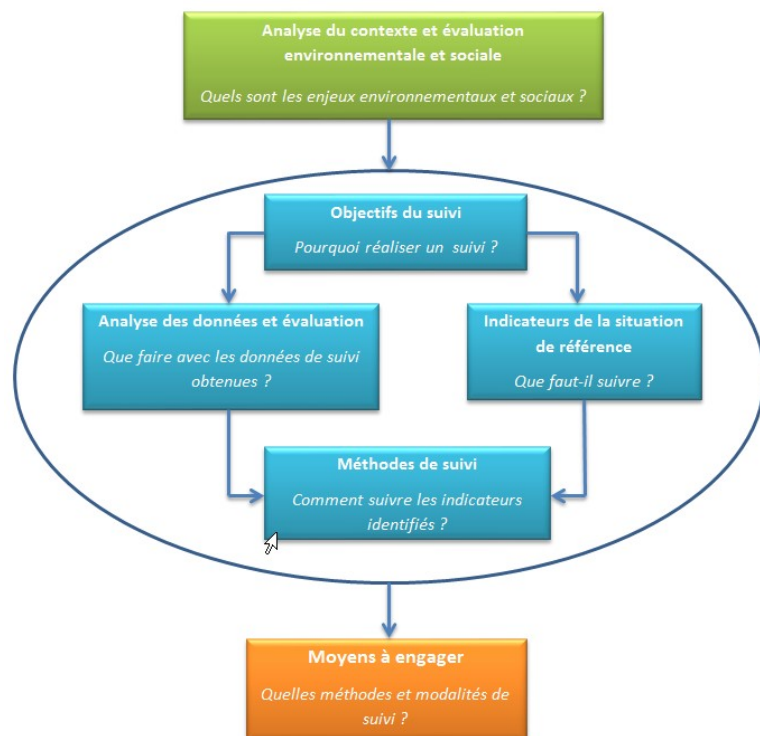
- contrôler la qualité environnementale du projet en vérifiant que les incidences temporaires et permanentes, directes et indirectes du projet sont conformes avec les prévisions de l'étude d'impact, du document d'incidences sur l'eau et du dossier d'incidences Natura 2000,
- vérifier l'efficacité des mesures réductrices mises en œuvre,
- recadrer les mesures réductrices dans le cas où elles seraient inadaptées aux incidences constatées,
- tirer des enseignements pour les opérations de dragage et d'immersion qui seront entreprises à l'avenir, notamment en améliorant la conduite du chantier ou les modalités d'extraction et d'immersion,
- exploiter les données de terrain pour améliorer les méthodes de suivi,
- alimenter les instances de concertation avec des données objectives.

8.2 Principes méthodologiques

Une démarche méthodologique en sept étapes, est proposée dans un guide spécifique de GEODE auquel le lecteur se reportera. Un résumé de la démarche méthodologique est donné ci-après.

GEODE. Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion. Guide méthodologique. Décembre 2012.

Figure 85 : Etapes méthodologiques pour la conception d'un programme de suivi



8.2.1 Etape n° 1 : Analyse du contexte et évaluation environnementale

Cette étape constitue la base de l'élaboration du système de suivi. Il s'agit d'analyser le contexte technique du projet au regard du profil environnemental des sites de dragage et d'immersion et des zones alentours susceptibles d'être influencées indirectement par les opérations. L'objectif est d'établir une analyse pertinente des principales problématiques de causes à effets entre le projet et l'environnement. La démarche d'évaluation environnementale constitue un outil adapté pour cette première phase d'analyse.

8.2.2 Etape n° 2 : Définir les objectifs de suivi

Cette étape conduit à définir les objectifs de suivi sur la base de l'évaluation environnementale et des principaux enjeux qu'elle fait ressortir.

La conception d'un programme de suivi pertinent doit ainsi se baser sur l'identification des besoins de contrôle et de surveillance au regard des principaux impacts attendus, de manière à répondre aux questions structurantes des étapes suivantes :

- De quelles sortes d'informations a-t-on besoin pour chacun des suivis envisagés ?
- A quelle fréquence et sur quelle durée ces informations sont-elles nécessaires ?
- Dispose-t-on des connaissances et d'une expertise technique et scientifique suffisante pour la réalisation des suivis envisagés et une interprétation pertinente des résultats ?

8.2.3 Etape n° 3 : Détermination des indicateurs et de la situation de référence

Dans le cadre d'un suivi d'évaluation environnementale, les indicateurs sont utilisés pour mesurer l'état de référence d'un compartiment et pour évaluer les changements et les tendances relatifs à ce compartiment, en comparant les valeurs de l'indicateur à différents instants en tenant compte de la variabilité naturelle, de valeurs de référence, etc. La détermination d'indicateurs répond à la question : que faut-il suivre ?

8.2.4 Etape n° 4 : Définition des méthodes de suivi

L'objectif principal de cette étape est la définition des stratégies de collecte de l'information, notamment de la mise au point des protocoles de suivi.

L'annexe technique n° 4 « Méthodes de suivi » du guide GEODE relatif aux suivis environnementaux propose, à ce titre, plusieurs **fiches techniques** décrivant des éléments de protocoles pour le suivi des principaux compartiments environnementaux susceptibles d'être impactés par les opérations de dragage et d'immersion.

Chaque fiche fait état des paramètres à mesurer et des méthodes d'acquisition (stratégie d'échantillonnage, outils, fréquence, etc). Les méthodes proposées reflètent l'état des pratiques actuelles et intègrent des préconisations issues des principaux retours d'expérience disponibles.

8.2.5 Etape n° 5 : Analyse des données et évaluation

Cette étape a pour objectif d'analyser les données récoltées lors des campagnes de suivi, d'établir les conclusions associées, d'intégrer ces résultats et le retour d'expérience dans le processus global de suivi

(amélioration itérative), et enfin de communiquer les conclusions aux différentes parties prenantes.

Les fiches techniques évoquées ci-avant fournissent des éléments de méthodes pour l'analyse des données et l'interprétation des résultats. Cette étape soulève en effet des questions qui doivent être intégrées en amont dès la définition du programme de suivi (étape n° 2) et du choix des indicateurs (étape n° 3) :

- Quelle est la précision des données récoltées et peut-on apporter des conclusions pertinentes au regard des marges d'erreur ?
- Quelle est l'échelle d'impact à laquelle on va pouvoir conclure : cellule, individu, stock, population ?
- Quelle est l'impact imputable au projet au regard des fluctuations ambiantes ou d'autres pressions ponctuelles ?
- Les connaissances scientifiques actuelles et l'expertise dont on dispose permettent-elles de conclure sur l'impact relatif ou réel ?

L'analyse des données doit en effet reposer sur une bonne connaissance des processus physiques et biologiques du milieu et des différents liens de causes à effets entre les différents compartiments du milieu.

L'analyse des données doit également permettre de conclure sur l'efficacité et l'efficience du système de suivi. Elle permet de confirmer ou d'infirmer le bien fondé des plans d'échantillonnage et des mesures proposées dans le programme initial. Le choix des indicateurs relève d'un processus itératif et intégrateur, et les retours d'expériences devront être intégrés pour améliorer les protocoles, la qualité et la pertinence des données récoltées.

8.2.6 Etape n° 6 : Evaluation du dispositif d'ensemble

La stratégie globale de suivi doit répondre à une progression logique de façon à en optimiser l'efficacité et les coûts. Une fois les opportunités de suivi identifiées et les objectifs bien établis, il convient de s'interroger sur la pertinence du dispositif d'ensemble et sur les possibilités éventuelles de hiérarchisation, harmonisation, intégration et synergie entre les critères de suivis retenus.

8.2.7 Etape n° 7 : Définition des moyens à engager

Cette étape vise à déterminer les moyens humains et financiers pour exécuter le programme envisagé. Rappelons que le budget nécessaire à l'engagement du suivi est à la charge exclusive du maître d'ouvrage ou du pétitionnaire.

La qualité des résultats obtenus par les investigations de suivi repose en grande partie sur cette étape. Lorsque les objectifs, les indicateurs et les protocoles de suivi ont été validés par les instances de décision, le maître d'ouvrage ou le pétitionnaire doit s'assurer de :

- la maîtrise des protocoles par les bureaux d'études spécialisés dans les suivis de manière à garantir la qualité des résultats (plan assurance qualité),
- la réactivité optimale des intervenants sur le terrain (maître d'œuvre, entreprises chargées du dragage) dans les phases opérationnelles : adaptation à une situation imprévue, transmission d'indications de suivis en temps réel, adaptation des travaux en fonction des résultats du suivi, etc).

L'effort de suivi proportionné aux enjeux environnementaux et socio-économiques du projet.

Les suivis constituent un outil d'analyse des impacts des projets *a posteriori* et sont, à ce titre, également soumis au principe de proportionnalité, comme le souligne l'article R.122-13. II du code de l'environnement : « *Le dispositif de suivi est proportionné à la nature et aux dimensions du projet, à l'importance de ses incidences prévues sur l'environnement ou la santé humaine ainsi qu'à la sensibilité des milieux concernés* ».

Les programmes attachés aux suivis et bilans doivent donc être adaptés à l'importance du projet et de ses impacts sur l'environnement. Ils peuvent aller d'un programme simplifié pour les projets petits à moyens, sans incidence spécifique majeure, jusqu'à des dispositifs complets comportant des bilans couvrant le moyen terme pour des projets plus importants et/ou impliquant des enjeux environnementaux majeurs. Les conséquences à long terme de certains projets peuvent même être suivies dans le cadre d'un véritable observatoire de l'environnement faisant appel aux méthodes de la recherche appliquée.

8.3 Exemple de suivi environnemental des dragages d'entretien du GPMH⁶⁹

Dans le cadre de ses dragages d'entretien, le Grand Port Maritime du Havre (GPMH) réalise des suivis environnementaux de son site d'immersion qui portent notamment sur la bathymétrie, les peuplements benthiques et l'ichtyologie.

Fort du retour d'expérience issu des résultats de plus de dix années de suivis et dans un contexte de standardisation des protocoles à l'échelle de la Baie de Seine entre les différents maîtres d'ouvrage (autres sites d'immersion, extraction de granulats marins, éoliennes en mer...) afin de permettre une comparaison des résultats et leur mise en perspective, le GPMH a proposé, dans le cadre du renouvellement de son autorisation préfectorale en 2015, d'adapter le protocole de ces trois suivis. Cette évolution, qui s'intègre parfaitement dans la démarche de bonnes pratiques environnementales et soutenue par les services de l'Etat en charge de la Police de l'Eau, est présentée ci-dessous.

8.3.1 Benthos

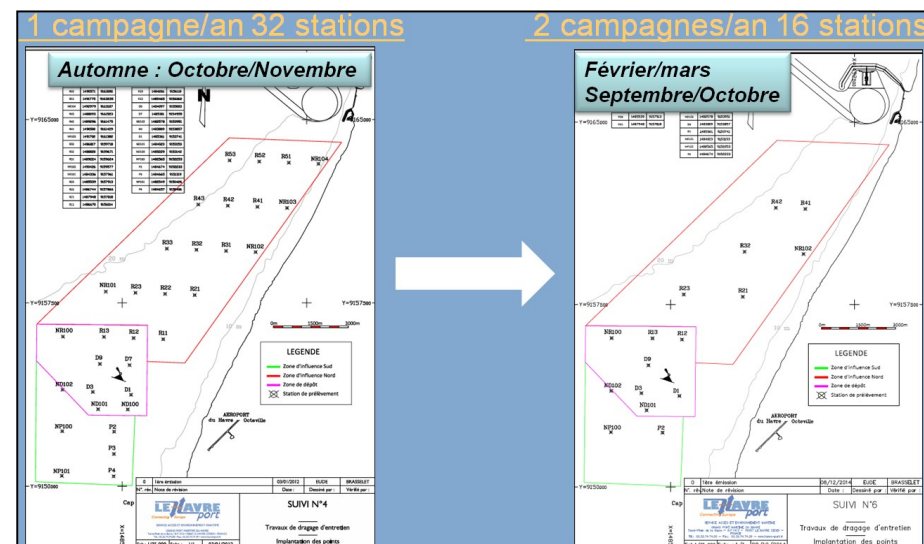
Le protocole de suivi appliqué par le GPMH dans le cadre du suivi de l'impact des immersions sur le site d'immersion d'Octeville se base sur la méthodologie appliquée lors de l'état de référence par le GEMEL en 1998 (et inchangée depuis lors).

Ce protocole identique au fil des campagnes (32 stations à 3 réplicats par station avec une benne Smith Mac Intyre de 0,1 m² couplée à un tamis de 1 mm) a ainsi permis une comparaison interannuelle et donc une approche de l'évolution de la couverture sédimentaire et des communautés

benthiques associées depuis 12 ans sur le site d'immersion d'Octeville dans le contexte des dépôts liés aux dragages d'entretien et travaux neufs de Port 2000 du Grand Port Maritime du Havre.

Pour appréhender les évolutions saisonnières des peuplements, une nouvelle saison d'échantillonnage, à savoir le printemps, a été intégrée. A effort de suivi constant, 16 stations ont donc été sélectionnées pour leur intérêt majeur au vu des résultats historiques afin de les échantillonner au printemps et à l'automne (Figure 86) remplaçant ainsi les 32 stations initialement échantillonnées une fois par an à l'automne, mais tout en conservant la comparaison interannuelle avec les premières années de suivi.

Figure 86 : Illustration de l'évolution du protocole de suivi des peuplements benthiques du GPMH sur son site d'immersion et ses zones d'influence



⁶⁹ Rédaction : S. Brasselet, GPMH

8.3.2 Ichtyologie

Le suivi ichtyologique aux abords du site de dépôt de dragages du GPMH, au large d'Octeville-sur-Mer, a été initié en 2001, en concertation avec les représentants des pêcheurs locaux, dans le cadre de l'extension du port du Havre (Port 2000) et des mesures environnementales qui lui sont associées. Les objectifs étaient d'établir un état de référence avant le début des travaux de Port 2000 (période 2001-2002), puis de réaliser le suivi de l'impact des immersions durant les périodes de travaux de la première phase (2003-2006) et de la deuxième phase (2009-2010) ainsi que les travaux de dragage d'entretien. Il s'agissait également de confronter les données halieutiques aux données environnementales et liées aux immersions, afin de mettre en évidence d'éventuelles relations entre l'évolution de la faune marine et la nature et l'intensité des immersions.

Depuis 2001, deux campagnes annuelles sont réalisées en fin de printemps / début d'été et en automne, au moyen de deux techniques de pêche professionnelle : le chalut de fond (marée de nuit) qui focalise l'efficacité de pêche sur les espèces benthiques et le chalut semi-pélagique (marée de jour) qui capture mieux les espèces démersales⁷⁰ et pélagiques⁷¹. Onze traits de chalut, répartis entre le cap de La Hève et le port d'Antifer, sont systématiquement prospectés. Ces deux engins de pêche étaient mis en œuvre afin de fournir une image aussi fidèle que possible, des espèces qui fréquentent le site.

A l'issue de dix années de suivis selon cette méthodologie, il ressort clairement que le chalut de fond est l'engin le plus pertinent pour rendre compte de l'évolution des assemblages d'espèces benthiques, en lien plus

étroit avec le substrat. Bien que le chalut semi-pélagique fournisse un signal complémentaire sur l'évolution des assemblages d'espèces de poissons, en étant plus représentatif de ceux qui ont un comportement pélagique et démersal, il semble que cette technique vise davantage à suivre l'évolution de la masse d'eau dans un contexte plus large que le strict suivi d'impact des immersions (suivi de type DCE...), avec notamment l'étude, par exemple, de la variabilité de l'influence du panache de l'estuaire de la Seine. De plus, la préoccupation majeure dans le cadre des activités de dragage / immersion est l'impact de ces activités sur le fond. En conséquence, il semble pertinent de privilégier des engins de pêche adaptés à la capture des poissons benthiques (chalut de fond à panneaux en mer) en lien plus étroit avec le substrat.

Par ailleurs, les suivis scientifiques d'activités en mer qui prennent en compte les impacts sur la ressource ichtyologique (dépôts de dragages, extractions de granulats, implantations de parcs d'éoliennes offshore...) se sont multipliés depuis une dizaine d'années. Parallèlement, des protocoles de suivi standardisés se sont mis en place et des recommandations voient peu à peu le jour pour inciter aux bonnes pratiques de suivi tout autant qu'à leur adéquation avec les problématiques environnementales. Sans être exhaustif, on peut s'appuyer sur quelques exemples en Manche orientale ayant trait à la réalisation d'états initiaux (parcs éoliens) ou des suivis expérimentaux (extractions de granulats, dépôts de dragages).

On remarque une tendance qui se généralise à la réalisation non pas de seulement deux campagnes annuelles, mais de quatre, qui intègrent mieux les déplacements saisonniers des espèces. C'est le cas par exemple pour :

- le suivi du site d'extraction expérimental (GIE GMN),
- l'état initial du site d'extraction « Granulats Marins Havrais »,

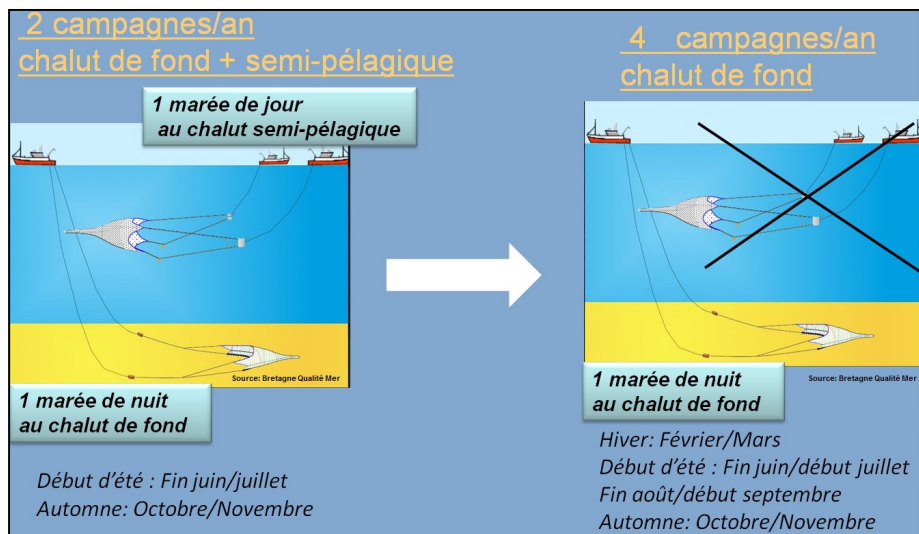
⁷⁰ Vivant près du fond

⁷¹ Vivant en pleine eau

- l'établissement des états initiaux des parcs éoliens au large de Courseulles et de Fécamp,
- le suivi du dépôt de dragages du Kannik (GPMR) et du site de dépôts « MACHU » (GPMR).

Fort de ces observations et de ces retours d'expérience, le GPMH a donc proposé depuis 2015, de reporter l'effort de suivi des deux saisons du chalut semi pélagique sur un suivi au chalut de fond sur quatre saisons. L'adaptation proposée de la méthodologie, illustrée sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** a également permis de conserver intégralement l'historique du suivi.

Figure 87 : Illustration de l'évolution du protocole de suivi ichthyologique du GPMH sur son site d'immersion et ses zones d'influence



8.3.3 Bathymétrie

Un suivi bathymétrique est réalisé annuellement au sondeur multifaisceaux en suivant des profils bien définis sur le site d'immersion d'Octeville-sur-mer et ses zones d'influence. Des états annuels sont réalisés et comparés aux états antérieurs afin d'apprécier l'évolution morphologique des fonds et de les mettre en perspective avec les activités d'immersion.

Les résultats de ce suivi mettent en évidence quelques secteurs présentant des évolutions sédimentaires très importantes (de l'ordre de 1 à 2 m/an) dans des zones en marge de celles utilisées pour l'immersion des produits de dragage. Ces évolutions relevées sur les différentiels bathymétriques, alternativement en accrétion ou en érosion d'une année sur l'autre, proviennent de difficultés d'interpolation des données entre des profils de sondage sur des reliefs très marqués (illustrés sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Pour s'affranchir de ce problème, le GPMH a proposé, à partir de 2015, de densifier les profils de sondage au droit de ces secteurs au relief très marqué tels que présentés sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** pour la zone de dépôt (secteurs où ce type de difficultés a été rencontré).

Ceci permet d'améliorer sensiblement la qualité des rendus tout en fiabilisant les calculs issus des différentiels bathymétriques sur les années récentes. Il faut toutefois noter que cet artefact ne pourra être évité sur les plans différentiels conçus à partir de l'année de référence 2004 pour le suivi long-terme du fait de la méthode de sondage opérée cette année-là.

Figure 88 : Exemple de problèmes cartographiques rencontrés suite à l'interpolation entre des profils de sondage sur des reliefs marqués en zone d'influence sud

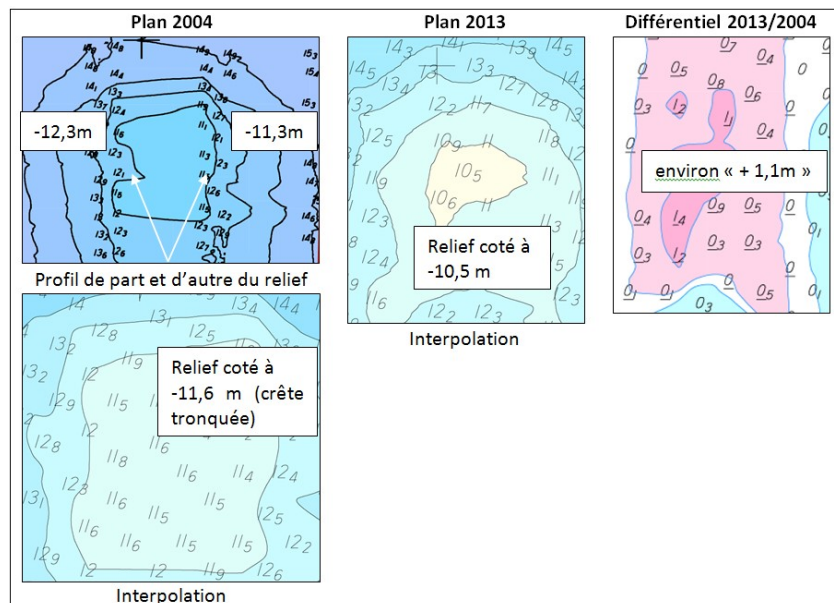
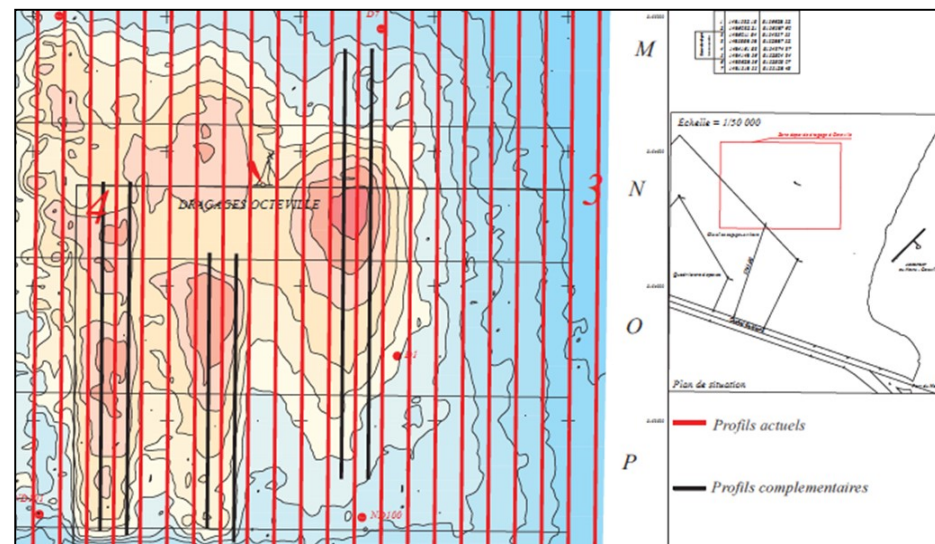


Figure 89 : Exemple de profils intercalaires supplémentaires sur les reliefs





Le suivi environnemental des opérations de dragage et d'immersion constitue une démarche à caractère analytique et scientifique qui sert à mesurer, à moyen et long terme, les impacts de l'opération sur l'environnement.

Un suivi établi sur mesure

La prescription de programmes de suivis standardisés n'est pas pertinente au regard de la diversité des configurations rencontrées. Chaque projet s'inscrit en effet dans un cadre environnemental et technique unique et doit, à ce titre, bénéficier d'un suivi adapté à ses caractéristiques spécifiques.

Un suivi efficace et pertinent

Pour chaque enjeu majeur identifié, le suivi environnemental doit permettre de répondre à la question « Quel est l'impact du projet par rapport à l'enjeu considéré ? ». La conception d'un programme de suivi fait ainsi appel à une réflexion approfondie sur :

- les objectifs de surveillance qui découlent de l'évaluation environnementale,
- les indicateurs à suivre,
- les méthodes d'investigations existantes et leurs limites,
- et la capacité à interpréter les résultats de ces investigations au regard des objectifs de surveillance définis au départ.

Un suivi proportionné aux enjeux

A l'image de l'évaluation environnementale, le suivi doit être proportionné aux enjeux du projet. Il s'agit de baser l'effort d'investigation sur une appréciation objective des interactions du projet avec son environnement en tenant compte des retours d'expérience existants et des adaptations opérationnelles à engager compte tenu des résultats de ces investigations.

Un suivi adaptable et évolutif

Un suivi environnemental bénéficie en permanence des retours d'expérience du suivi lui-même, de suivis de projets similaires, voire d'avancées scientifiques et techniques acquises par ailleurs. Souvent établi pour plusieurs années, notamment dans le cas d'opérations d'entretien, il est important que ce suivi puisse évoluer en retour de ces expériences pour conserver et améliorer sa pertinence et son efficacité.

9. Sélection de références bibliographiques

Les références thématiques citées proviennent essentiellement de la littérature scientifique anglo-saxonne. Elles sont classées par domaines :

- **Techniques / Technologies.**
- **Dragage et Turbidité.**
- **Ecrans anti-turbidité.**
- **Gestion environnementale des opérations de dragage.**
- **Biodiversité marine.**
- **Bruit.**
- **Air.**
- **Evaluation environnementale : Guides méthodologiques.**

Le lecteur complètera cette bibliographie avec les études, rapports, publications et notes cités en bas de pages, dans le corps du texte.

Techniques / Technologies

Bray, R, N. (2008). Environmental Aspects of Dredging. The Netherlands.

Engelen K., K.M. Read and T. Yzewyn, 2015. A Different Kind Of Environmental Impact Assessment : Assessing The Impact Of Compliance With Environmental Obligations. Proceedings from "CEDA Dredging Days 2015: Innovative dredging solutions for ports, Rotterdam, the Netherlands".

Environmental Dredging and Remediation. TenCate Geotube®. Case Studies, 2013.

IADC. Facts About. Pour information, une mise à jour de l'IADC. Dragues stationnaires à désagréateur, 2016.

IADC. Facts About. Pour information, une mise à jour de l'IADC. Pontons Dippers.

IADC. Facts About. Une mise à jour des informations de l'IADC. Drague aspiratrice en marche, 2014.

IADC. Facts About. An Information Update from the IADC. Environmental Equipment. 2014.

Lamb C., J. Elliott and E. Bakkom. Dredging Works Precision Methods For Dredging Contaminated Sediment. Maul Foster Along.

Mol A.C.S., T. De Wachter and M. Huygens, 2015. Ecoplume: Operational Proactive Environmental Management of Dredging. Proceedings from CEDA Dredging Days 2015: Innovative dredging solutions for ports, Rotterdam, the Netherlands".

Mourik R. and J. Osnabrugge. Applications of Artificial Intelligence on the Dredge Controls of a Hopper Dredger. Proceedings of WEDA XXXIV Technical Conference & TAMU 45 Dredging Seminar.

Review of Existing and Emerging Environmentally Friendly Offshore Dredging Technologies. Prepared by MMS For US Department of The Interior Minerals Management Service. November 2004.

Rostmark S. Dredging – Emerging technologies : Dredging and dewatering. LTU/Geotechnology / 23/24th May 2012, Uppsala / Sweden.

Tenwolde D. and M.O. Winkelman. Environmental Dredging Equipment. Banff, Canada. October, 2008.

WEDA. Environmental Dredging dioxins with precision. Maul Foster Along, 2015.

Dragage et Turbidité

CEDA. Environmental control on dredging projects. Lessons learned from 15 years of turbidity monitoring. A CEDA Information paper - June 2011.

Clarke D. and D. Wilber. Compliance Monitoring of Dredging-Induced Turbidity : Defective Designs And Potential Solutions.

Francingues, N.R. and D.W. Thompson. Control of resuspended sediments in Dredging projects.

IADC. Facts About, 2015. An Information Update from the IADC. Turbidity and Dredging.

IADC. Facts About, 2017. Une mise à jour des informations de l'IADC - Numéro 2 – 2007. Informations sur la turbidité.

Lisi I., M. Di Risio, P. De Girolamo and M. Gabellini. Applied Studies of Coastal and Marine Environments, Chapter 3. Engineering Tools for the Estimation of Dredging-Induced Sediment Resuspension and Coastal Environmental Management.

9. Sélection de références bibliographiques

Literature Review of Effects of Resuspended Sediments due to Dredging Operations. Prepared for Los Angeles Contaminated Sediments Task Force, Los Angeles, California. Prepared by Anchor Environmental. June 2003.

Pennekamp Joh.G.S., R.J.C. Epskamp, W.F. Rosenbrand, A. Mullié, G.L. Wessel, T. Arts, and I.K. Deibel. Turbidity Caused by Dredging. Viewed in Perspective. *Terra et aqua*, number 64, September 1996.

Thabard M., Impact-Mer, 2013. Définition de seuils travaux pour les opérations de dragage et de clapage. Guadeloupe Port Caraïbes.

Van Maren B. and T. Van Kessel. Long-Term Effects of Maintenance Dredging on Turbidity. *Terra et Aqua*. Number 145, December 2016.

Ecrans anti-turbidité

ALTRA, SETEC In VIVO, ENSTA Bretagne. Atténuation du bruit sous-marin par rideaux de bulles. Mai 2016.

BOSKALIS, 2012. Capability sheet. Environmental mitigation measures. Air bubble screen.

Cutroneo L., F. van der Goot, A. Roels, M. Castellano, M. Radermacher, S. Tucci, P. Povero, G. Canepa and M. Capello. A check on the efficiency of an air-bubble screen using acoustic measurements and an artificial tracer. *J. Soils Sediments*. May 2014.

Francingues, N. R., and Palermo, M. R. (2005). "Silt curtains as a dredging project management practice," DOER Technical Notes Collection (ERDC TN-DOER-E21). U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. <http://el.erdrc.usace.army.mil/dots/doer/doer.html>.

Harney M. D. and R. D. Holtz. Case History : Failure of A Geotextile Turbidity Curtain. University of Washington, Seattle, WA USA.

Ogilvie J.-C, D. Middlemiss, M.W. Lee, N. Crossouard and N. Feates. Silt curtains - a review of their role in dredging projects. Published in the proceedings of CEDA Dredging Days 2012, 12-13 December, Abu Dhabi, United Arab Emirates.

Radermacher, M. Effectiveness of Silt Screens. Final Report. MSc-thesis. Delft University of Technology, Svasek Hydraulics and Boskalis. January 2013.

Radermacher, M., F. Van Der Goot, D.C. Rijks and L. De Witm. *Terra et Aqua*, Number 132, September 2013.

Wu, Y.S., E. Neo, M. Jain and C.A. Can. Effectiveness of silt screen in front of industrial water intake. WODCON XXI Proceedings.

Gestion environnementale des opérations de dragages

Best Practice Environmental Management Guidelines For Dredging. Australia, Environment Protection Authority, October 2001.

CEDA Information Paper. Environmental Monitoring Procedures. April 2015.

CEDA Position Paper. Integrating Adaptive Environmental Management Into Dredging Projects. March 2015.

CEDA. 2015. Information paper : Environmental Monitoring Procedures.

Clarke D. Best Management Practices Applied to Dredging Projects for Environmental Protection. Engineer Research and Development Center. Environmental Laboratory.

Cohen M. and R. Kolman. How Clear Communications Benefit Dredging. *Terra et Aqua*, Number 143, June 2016.

Conférence régionale de la mer et du littoral. Pour une vision partagée des opérations de dragage portuaire en Bretagne. Groupe de travail « Dragages portuaires ». Mars 2017.

DEME, 2016. Real-Time Water Quality Monitoring.

DEME, 2016. Integrated, Sustainable Project Development – beyond the green design.

Dickerson, D. D., Reine, K. J., and Clarke, D. G. (1998). Economic impacts of environmental windows associated with dredging operations, DOER Technical Notes Collection (TN DOER-E3), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. www.wes.army.mil/el/dots/doer

Environmental Code of Practice for Dredging and Dredged Material Management. Ports Australia. August 2016.

Good practice guide. Sustainable management of dredged material from inland Waterways. Association of Inland Navigation Authorities. May 2013.

Hales L., 2000. Scientific foundation for determining environmental windows. Dredging Research, information from US Army Engineer Research and Development center.

IADC. Facts About Environmental Monitoring. An Information Update from the IADC – Number 2 – 2010.

IADC. Facts About. An Information Update from the IADC. Building with Nature. 2017.

IADC. Facts About. Dredging Around Coral Reefs. An Information Update from the IADC – Number 1 – 2011.

IADC. Facts About. Dredging Management Practices for the Environment. An Information Update from the IADC – Number 2 – 2009.

IADC. Facts About. Selecting a Destination for Dredged Material. An Information Update from the IADC – Number 1 – 2012.

IADC. Le dragage : les faits, 2005.

Kolman, R. Green Dredging, IADC, June 2014.

MacKay, A. Capital Dredging at Pacific Coast Terminals : Planning For Sustainability. Envirochem Services Inc. Green Marine 2013 Annual Conference.

Marine aggregate dredging and the coastline : a guidance note. Best practice guidance for assessment, evaluation and monitoring of the possible effects of marine aggregate extraction on the coast – a Coastal Impact Study. December 2013. The Crown Estate and British Marine Aggregate Producers Association.

Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer. Élaboration de schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragage et des filières de gestion des sédiments. DGITM/DST/PTF. Juin 2016.

Moulaert I. and W. Schiettecatte. Dredging in New Caledonia at a UNESCO - IUCN World Heritage Site with Care for Nature. *Terra et Aqua*, Number 126, March 2012.

PIANC. Dredging and Port Construction : Interactions with Features of Archaeological or Heritage Interest. Guidance Document n° 124 – 2014.

PIANC. Report n° 100-2009. Dredging Management Practices for the Environment. A structured Selection Approach.

Savioli J. C., M. Magalhaes, C. Pedersen, J Van Rijmenant, M. A. Oliver, C. J. Fen and C. Rocha. Dredging - How Can We Manage it to Minimise Impacts. Proceedings of the 7th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2013) Bali, Indonesia, September 24-26, 2013.

Biodiversité marine

Bas A., Jacob C., Hay J., Pioch S., Thorin S., 2016. Improving marine biodiversity offsetting : A proposed methodology for better assessing losses and gains. *Journal of Environmental Management* 175, 46–59.

Best Management Practices (BMPs) for Construction, Dredge and Fill and Other Activities Adjacent to Coral Reefs. Prepared by PBS & J for The Southeast Florida Coral Reef Initiative Maritime Industry and Coastal Construction Impacts Focus Team. February 2008.

Dickerson, D. and D. Pommer. An Update on Dredging Impacts on Sea Turtles in the Southeastern USA. A Historical Review of Protection and An Introduction to the USACE Sea Turtle Data Warehouse. U.S. Army Corps of Engineers.

Erftemeijer P. L.A. and R. Robin Lewis, 2006. Environmental impacts of dredging on sea grasses : A review. *Marine Pollution Bulletin* 52 :1553–1572.

Erftemeijer P.L.A., B. Riegl, B. Hoeksema. W.P.A. Todd, (2012). Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals : A review. *Marine Pollution Bulletin* 64 : 1735-1765.

Fish Behavior in Response to Dredging Material Placement Activities. Literature Review. Prepared by ECORP Consulting, Inc. for US Army Corps of Engineers. October 2009.

Jacob C., Pioch S., Thorin S., 2016. The effectiveness of the mitigation hierarchy in environmental impact studies on marine ecosystems : A case study in France. *Environ. Impact Assess.* Rev. 60, 83–98.

Jacob C., Vaissière A-C., Bas A., Calvet C., 2016. Investigating the inclusion of ecosystem services in biodiversity offsetting. *Ecosystem Services*, 21, 92-102.

Kramer, A. and I. Kenny. Coral Relocation : A Mitigation Tool for Dredging and Reclamation Works at the Cruise Ship Terminal in Jamaica. *Terra et Aqua*, Number 128, September 2012.

Maltez, L. C., P.O. Mafalda Junior and S. Neumann-Leitão, 2014. Influence of oceanographic seasonality and dredging activities on the fish larvae assemblage in the Port of Aratu, Todos Os Santos Bay. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 18 (2): 1-10.

PIANC. Dredging and port construction around coral reefs. Report n° 108 – 2010.

Shafer, D., C. Maglio, K. McConnell, T. Beck, and C. Pollock. 2016. Characterizing seagrass exposure to light attenuation and turbidity associated with dredging activity in the Gulf Intracoastal Waterway, Sarasota Bay, Florida. ERDC TN-DOER-E39. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center. <http://chl.erdcl.usace.army.mil/chetn>

Smith A., Foster T., Corcoran E. and J. Monkivitch. Dredging and material relocation in sensitive coral environments.

Todd, V. L. G., Todd, I. B., Gardiner, J. C., Morrin, E. C. N., MacPherson, N. A., Di Marzio, N. A., and F. Thomsen. A review of impacts of marine dredging activities on marine mammals. *ICES Journal of Marine Science*. October 2014.

Valente, J. V., and R. A. Fischer. 2011. Reducing human disturbance to waterbird communities. *DOER Technical Notes Collection*. ERDC TN DOER-E29. Vicksburg, MS : U.S. Army Engineer Research and Development Center. <http://el.erdcl.usace.army.mil/dots/doer/doer.html>.

Bruit

ACCOBAMS. Methodological Guide : Guidance On Underwater Noise Mitigation Measures -OP5/2013/Doc 24. October 2013.

CEDA. Underwater sound in relation to dredging, CEDA position paper. *CEDA Dredging Days*. The Netherlands, 2011.

Heinis F., C. De Jong, M. Ainslie, W. Borst and T. Vellinga. Monitoring Programme for the Maasvlakte 2, Part III - The Effects of Underwater Sound. *Terra et Aqua*, Number 132, September 2013.

Jones D. and Marten K. Dredging Sound Levels, Numerical Modelling and EIA. *Terra et Aqua*. Number 144, September 2016.

Orion Marine Group. Noise Control Plan For Bayport Ship Channel Dredging Project. CSTI acoustics, December 2014.

Reine, K. J., and C. Dickerson, 2014. Characterization of underwater sound produced by a hydraulic cutter head dredge during navigation dredging in the Stockton Deep-Water Channel, California. *DOER Technical Notes Collection*. ERDC TN-DOER-E38. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center. www.wes.army.mil/el/dots/doer.

Reine, K. J., D. G. Clarke and C. Dickerson, 2012. Characterization of underwater sounds produced by backhoe dredge excavating rock and gravel. *DOER Technical*

Notes Collection (ERDC TN-DOER-E36). Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center. www.wes.army.mil/el/dots/doer

WODA. Technical Guidance on Underwater Sound in Relation to Dredging. June 2013.

Air

Anderson, M. J. and Barkdoll B. Environmental Aspects of Dredging : What About Air Quality ? *World Environmental and Water Resources Congress* 2009 : Great Rivers © 2009 ASCE.

Anderson, M. J., Comparison of common dredging equipment air emissions. Master's Thesis, Michigan Technological University, 2008.

Conseil économique, social et environnemental. La politique européenne de transport maritime au regard des enjeux de développement durable et des engagements climat. Avis du CESE présenté par M. J. Beall, rapporteur au nom de la section des affaires européennes et internationales. Séance du 12 avril 2017.

De Cuyper J.-B., B. Ansoms and B. Verboomen. Smart, Sustainable : a Life Cycle Approach to Fuel Economy as Applied to Dredging Vessels. *Terra et Aqua*, Number 137, December 2014.

Gonçalves Castro B., S. Ooijens and L. W. Van Ingen. Approaching Emissions in Dredging. *Terra et Aqua*, Number 137, December 2014.

Stoeckenius, T. Streamlined development of improved air pollutant emissions estimates for beach nourishment and coastal restoration projects : the dredge project emissions calculator. Ramboll Environ.

9. Sélection de références bibliographiques

Evaluation environnementale : Guides méthodologiques

CETMEF. Guide de recommandations pour la gestion durable des déblais de dragage portuaires contaminés de type vaseux dans les ports maritimes français. In Vivo, mars 2008.

DREAL PACA. Guide-cadre EVAL-IMPACT. Impacts des projets d'activités et d'aménagements en milieu marin méditerranéen. Recommandations des services instructeurs.

- Fascicule 1. Mémento réglementaire,
- Fascicule 2. Etapes clés de l'évaluation environnementale et analyse des impacts sur les espèces et habitats marins,
- Fascicule 3. Mise en œuvre de la séquence « Éviter, Réduire et Compenser » : focus sur l'application de mesures compensatoires en mer,
- Fascicule 4. Suivi environnemental.

Version provisoire, décembre 2017.

DREAL Languedoc-Roussillon. Document de cadrage préalable des études d'impact relatives aux opérations côtières de protection du littoral sableux du Languedoc-Roussillon. Juillet 2011.

Fédération Française des Ports de Plaisance. Guide pour la gestion des opérations de dragage. In Vivo, décembre 2005.

GEODE. Bonnes pratiques pour la caractérisation des matériaux en vue d'une opération de dragage et d'immersion en milieu marin et estuarien Novembre 2016.

GEODE. Evaluation des risques sanitaires des opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin. Guide méthodologique : Volet A - Principes et objectifs de l'évaluation des risques sanitaires ; Volet B - Outils et Méthodes d'évaluation des risques sanitaires ; Volet C - Etudes de cas. Décembre 2015.

GEODE. Rédaction des études d'impact d'opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin Guide méthodologique + Annexes techniques (Effets et impacts ; Réglementation). Août 2014.

GEODE. Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion. Guide méthodologique. Décembre 2012.

GEODE. Evaluation des incidences des dragages des chenaux de navigation et des immersions sur l'état de conservation des sites Natura 2000. Mars 2008.

Ministère de la Transition Écologique et Solidaire. La séquence « éviter, réduire et compenser », un dispositif consolidé. *THEMA / Essentiel*. Mars 2017.

Ministère de la Transition Écologique et Solidaire. Mise en œuvre de la séquence « éviter-réduire-compenser » en mer. CGEDD - Rapport n° 010966-01 établi par C. Avezard, F. Marendet et É. Vindimian (coordonnateur). Octobre 2017.

Auteurs

**GEODE. Dragages et immersions en mer et en estuaire.
Revue des bonnes pratiques environnementales. Février 2018**

Rédacteur : Patrick Michel, Egis

Contributeurs et relecteurs : Antoine Delouis (GPMNSN), Didier Lehay (GPMNSN), Sébastien Brasselet (GPMH, Rédacteur du paragraphe 8.3.), Frédérique Bourdin (GPMH), Marion Besançon (MTES, DGALN/DEB/ELM3), Serge Robert (IFREMER), Xavier Dolbeau (Egis).

ANNEXES

Annexe 1 : Plan d'Action pour le Milieu marin de la sous-région marine Mers Celtiques – Extrait du programme de mesures : thème « Dragages et clapages »

Thème : Dragages et clapages

1. Objectifs opérationnels

- OO 33 : « Exercer les activités en mer dans des conditions durables, gérer les sédiments de dragage dans des conditions durables. »

2. Analyse de l'existant

Les activités de dragage et d'immersion de matériaux de dragage sont encadrées par différents textes réglementaires.

Les articles R214-1 à 6 du code de l'environnement soumettent les opérations de dragage à déclaration ou autorisation, rubrique 4.1.3.0 : « nomenclature des opérations soumises à déclaration ou à autorisation par le préfet ».

Le code du domaine de l'État et le code minier prennent également en compte les activités de dragage et de clapage en milieu marin dans leurs textes relatifs à la demande et à la délivrance de titres miniers et d'autorisations domaniales :

- les articles R58-1 à R58-7 du code du domaine de l'État relatifs aux extractions sur le domaine public maritime, des sables, pierres et autres matériaux constituant des amendements marins.
- le décret 80-470 du 1^{er} juin 1980 portant application de la loi n° 76-646 du 16 juillet 1976 relative à la prospection, à la recherche et à l'exploitation des substances minérales non visées à l'article 2 du code minier et contenues dans les fonds marins du domaine public métropolitain.

L'extraction de matériaux sur le domaine public maritime implique la délivrance d'une autorisation domaniale délivrée par le préfet et parallèlement, soit une autorisation de carrière, soit l'octroi d'un titre minier. Toutefois, la réglementation stipule que les petites exploitations terrestres de carrière prolongées en mer et les travaux maritimes conduits à des fins non commerciales pour les besoins de la gestion du domaine public maritime ou d'un chenal d'accès ne relèvent pas du code minier.

Gestion des sédiments de dragage

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 distingue deux possibilités de gestion du sédiment :

- la remise en suspension ou l'immersion de la majorité des sédiments dragués
- la gestion à terre des sédiments contaminés²³.

Les opérations de dragage et d'immersion de sédiments marins font l'objet d'autorisations préfectorales (Loi sur l'eau). Au regard des risques écologiques potentiels pour les écosystèmes côtiers, des lignes directrices nationales ont été édictées pour caractériser de façon satisfaisante

²³ Le degré de contamination des sédiments est fixé par l'arrêté du 9 août 2006, complété par les arrêtés des 23 décembre 2009, 8 février 2013 et 17 juillet 2014, qui déterminent plusieurs seuils qualitatifs portant sur les éléments traces métalliques, les polychlorobiphényles (PCB), les hydrocarbures (HAP) et le tributylétain (TBT) pour les cours d'eau d'une part et pour le milieu marin d'autre part.

la qualité des sédiments à draguer (protocole d'échantillonnage), et définir les conditions de rejet en mer.

En fonction des enjeux locaux, les préfets peuvent prescrire dans le cadre des autorisations préfectorales des mesures complémentaires de gestion des sédiments de dragage.

Schémas de gestion des dragages

Parmi les mesures non réglementaires, il est possible d'établir des schémas de gestion des matériaux de dragage à une échelle adaptée. Certains départements (Morbihan) ont ainsi réalisé des schémas départementaux de dragage. Ces schémas, approuvés par arrêté préfectoral, permettent aux acteurs locaux de développer une méthode de travail commune et une vision départementale partagée sur les opérations de dragages et sur le devenir de leur déblai. Ils visent à rechercher des points de convergence entre les différents acteurs concernés par l'activité (maîtres d'ouvrage, associations, professionnels) sur l'amélioration des processus techniques et administratifs en allant, s'il le faut, au-delà du strict respect des exigences réglementaires²⁴. Ces schémas ont pour vocation de formaliser les règles de bonnes pratiques des dragages et de la gestion des déblais dans un souci de qualité globale.

Dispositions et orientations du projet de SDAGE

Loire-Bretagne (projet de SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021 – version juin 2014) :

Le SDAGE Loire Bretagne 2016-2021 (version septembre 2014) aborde le domaine des dragages et clapages dans son orientation 10 B sur la limitation ou la suppression de certains rejets en mer et spécialement dans ses dispositions 10B 1 et 10B 2 sur l'élaboration de schémas directeurs, sur la recherche de solution alternative au rejet en mer par la réutilisation, le recyclage ou la valorisation des déblais de dragage.

Analyse de la suffisance :

La réglementation actuelle permet de prendre en compte la protection de l'environnement en évitant le rejet en mer de sédiments de dragage présentant un risque pour le milieu marin (dépôt d'un dossier loi sur l'eau). Cette réglementation est jugée bien appliquée et suffisante. Il reste cependant à développer des filières pérennes de gestion à terre des sédiments les plus contaminés.

Par ailleurs, chaque opération de dragage est jugée individuellement et il n'existe pas toujours de cadre commun à l'encadrement de ces activités. Les conditions de dragage (granulométrie et qualité des sédiments, techniques de dragage, volume dragué, conditions de traitement des sédiments par les ports – clapage, gestion à terre ...) ne sont connues qu'à l'échelle de chaque port, pour autant elles ne sont pas représentées à une échelle plus globale. Un bilan de l'activité est à faire pour chacun des ports de la sous-région marine, puis à une échelle plus large, à définir (données sources : enquêtes menées par le CEREMA pour le compte du ministère de l'écologie auprès des services de police de l'eau littorale (DDTM)).

²⁴ Schéma de référence des dragages du Morbihan.

Descripteur 6 – Intégrité des fonds et benthos préservée

3. Mesures existantes

Deux mesures existantes clés ont été définies pour ce thème (voir partie « [Annexes](#) » pour le détail des mesures individuelles) :

- GdG-MC_06_33_06 (Mes. exist.): « Plans départementaux de gestion des dragages et des sédiments, de leurs traitements et valorisations à terre. »
- GdG-MC_06_33_07 (Mes. exist.): « Pour les activités soumises à autorisation, évaluation de leurs impacts à l'aide de suivis afin d'affiner les conditions de gestion. »

4. Mesures nouvelles

Une mesure nouvelle a été définie pour ce thème :

- GdG-MC_06_33_03 (Mes. nouv. nationale) : « Favoriser la mise en œuvre de schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragage et des filières de gestion des sédiments, évolutifs et adaptés aux besoins locaux. »

- Description de la mesure :

La mesure a pour objectif la mise en place de schémas directeurs actualisés de gestion des dragages à l'échelle spatio-temporelle pertinente. Ils devront permettre d'anticiper les besoins des acteurs, et de leur proposer les outils adaptés à l'optimisation environnementale de la gestion des sédiments dragués.

Déclinaison de la mesure en actions :

- *Action a* : Produire une note de cadrage méthodologique à l'échelle nationale permettant de cibler les besoins et de définir les attentes des acteurs locaux relatives au contenu de tels schémas ;
- *Action b* : Soutenir et favoriser la mise en œuvre effective de tels documents, à l'échelle locale, en identifiant/désignant des maîtres d'ouvrage pour la déclinaison à l'échelle pertinente.

Annexe 2 : Synthèse des effets des dragages et rejets y afférents sur les compartiments de l'environnement marin et estuarien

(Source : GEODE. Rédaction des études d'impact d'opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin.
Guide méthodologique. Août 2014)

Evaluation des effets sur le compartiment physique

L'évaluation des effets directs sur le compartiment physique se fait le plus souvent par simple confrontation des connaissances terrain acquises lors de l'état initial aux prescriptions techniques du projet (prévision de l'abaissement des fonds sur la base de la connaissance de la profondeur des fonds et des objectifs de profondeur du projet par exemple). La prévision des évolutions à court et moyen terme de ces effets et l'évaluation des effets indirects liés aux perturbations hydrodynamiques et sédimentaires peut cependant faire appel à des outils plus complexes de calculs et de modélisations.

Tableau 43 : Synthèse, typologie critères et outils d'évaluation des effets sur le compartiment physique de l'environnement

Composante	Effet			
	Nature	Type	Exemples de critères d'évaluation / description	Exemples d'outils d'évaluation / description
Morpho-bathymétrie	Abaissement des fonds et modification de la topographie par prélèvement de matériaux (dragage)	Direct Long terme	Superficie, localisation Evolution morpho-bathymétrique	Calculs différentiels à partir de relevés initiaux <i>in situ</i> et des données techniques du projet
	Elévation des fonds et modification de la topographie par dépôt de matériaux (immersion)	Direct Moyen à Long terme	Superficie, localisation Evolution morpho-bathymétrique	Calculs différentiels à partir de relevés initiaux <i>in situ</i> et des données techniques du projet Opinion d'experts / Résultats de suivi Modélisation des dépôts
	Creusement ou engraissement des fonds ou des berges au sein ou en dehors du périmètre dragué par modification du régime hydro-sédimentaire.	Indirect Moyen à Long terme	Superficie, localisation Evolution morpho-bathymétrique	Opinion d'expert Résultats de suivis Modélisation hydro-sédimentaire
Nature des matériaux	Modification de la nature des matériaux constitutifs des fonds par mise à jour de matériaux différents.	Direct Moyen à Long terme	Superficie, localisation Evolution morpho-bathymétrique	Analyse des profils de matériaux en place (relevés <i>in situ</i>) et confrontation aux objectifs techniques d'approfondissement. Résultats de suivis / Opinion d'expert

Composante	Effet			
	Nature	Type	Exemples de critères d'évaluation / description	Exemples d'outils d'évaluation / description
	Modification de la nature des matériaux constitutifs des fonds par dépôt de matériaux différents	Direct Moyen à Long terme	Superficie, localisation Caractéristiques différentielles des matériaux	Analyse des matériaux en place (relevés <i>in situ</i>) et confrontation à une modélisation des dépôts (épaisseur, répartition, dispersivité) Résultats de suivis / Opinion d'expert
	Modification de la nature des matériaux constitutifs des fonds par sédimentation de matériaux remis en suspension	Indirect Moyen à Long terme	Superficie, localisation Caractéristiques différentielles des matériaux	Analyse des matériaux en place (relevés <i>in situ</i>) et modélisation de la dispersion des matériaux remis en suspension et de leur sédimentation. Résultats de suivis / Opinion d'expert
	Modification de la nature des matériaux constitutifs des fonds par modification du régime-hydrosédimentaire	Indirect Moyen à Long terme	Superficie, localisation Caractéristiques différentielles des matériaux	Résultats de suivi / Opinion d'expert Modélisation hydro-sédimentaire
Hydrodynamisme	Modification de l'agitation aux abords des périmètres dont la morpho-bathymétrie a été modifiée	Indirect Moyen à Long terme	Localisation Caractéristiques différentielles d'agitation (amplitude, fréquence)	Opinion d'experts Résultats de suivis Modélisation hydrodynamique
	Modification de la courantologie aux abords des périmètres dont la morpho-bathymétrie a été modifiée	Indirect Moyen à Long terme	Localisation Caractéristiques différentielles de courantologie (vitesse, direction).	Opinion d'experts Résultats de suivis Modélisation hydrodynamique
	Modification de l'hydraulique fluviale aux abords des périmètres dont la morpho-bathymétrie a été modifiée (cas des estuaires).	Indirect Moyen à Long terme	Localisation Caractéristiques différentielles des écoulements (vitesse, direction, hauteur).	Opinion d'experts Résultats de suivi Modélisation hydrodynamique

Composante	Effet			
	Nature	Type	Exemples de critères d'évaluation / description	Exemples d'outils d'évaluation / description
Bruit	Modification de l'ambiance sonore par émission de bruits depuis la zone de travaux	Direct Court terme	Etendue, localisation Caractéristiques différentielles du bruit (pression acoustique, fréquence, occurrence, etc.)	Opinion d'experts Calculs de propagation du bruit à partir des données techniques du projet, de retours d'expériences
	Modification de l'ambiance lumineuse par émission de lumière depuis la zone de travaux	Direct Court terme	Etendue, localisation Caractéristiques différentielles de luminosité (intensité, longueur d'onde, etc.)	Opinion d'experts Description à partir des données techniques de projet, de retours d'expériences
Lumière	Modification de la clarté de l'eau par remise en suspension de matériaux	Indirect Court terme	Etendue, localisation Caractéristiques différentielles de clarté de l'eau	Opinion d'experts Résultats de suivis Modélisation de la propagation des matériaux et évaluation des effets sur la transparence.

Evaluation des effets sur la qualité des milieux

La question de l'évolution de la qualité des milieux est centrale dans le sens où elle conditionne, lorsque les matériaux sont contaminés, l'amplitude et l'étendue des risques biochimiques liés à la dispersion des matériaux. Sur le site de dragage, la qualité des matériaux en contact avec la colonne d'eau et le biote peut être modifiée par mise à jour de couches différentes lors des prélèvements ou par diffusion de particules remises en suspension. Sur le site d'immersion, la qualité est modifiée par apport des nouveaux matériaux. La qualité des eaux, quant à elle, est modifiée par remise en suspension des matériaux et diffusion de leurs contaminants.

Tableau 44 : Synthèse, typologie critères et outils d'évaluation des effets sur la qualité des matériaux et des eaux

Composante	Effet			
	Nature	Type	Exemples de critères d'évaluation / description	Exemples d'outils d'évaluation / description
Qualité des matériaux	Modification de la qualité des matériaux par exposition de matériaux de qualité différente	Direct Moyen à Long terme	Superficie, localisation Caractéristiques différentielles de qualité	Analyse différentielle à partir de relevés initiaux <i>in situ</i> et des données techniques du projet
	Modification de la qualité des matériaux par dépôt de matériaux de qualité différente	Direct Moyen à Long terme	Superficie, localisation Caractéristiques différentielles de qualité	Opinions d'experts Résultats de suivi Modélisation hydro-sédimentaires
	Modification de la qualité des matériaux par sédimentation de matériaux de qualité différente	Indirect Moyen à Long terme	Superficie, localisation Caractéristiques différentielles de qualité	Opinions d'experts Résultats de suivi Approches par modélisations hydro-sédimentaires
Qualité des eaux	Modification de la qualité des eaux par remise en suspension de matériaux et de contaminants potentiellement associés	Direct Court à Moyen terme	Superficie, localisation Caractéristiques différentielles de qualité	Modélisation de la dispersion des contaminants matériaux dans la colonne d'eau Analyse différentielle avec la qualité des eaux avant dragage

Evaluation des effets sur le compartiment biologique

L'évaluation des effets sur le compartiment biologique est à la fois la plus critique et la plus complexe à mener. Les composantes biologiques du milieu sont exposées aux phénomènes mécaniques, physiques, chimiques et biologiques générés directement ou indirectement par le projet. La connaissance des caractéristiques des espèces, que ce soit en termes de répartition spatiale et temporelle sur la zone, ou en termes physiologiques, est nécessaire à cette évaluation. L'état initial, les retours d'expériences, et l'évaluation des effets clés sur le compartiment physique et sur la qualité des milieux, constituent les données d'entrée de l'exercice.

Tableau 45 : Synthèse, typologie critères et outils d'évaluation des effets sur le compartiment biologique

Composante	Effet			
	Nature	Type	Exemple de critères d'évaluation / description	Exemples d'outils d'évaluation / description
Benthos / Algues / Flore aquatique	Prélèvement du benthos / des algues / de la flore aquatique avec les matériaux lors des dragages	Direct Moyen à Long terme	Espèces / superficie / biomasse prélevées et localisation Taux de prélèvement par rapport aux communautés en place	Confrontation du périmètre de dragage à la connaissance de la répartition des biocénoses benthiques + calculs éventuels Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert)
	Recouvrement du benthos / des algues / de la flore aquatique par les dépôts de matériaux lors des immersions	Direct Moyen à Long terme	Espèces / superficie / biomasse recouvertes et localisation Taux de recouvrement par rapport aux communautés en place	Confrontation du périmètre d'immersion à la connaissance de la répartition des biocénoses benthiques + calculs éventuels Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert)
	Exposition du benthos / des algues / de la flore aquatique à la sédimentation des particules remises en suspension	Indirect Court à Long terme	Espèces / superficie / biomasse exposée et localisation Taux d'exposition par rapport aux communautés en place	Recours à un calcul ou une modélisation de dispersion des MES et / ou retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Confrontation du périmètre de dispersion des particules à la connaissance des biocénoses benthiques + calculs éventuels

Composante	Effet			
	Nature	Type	Exemple de critères d'évaluation / description	Exemples d'outils d'évaluation / description
	Exposition du benthos / des algues / de la flore aquatique à une modification des caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques du substrat	Indirect Moyen à Long terme	Espèces / superficie / biomasse exposées et localisation Taux d'exposition par rapport aux communautés en place Différence de valeur des paramètres modifiés vis-à-vis des valeurs de confort de l'espèce	Recours à un calcul ou une modélisation de l'empreinte sédimentaire des matériaux immergés et/ou remis en suspension Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Confrontation du périmètre de l'empreinte sédimentaire des opérations à la connaissance de la répartition des biocénoses benthiques + calculs éventuels
	Exposition du benthos / des algues / de la flore aquatique à une modification de la qualité des eaux	Indirect Court à Long terme	Espèces / superficie / biomasse exposées et localisation Taux d'exposition par rapport aux communautés en place Différence de valeur des paramètres modifiés vis-à-vis des valeurs de confort de l'espèce (transparence minimale de l'eau pour des organismes photosynthétiques par exemple)	Recours à un calcul ou une modélisation de dispersion des MES et / ou retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Confrontation du périmètre de dispersion des particules à la connaissance de la répartition des biocénoses benthiques + calculs éventuels
Plancton	Exposition du plancton à une modification de la qualité des eaux	Indirect Court à Moyen terme	Superficie exposée Mécanismes d'exposition	Opinions d'experts Bibliographie scientifique

Composante	Effet			
	Nature	Type	Exemple de critères d'évaluation / description	Exemples d'outils d'évaluation / description
Ichtyofaune	Prélèvement de l'ichtyofaune avec les matériaux lors des dragages	Direct Moyen à Long terme	Espèces / aire de répartition concernées Taux de prélèvement par rapport aux communautés en place	Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Confrontation du périmètre de dragage à la connaissance de la répartition des espèces concernées (temporelle et spatiale) + calculs éventuels
	Destruction de l'ichtyofaune par recouvrement d'individus par les matériaux lors des immersions	Direct Moyen à Long terme	Espèces / aire de répartition concernées Taux de recouvrement par rapport aux communautés en place	Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Confrontation du périmètre d'immersion à la connaissance de la répartition des espèces concernées (temporelle et spatiale) + calculs éventuels
	Exposition de l'ichtyofaune à des émissions sonores générées en phase travaux	Direct Court à Moyen terme	Espèces / aire de répartition concernées Taux d'exposition par rapport aux communautés en place Différence de valeur des paramètres modifiés vis-à-vis des valeurs de sensibilité de l'espèce (gamme d'audition, gamme de lésion, etc.)	Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Recours de calculs prédictifs de la dispersion et d'atténuation du bruit dans la colonne d'eau

Composante	Effet			
	Nature	Type	Exemple de critères d'évaluation / description	Exemples d'outils d'évaluation / description
	Exposition de l'ichtyofaune à une modification de la qualité physique, chimique ou biologique du substrat	Indirect Moyen à long terme	Espèces / aire de répartition concernées Taux d'exposition par rapport aux communautés en place Différence de valeur des paramètres modifiés vis-à-vis des valeurs de confort de l'espèce	Recours à un calcul ou une modélisation de l'empreinte sédimentaire des matériaux immergés et/ou remis en suspension Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Confrontation du périmètre de l'empreinte sédimentaire des opérations à la connaissance de la répartition des espèces concernées (temporelle et spatiale) + calculs éventuels
	Exposition de l'ichtyofaune à une modification de la qualité des eaux	Indirect Court à Long terme	Espèces / aire de répartition concernées Taux d'exposition par rapport aux communautés en place Différence de valeur des paramètres modifiés vis-à-vis des valeurs de confort de l'espèce	Recours à un calcul ou une modélisation de dispersion des MES et / ou retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Confrontation du périmètre de dispersion des particules à la connaissance de la répartition des espèces concernées (temporelle et spatiale) +calculs éventuels
Mammifères marins	Exposition des mammifères marins à des émissions sonores générées en phase travaux	Direct Court à Long terme	Espèces / aire de répartition concernées Taux d'exposition par rapport aux populations en place Différence de valeur des paramètres modifiés vis-à-vis des valeurs de détection de l'espèce (gamme d'audition)	Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Recours à des calculs prédictifs de la dispersion et d'atténuation du bruit dans la colonne d'eau Modélisations spécifiques dans la cas d'un déroctage à l'explosif

Composante	Effet			
	Nature	Type	Exemple de critères d'évaluation / description	Exemples d'outils d'évaluation / description
	Perturbation des mammifères marins par modification de l'habitat et / ou des ressources alimentaires	Indirect Court à Long terme	Espèces / aire de répartition concernées Taux d'exposition par rapport aux populations en place Taux d'évolution des paramètres vitaux de l'habitat (réduction ou augmentation de surface d'un reposoir à phoque par exemple)	Recours à des modèles de prévision physique Recours aux résultats de l'évaluation des effets sur les habitats et la ressource Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert)
	Perturbation des mammifères marins par occupation du plan d'eau	Direct Court terme	Espèces / aire de répartition concernées Taux d'exposition par rapport aux populations en place	Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Recours à la description opérationnel du projet Recoupement des aires occupées avec les aires de déplacement des espèces
Avifaune	Exposition de l'avifaune à des émissions lumineuses	Direct Court terme	Espèces / aire de répartition concernées Taux d'exposition par rapport aux populations en place Différence de valeur des paramètres modifiés vis-à-vis des valeurs de détection de l'espèce (gamme d'audition)	Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Recours à la description opérationnel du projet
	Exposition de l'avifaune à une modification de l'habitat et des ressources alimentaires	Indirect Court à Long terme	Espèces / aire de répartition concernées Taux d'exposition par rapport aux populations en place Taux d'évolution des paramètres vitaux de l'habitat (réduction ou augmentation de surface de bancs de repos par exemple)	Recours à des modèles de prévision physique Recours aux résultats de l'évaluation des effets sur les habitats et la ressource Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert)

Evaluation des effets sur les activités et les usages

Comme le milieu biologique, les activités et usages constituent des composantes sensibles du milieu vis-à-vis desquels l'évaluation des effets du projet est d'autant plus importante. L'évaluation est ici aussi complexe, la majorité des effets étant indirects, et associés aux perturbations physiques, chimiques ou biologiques de l'environnement. La qualité de l'évaluation est donc liée à la qualité de l'évaluation des effets sur les composantes de l'environnement dont dépendent ces activités, et notamment les ressources biologiques (pour la pêche), et la qualité des milieux (pêche, élevage).

Tableau 46 : Synthèse, typologie critères et outils d'évaluation des effets sur les activités et les usages

Composante	Effet			
	Nature	Type	Exemples de critères d'évaluation / description	Exemples d'outils d'évaluation / description
Pêche	Perturbation de l'activité par occupation du plan d'eau	Direct Court terme	Nature de l'activité touchée Aire d'exploitation affectée Modification induite des aires et parcours de pêche	Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Recours à la description opérationnel du projet et recoupement avec les aires de répartition de l'activité
	Exposition de l'activité par modification de la ressource	Indirect Court à Long terme	Nature de l'activité et ou de la ressource touchée Aire d'exploitation affectée Modification induite des aires et parcours de pêche	Recours à l'analyse des effets sur l'ichtyofaune et les communautés benthiques Recoupement des aires d'exploitation et des aires d'affectation de la ressource Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert)
	Exposition de l'activité à une modification de la praticabilité des fonds	Indirect Moyen à Long terme	Nature de l'activité touchée Aire d'exploitation affectée Modification induite des aires et parcours de pêche	Recours à l'analyse sur les effets morpho-bathymétriques Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert)

Composante	Effet			
	Nature	Type	Exemples de critères d'évaluation / description	Exemples d'outils d'évaluation / description
Cultures marines	Exposition de l'activité à une modification de la qualité des eaux	Indirect Court à Long terme	Nature de l'activité touchée Mécanismes et durée de perturbation (contamination des cultures) Différence de valeur des paramètres modifiés vis-à-vis des valeurs de confort de l'espèce cultivée	Recours aux modélisations de dispersion des particules et de leurs contaminants éventuels. Recoupement avec les aires d'implantation des cultures Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert)
Extraction de granulats	Exposition de l'activité à une modification de la nature des fonds	Indirect Moyen à Long terme	Aires d'exploitation exposées Modification induite de la ressource	Recours aux modélisations de dispersion des particules et de leurs contaminants éventuels. Recoupement avec les aires d'exploitation Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert)
Navigation maritime (trafic professionnel et de loisir)	Exposition du trafic à une occupation du plan d'eau	Direct Court terme	Trafic touché Localisation et durée des perturbations	Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Recours à la description opérationnel du projet et recoupement avec la description du trafic maritime

Composante	Effet			
	Nature	Type	Exemples de critères d'évaluation / description	Exemples d'outils d'évaluation / description
Plongée / Baignade/ Patrimoine archéologique / Equipements sous-marins impliquant servitudes	Exposition de l'activité à une modification des fonds	Indirect Court à Moyen terme	Sites / biens / équipements touchés Nature des perturbations induites	Retours d'expérience (suivi, bibliographie, opinion d'expert) Recours à la description opérationnel du projet et recoupement avec les zones d'activités Recours aux modélisations de dispersion des particules et de leurs contaminants éventuels

Annexe 3 : Etude d'impact : les dix principes clefs

Une évaluation environnementale ex ante...

L'étude d'impact est une analyse technique et scientifique permettant d'évaluer ex ante, c'est-à-dire avant que l'opération ne soit réalisée, les incidences futures, positives et négatives, de l'opération projetée sur l'environnement.

... sous responsabilité du Maître d'Ouvrage.

L'étude d'impact relève de la responsabilité du maître d'ouvrage qui doit qualifier et quantifier en conséquence les effets positifs et négatifs prévisibles de son projet sur l'environnement. Cette démarche doit lui permettre de concevoir un projet de moindre impact sur l'environnement.

Une démarche continue,

L'étude d'impact accompagne les différents stades de conception et de réalisation du projet afin d'en assurer la cohérence globale.

progressive,

L'étude d'impact n'exige pas, dès les étapes préliminaires, d'analyser l'ensemble des données dans le moindre détail. La logique veut ainsi que le niveau de précision aille croissant au fur et à mesure du déroulement des différentes phases de réalisation. L'analyse de l'état initial, conclue par une hiérarchisation des enjeux, permet de définir les thèmes qu'il peut être nécessaire d'étudier de manière approfondie, ou pour lesquels les mesures de la séquence éviter, réduire, compenser devront être

appliquées plus particulièrement. La hiérarchisation des enjeux dans l'état initial constitue l'une des étapes clés pour réussir l'étude d'impact.

L'analyse des effets permet d'abord de comparer des partis d'aménagement (sites, technologies), de justifier le projet retenu et ensuite d'analyser en détail les conséquences sur l'environnement du projet retenu pour s'assurer qu'il est globalement acceptable pour l'environnement.

itérative,

L'évaluateur qui conduit l'étude d'impact doit vérifier la pertinence des choix antérieurs. L'apparition d'un nouveau problème, l'approfondissement des connaissances ou encore la modification d'un aspect du projet peuvent remettre en question un choix et donc nécessiter une nouvelle « boucle » d'évaluation.

et proportionnée.

« Le contenu de l'étude d'impact est proportionné à la sensibilité environnementale de la zone susceptible d'être affectée par le projet, à l'importance et la nature des travaux, installations, ouvrages, ou autres interventions dans le milieu naturel ou le paysage projetés et à leurs incidences prévisibles sur l'environnement ou la santé humaine » (art. R. 122-5-I. du code de l'environnement). La priorité n'est pas d'atteindre l'exhaustivité, mais plutôt de répondre dans une approche proportionnée et hiérarchisée aux enjeux les plus pertinents.

Une prise en compte de l'environnement au sens large

Les thèmes de l'environnement à évaluer sont « les facteurs mentionnés au III de l'article L. 122-1 susceptibles d'être affectés de manière notable par le projet : la population, la santé humaine, la biodiversité, les terres, le sol, l'eau, l'air, le climat, les biens matériels, le patrimoine culturel, y compris les aspects architecturaux et archéologiques, et le paysage » (art. R. 122-5-II. 4°).

Une évaluation de l'ensemble des effets du projet

L'étude d'impact ne se limite pas à l'évaluation des seuls effets directs attribuables aux travaux projetés, mais évalue aussi les effets indirects. Ces effets peuvent être permanents ou temporaires (voir tableau suivant). L'étude d'impact doit aussi identifier et analyser les effets cumulatifs résultant de l'interaction de plusieurs effets directs et indirects provoqués par le projet étudié et d'autres projets (de même nature ou non).

Un outil d'ajustement vers le moindre impact grâce à la séquence « Éviter, réduire, Compenser (ERC) »

La démarche progressive de l'étude d'impact doit permettre d'aboutir au projet de moindre impact. Quand un impact dommageable ne peut être totalement évité lors de la conception du projet, l'opérateur a alors l'obligation de mettre en œuvre d'abord des mesures réductrices et, à défaut, des mesures compensatoires (voir tableau suivant).

La crédibilité du maître d'ouvrage sera jugée sur ses capacités à concevoir et à mettre en œuvre des mesures réalistes, faisables au plan technique, dans l'objectif d'aboutir à un projet dont les effets sur l'environnement sont globalement acceptables pour les milieux.

Tableau 2 : Typologie des mesures : éviter, réduire, compenser
(définitions extraites des lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire, compenser, CGDD, octobre 2013).

Mesures d'évitement	Une mesure d'évitement (ou « mesure de suppression ») modifie un projet afin de supprimer un impact négatif identifié que ce projet engendrerait. Le terme « évitement » recouvre généralement trois modalités : l'évitement lors du choix d'opportunité, l'évitement géographique et l'évitement technique.
Mesures de réduction	Une mesure de réduction vise à réduire autant que possible la durée, l'intensité et/ou l'étendue des impacts d'un projet sur l'environnement qui ne peuvent pas être complètement évités, notamment en mobilisant les meilleures techniques disponibles (moindre impact à un coût raisonnable).
Mesures de compensation	Les mesures compensatoires des impacts sur le milieu naturel en particulier, doivent permettre de maintenir voire d'améliorer l'état de conservation des habitats, des espèces, les services écosystémiques rendus, et la fonctionnalité des continuités écologiques concernées par un impact résiduel significatif. La mise en œuvre d'une mesure compensatoire vient en complément aux actions publiques en matière de protection ou restauration de la nature.

Un outil d'évaluation des impacts a posteriori et d'amélioration des connaissances

L'étude d'impact doit notamment décrire les modalités de suivi des mesures mises en œuvre pour éviter, réduire ou compenser les impacts négatifs notables du projet sur l'environnement, ainsi que de leurs effets sur ces impacts. Le suivi doit permettre de confirmer les hypothèses d'impact et d'évaluer l'efficacité des mesures associées qui ont permis de fonder la décision d'autorisation du projet.

Annexe 4 : Opérations de dragage d'entretien du chenal de navigation et des installations portuaires de l'estuaire aval de la Seine (Haropa / Grand Port Maritime de Rouen) : démarche environnementale

*Le projet de dragage*⁷²

Les projets de dragage engagés par le Port de Rouen concernent le maintien des cotes du chenal de navigation par dragage des sédiments d'apport récent sableux et/ou vaseux. Le dragage porte actuellement sur un volume de 4.5 Mm³/an en moyenne (sables vaseux et vases sableuses) avec un maximum de 5.9 Mm³ observé en 2007. Les différentes installations portuaires plus confinées (pieds de quais, souilles), nécessitant un rétablissement des cotes, sont draguées à tour de rôle (volumes et périodicité variables de 2 à 5 ans) alors que le chenal d'accès doit être dragué en continu sur l'année.

Pour prendre en compte un possible accroissement des dépôts dans le secteur aval du chenal de navigation, la demande d'autorisation porte sur un volume dragué de 50 Mm³ en 10 ans et un maximum annuel de 5.9 Mm³.

La gestion des sédiments de dragage du chenal d'accès de l'estuaire aval

Parmi les filières mises en place par le port de Rouen, la gestion des sédiments à terre, dans des installations de transit de matériaux et leur recyclage dans le BTP constitue une alternative partielle à l'immersion des sédiments dragués. Le diagnostic préalable des sédiments à draguer a montré que les sédiments se composent de sables plus ou moins envasés et que le niveau de contamination reste globalement en deçà des seuils N1.

⁷² Source : Dossier de demande d'autorisation unique pour les dragages d'entretien du chenal de navigation et des installations portuaires de l'estuaire aval et immersion des sédiments. Etude d'impact. Pièce 3 : Raisons du choix du projet.

La démarche de valorisation à terre des sédiments de dragage

Dans une perspective d'évolution de ses pratiques, le Port a engagé depuis 2005 une réflexion sur la valorisation des sédiments de dragage d'entretien en estuaire marin. Cette valorisation constitue un enjeu pour le fonctionnement global de l'estuaire puisqu'elle pourrait contribuer à réduire les pressions exercées par les pratiques d'immersion. La démarche proposée par le Port pour la valorisation des sédiments de dragage d'entretien de l'estuaire aval s'est déroulée en trois étapes :

- la première étape a consisté à améliorer la connaissance des sédiments par leur caractérisation sur le plan chimique et géotechnique afin d'évaluer les débouchés possibles en génie civil et travaux publics ;
- la deuxième étape a consisté à déterminer, en fonction des caractéristiques des sédiments, les débouchés et usages possibles ainsi que les coûts de mise à disposition des sédiments de dragage pour déterminer la faisabilité de leur valorisation.
- la troisième étape a cherché à concrétiser les études précédentes en mettant en place une filière de valorisation des sédiments de dragage à l'occasion du projet d'amélioration des accès nautiques du Port de Rouen par le biais d'un appel à partenariat.

Actuellement, le Port de Rouen poursuit la réflexion sur les solutions alternatives à l'immersion :

- en recherchant de nouvelles filières de valorisation à terre (tel que, notamment, la construction de routes). Ces filières sont complexes à mettre en place, peu d'acteurs se montrant intéressés en raison du coût de retraitement des sédiments avant emploi. Bien que quelques entreprises mènent des expérimentations, il ne s'agit pas pour le moment de filières consolidées ;
- en assurant une veille sur les recherches à l'échelle internationale concernant les techniques innovantes de gestion des sédiments de dragage.

- en optimisant les volumes de dragage et en essayant de tendre vers un volume annuel moyen de 4 millions de m³ de sédiments dragués par an. Il s'agit d'un effort important pour le Port qui doit, par ailleurs, garantir l'accès de ses terminaux aux navires à fort tirant d'eau.

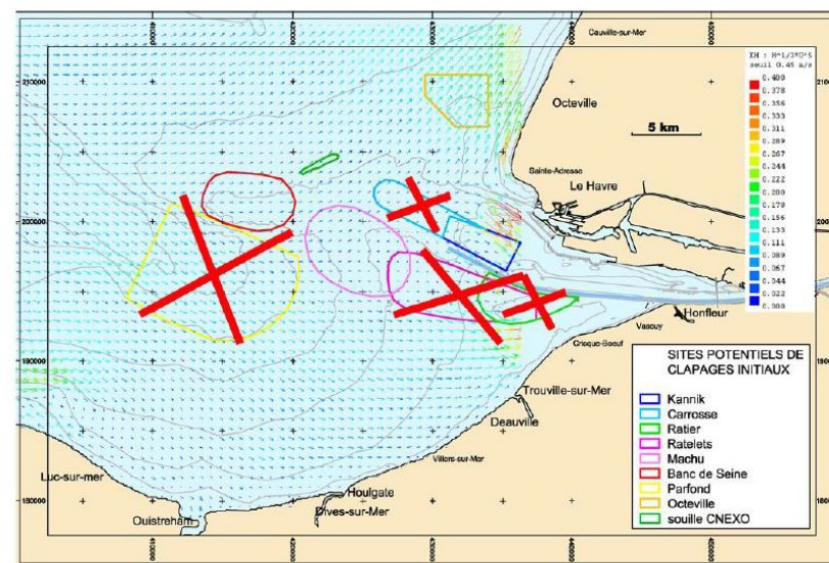
Si la réglementation encourage désormais à limiter les immersions de sédiments en faveur d'une gestion à terre, force est de constater qu'à ce jour aucune filière opérationnelle et pérenne n'existe. Les volumes de sédiment susceptibles d'être valorisés à terre restent faibles au regard des volumes dragués. Aussi, le recours à l'immersion reste aujourd'hui nécessaire compte tenu des volumes récurrents générés par l'activité de dragage en estuaire.

La démarche de recherche d'un site alternatif au site d'immersion du Kannik

La démarche de recherche d'un site d'immersion alternatif au site de dépôt du Kannik a été initiée en 2008. Elle a débuté par une démarche de consultation préalable qui a impliqué le Conseil Scientifique de l'Estuaire de la Seine (CSES*) et de nombreux acteurs de la Baie de Seine afin de déterminer et de localiser les enjeux et contraintes pouvant affecter la mise en place d'un nouveau site d'immersion, et ainsi déterminer sa ou ses localisations potentielles. La démarche s'est ensuite construite selon la logique de la doctrine ERC (éviter, réduire, compenser) en évitant les zones à fort enjeux et en développant une réflexion sur la réduction des impacts sur les sites potentiels d'immersion maintenus à l'étude.

A l'origine, sept sites potentiels d'immersion, alternatifs au Kannik, ont été envisagés.

Figure 90 : Localisation des différentes variantes étudiées par le Port de Rouen en première approche afin d'identifier des sites potentiels d'immersion et sites écartés (croix rouge)



Après analyse des données acquises dans le cadre d'études complémentaires et après concertation, de nombreuses variantes initialement envisagées ont été écartées pour préserver les écosystèmes en place et minimiser les impacts potentiels sur la pêche.

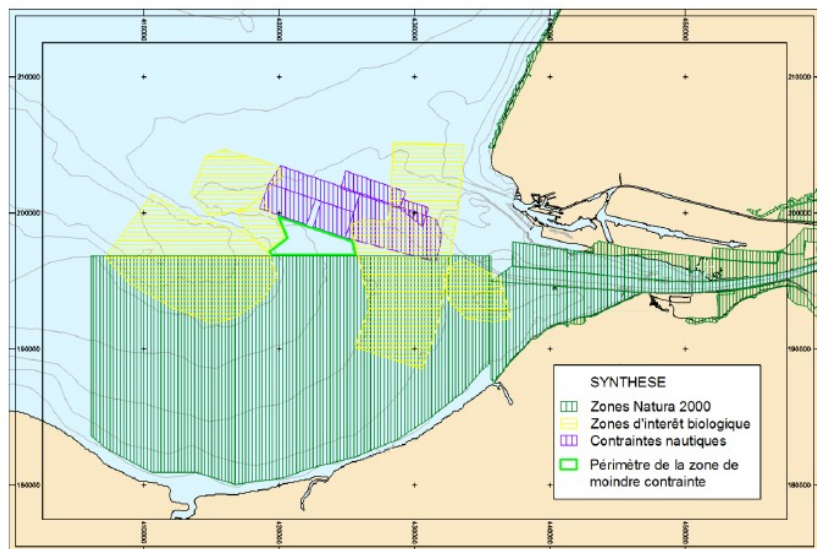
Après avoir été informé des résultats des études préliminaires et de la concertation préalable, le Conseil Scientifique de l'Estuaire de la Seine a formulé un avis en octobre 2008 recommandant que le Port de Rouen poursuive les études parmi les sites proposés sur Banc de Seine et Machu (Figure 90), sites à fort hydrodynamisme et à granulométrie comparable (à celle des sédiments après leur mise en dépôt), d'étudier les possibilités offertes par le site d'Octeville et d'exclure les autres sites.

Le site de la souille expérimentale d'exploitation de granulats marins, souille CNEXO, a été maintenu afin de réaliser des études complémentaires permettant d'évaluer la faisabilité de son comblement.

Le secteur de Machu / Banc de Seine a fait l'objet d'études complémentaires hydrosédimentaires et biologiques afin d'identifier les différents enjeux pour cette localisation. Elles ont montré que ce secteur se situe à la croisée de plusieurs zones à enjeux environnementaux et plus spécifiquement biologique, mais également liés à la navigation.

Le croisement de ces différentes zones a permis d'identifier les espaces à préserver et de privilégier un espace de moindre enjeu sur le secteur de Machu pouvant permettre l'implantation d'un site d'immersion (Figure 91). Cette démarche s'inspire totalement de la doctrine ERC (éviter, réduire, compenser)

Figure 91 : Synthèse des enjeux sur le secteur de Machu/Banc de Seine (GPMR, 2011)



Pour permettre de disposer d'une analyse des impacts prévisionnels à moyen terme des immersions, il a été proposé de mettre en place une série d'immersions expérimentales ($2 \text{ fois } 1 \text{ Mm}^3$) dans le secteur de Machu (Figure 92) avec pour objectifs :

- d'évaluer les impacts et les évolutions temporelles des immersions sur les compartiments morphosédimentaire et biologique (dynamique de recolonisation) ;
- de valider la modélisation hydro-sédimentaire du site d'immersion ;
- de déduire le mode d'exploitation optimale du site en définissant des pratiques d'immersion réduisant les impacts (ex découpage et morphologie des dépôts, plan de clapage...).

Ces immersions expérimentales réalisées en 2012-2013, se sont accompagnées de nombreux suivis hydro-morpho-sédimentaires, biologiques et sur la qualité chimique des eaux, des sédiments et de la matière vivante.

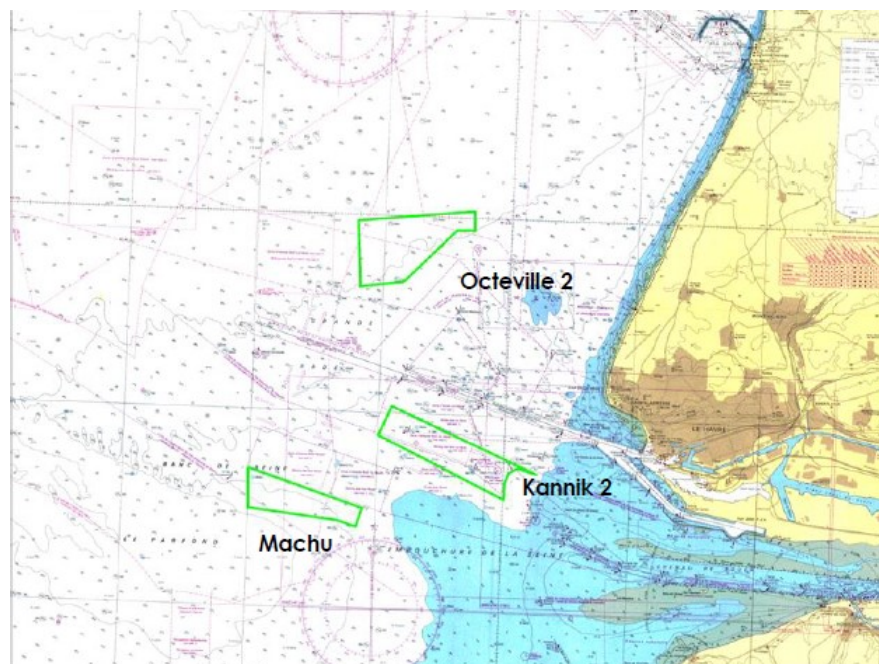
Le site Octeville 2 a fait l'objet de campagnes de prélèvements de complémentaires de la faune benthique et halieutique. Par ailleurs, une évaluation des pratiques de navigation dans ce secteur a montré que les dépôts ne devraient pas dépasser une cote maximale de - 17 m CMH, compatible pour la navigation de navires à forts tirants d'eau à destination ou en provenance du port du Havre, ce qui implique un étalement des sédiments et donc une surface conséquente du site pour une exploitation sur le long terme.

Démarche de concertation

La démarche de recherche d'un site d'immersion alternatif au site du Kannik a été initiée par le GPMR en 2008. Elle a débuté par une démarche de consultation préalable qui a impliqué le Conseil Scientifique de l'Estuaire et de nombreux acteurs de la Baie de Seine afin de déterminer et de localiser les enjeux et contraintes pouvant affecter la mise en place

d'un nouveau site d'immersion afin de déterminer sa ou ses localisations potentielles.

Figure 92 : Localisation des sites d'immersion potentiels d'Octeville 2 et de Machu (et du site du Kannik 2, site de référence)



En 2009, une première étude de contexte a été réalisée, portant sur le renouvellement du permis d'immersion du Kannik et sur le projet d'expérimentation d'immersion à Machu. Elle a amené le Port à organiser un groupe de travail issu du Conseil de Développement du Port et qui s'est réuni à deux reprises en 2010. L'enquête publique menée sur le projet d'expérimentation d'immersion à l'automne 2010 a suscité de vives réactions chez les acteurs bas normands, qui ont souhaité être étroitement

associés à la démarche expérimentale. C'est pourquoi, il a été décidé de mener une deuxième phase de concertation permettant la restitution des résultats de l'expérimentation d'immersions à Machu. Cette phase a compris au préalable une actualisation de l'étude de contexte de 2009.

Analyse multicritère des sites retenus

L'analyse multicritères prend en compte la concertation sur la recherche d'un site alternatif au Kannik effectuée en 2014 par le GPMR et les échanges avec le Conseil Scientifique de l'Estuaire qui a été consulté sur cette thématique en février 2014.

L'analyse multicritère couvre aussi bien les enjeux environnementaux que techniques et socio-économiques. Ainsi, sont reconnus comme :

- critères techniques : les contraintes de navigation ;
- critères socio-économiques : les surcoûts des opérations d'immersion pour le GPMR liés à l'accroissement des temps de route pour atteindre le site alternatif de clapage par rapport au Kannik ;
- critères environnementaux : le maintien de l'intégrité des fonds (nature des fonds et benthos), les habitats Natura 2000 et la dispersion des fines (envasement des plages, efficacité du dragage et connexion plus ou moins forte avec l'Estuaire interne).

La pondération a été appliquée aux enjeux retenus comme forts et discriminants, en fonction du nombre de critères concernés par l'analyse pour chaque type d'enjeux.

Tableau 47 : Pondération des enjeux pour chaque critère de l'analyse multicritère

CRITERES	ENJEUX	COEFFICIENT DE PONDERATION
Critères techniques	Contraintes de navigation	1
Critères économiques	Surcoût lié à la distance de transport	1
Critères environnementaux	Dispersion des fines : envasement des plages, efficacité du dragage et connexion à l'Estuaire interne	3
	Intégrité des fonds : nature des fonds et benthos	2
	Habitats des sites Natura 2000	1

Tableau 48 : Evaluation des impacts des immersions des sédiments des dragages d'entretien de l'estuaire aval pour chacun des sites retenus et pour le site de référence pour l'analyse multicritère

CRITERES	ENJEUX	MACHU	OCTEVILLE 2	KANNIK 2
Critères techniques	Contraintes de navigation (zones d'attente, chenaux de dégagement, navigation)	Zones d'attente 2 et 3 du GPMR imposant une cote de dépôt maximale de 12m CMH pour garantir la sécurité des navires au mouillage.	1 zone d'attente à l'Ouest et circulation de navires à fort tirant d'eau dans l'emprise du site imposant une cote de dépôt maximale de -17m CMH	2 zones d'attente à déplacer pour pouvoir utiliser le site
Critères économiques	Surcoût lié à la distance de transport	20%	35%	10%
Critères environnementaux	Ressources halieutiques et pêche professionnelle	Impact faible sur les poissons (espèces)	Impact faible sur les poissons (espèces)	Zones de clapage pauvres en espèces => impact négligeable sur la pêche Pêche à la crevette éloignée du site => impact négligeable
	Nature des fonds	Sables de même granulométrie que les fonds. Impact des vases sur 1 km, puis 500 m 6 mois après	Modification de la granulométrie des fonds (grossiers-> fins/moyens)	Modification de la granulométrie des fonds
	Benthos	Pas de modification du peuplement hormis au droit même des clapages mais rapide recolonisation	La modification du fond entraînera un changement de peuplement. Faible taux de résilience des habitats grossiers attendus	La modification du fond entraînera un changement de peuplement. Le potentiel de résilience est plus élevé que sur Octeville 2.
	Caractéristiques hydrosédimentaires du site	Forte connexion du site avec l'Estuaire aval et son bouchon vaseux	Plus faible connexion du site avec l'Estuaire aval. Une plus faible part des vases dispensées revient dans le bouchon vaseux.	Forte connexion du site avec l'Estuaire aval et son bouchon vaseux
	Habitats des sites Natura 2000	Impacts négligeables à faibles sur les habitats (sédiments) clapés de même nature que ceux en place	Peu d'incidences sur les habitats (sables dunaires)	Impacts négligeables sur les habitats
	Espèces des sites Natura 2000	Impacts négligeables à faibles sur les espèces	Peu d'incidences sur les espèces	Impacts négligeables sur espèces marines, faibles sur les Oiseaux

Tableau 49 : Grille de notation de l'analyse multicritère

CRITERES	ENJEUX	COEFFICIENT DE PONDERATION	MACHU	OCTEVILLE 2	KANNIK 2
Critères techniques	Contraintes de navigation	1	3	3	1
Critères économiques	Surcoût lié à la distance de transport	1	3,5	2,5	5
Critères environnementaux	Dispersion des fines : envasement des plages, efficacité, connexion estuaire interne	3	3	5	3
	Intégrité des fonds : nature des fonds et benthos	2	5	1	3
	Habitats des zones Natura 2000	1	3	5	3
TOTAL (sur 40)			28,5	27,5	24

L'analyse multicritère (Tableau 48) met en évidence une différence limitée entre les sites dont les notes oscillent entre 24 et 28,5 / 40 avec une note globale maximale pour le site de « Machu », suivi de près par le site « d'Octeville 2 ». On notera que cette faible différenciation résulte du choix fait par le GPMR de limiter l'utilisation des coefficients de pondération, pour réduire autant que possible la subjectivité de la notation et qui a pour conséquence de ne pas amplifier les écarts entre les sites.

Le site de Machu présente des notes d'impact faiblement à peu défavorable pour l'ensemble des enjeux. En ce qui concerne l'intégrité des fonds, il apparaît plus propice à recevoir les sédiments de dragage d'entretien du GPMR du fait de leur nature similaire avec les sédiments en place et de la présence de communautés benthiques faiblement diversifiées mais adaptées aux perturbations et donc présentant une forte capacité de résilience.

L'impact des immersions y sera donc limité dans le temps et permettra de maintenir la communauté benthique actuellement en place.

En conclusion, pour définir l'implantation d'un site d'immersion qui se substituera à celui du « Kannik », dont les capacités résiduelles atteignent désormais leurs limites, le GPMR a opté pour une démarche cherchant à être exhaustive et qui repose sur plusieurs étapes menées successivement depuis 2008 (Tableau 50) et ayant fait l'objet de nombreuses concertations avec le public et les services d'Etat :

- Identification de 7 sites potentiels afin de considérer toutes les opportunités de la baie de Seine,
- Elimination des sites présentant des enjeux biologiques forts lors d'une première analyse basée sur des données bibliographiques et des avis scientifiques,
- Réalisation d'études sur les 3 sites retenus suite à la première analyse et expérimentation d'immersion sur un des sites,
- Elaboration d'une analyse multicritère s'appuyant sur les résultats des études et des expérimentations pour déterminer le site optimal parmi les 3 variantes étudiées en profondeur.

Cette démarche a abouti au choix par le GPMR du site de « Machu » qui constitue une solution envisageable d'implantation d'un site opérationnel d'immersion.

C'est donc le site de « Machu » qui a été retenu par le Port de Rouen comme futur site d'immersion pour ses sédiments de dragage d'entretien de l'estuaire aval. Ce choix résulte de la prise en compte des enjeux environnementaux, sociaux et économiques de la zone d'étude dans une démarche de type ERC.

Tableau 50 : Principales étapes mises en œuvre par le Port de Rouen pour la recherche d'un nouveau site d'immersion

Année	Principales étapes du projet
2008	<ul style="list-style-type: none"> - Proposition de 7 sites d'immersion par le GPMR - Consultation préalable des acteurs de la Baie de Seine - Avis du CSES : poursuite des études sur 3 sites : Octeville, Machu et Banc de Seine - Première concertations
2009	<ul style="list-style-type: none"> - Etude de contexte sur le renouvellement de l'immersion au Kannik et sur le projet d'expérimentation d'immersions à Machu
2010	<ul style="list-style-type: none"> - Création du Groupe de Travail « dragage et immersion » au sein du Conseil de Développement du GPMR : instance de concertation élargie - Dépôt du dossier réglementaire « expérimentation d'immersions à Machu »
2011	<ul style="list-style-type: none"> - Arrêté préfectoral d'autorisation d'immersions expérimentales à Machu
2012-2014 2013	<ul style="list-style-type: none"> - Expérimentation d'immersions à Machu et suivis associés - Soutenance de thèse S. MARMIN « impacts biosédimentaires des expérimentations de clapages en Baie de Seine sur la communauté des sables moyens propres à <i>Nephtys cirrosa</i> »
2014	<ul style="list-style-type: none"> - Actualisation de l'étude de contexte - Concertation sur le choix du site pérenne et restitution des résultats de l'expérimentation d'immersions
2015	<ul style="list-style-type: none"> - Dépôt du dossier réglementaire de demande d'autorisation de dragage d'entretien et d'immersion

Le choix du plan de clapage

Trois scénarios de clapage ont été étudiés par le Port de Rouen.

Tableau 51 : Modalités et principes d'exploitation des scénarios étudiés

Scénario	Modalités	Principes d'exploitation
1	Clapage des sédiments par bandes alternées dans le but d'atteindre la cote de - 12 m CMH sur quasiment l'ensemble du site afin d'avoir une morphologie homogène de ce dernier à 10 ans.	<p>Une bande à la fois, jusqu'à atteindre une hauteur maximale de dépôt de 2m de hauteur avant d'exploiter une autre bande.</p> <p>Sur la durée de l'autorisation (10 ans), 2 à 3 passages au maximum sont nécessaires sur certaines bandes pour atteindre la cote – 12 m CMH.</p>
2		<p>L'exploitation des bandes s'effectue jusqu'à atteindre une hauteur maximale de 5 m.</p> <p>Sur la durée de l'autorisation (10 ans), un seul passage est nécessaire sur chaque bande pour atteindre la cote de – 12 m CMH.</p>
3	Clapage des sédiments d'Est en Ouest jusqu'à atteindre la cote maximale définie pour le casier considéré correspondant à la morphologie du site à 20 ans, soit – 12 m CMH sur le Nord et - 7 m CMH au Sud du site.	

Figure 93 : Scénario 2 : Plan de clapage et morphologie du site à 10 ans

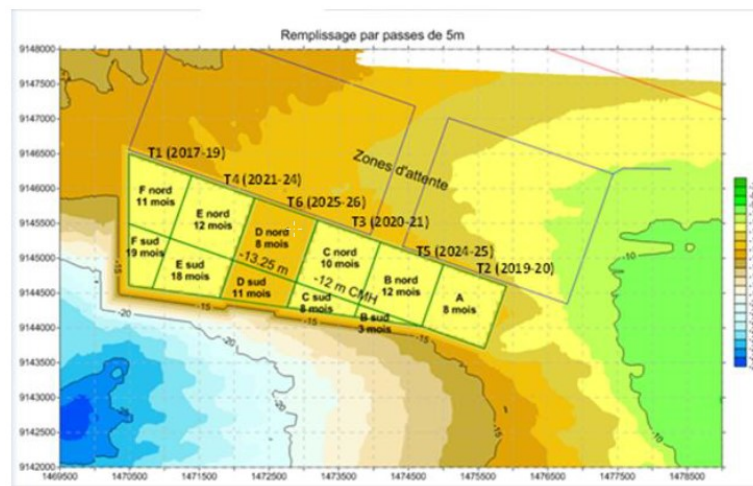
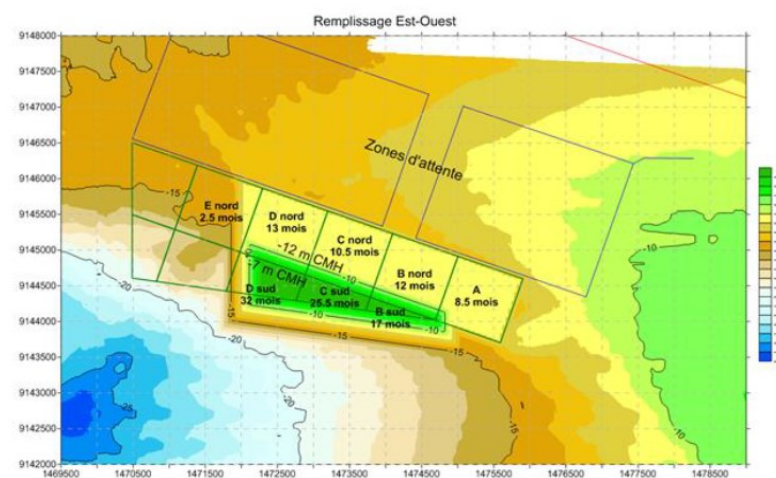


Figure 94 : Scénario 3 : Plan de clapage et morphologie du site à 10 ans



Le scénario 2 est apparu optimal pour l'environnement. L'exploitation par bandes alternées sur une hauteur maximale de 5 m est une proposition innovante qui permet de trouver un juste compromis entre surfaces exploitées, durée et récurrence des perturbations et intensité des clapages. Ce scénario permet de minimiser l'impact sur les organismes vivants et favorise une meilleure résistance et résilience de la macrofaune benthique.

Les techniques de dragage retenues

Le choix d'une technique de dragage résulte de contraintes imposées qui, cumulées, doivent permettre de cibler le matériel le mieux adapté. Dans le cas présent, quatre critères principaux seront étudiés et sont donnés ici à titre indicatif pour faciliter la hiérarchisation des techniques.

Tableau 52 : Critères de comparaison des techniques de dragage

Critères	Indicateurs
1 : faisabilité technique	<ul style="list-style-type: none"> • adaptation à la configuration des zones de dragage et d'immersion et aux conditions de transit entre ces zones : taille, tirant d'eau, tenue à la mer, profondeur maximale de dragage, existence de zones de replis, de mise à l'eau..., • compatibilité avec les rendements attendus et la nature des sédiments à draguer (fluidité, degré de compaction...), • possibilité de dragage à sec ou en eau, • précision du dragage.
2 : viabilité économique des opérations	<ul style="list-style-type: none"> • viabilité des coûts de dragage, • coûts éventuels d'immobilisation.
3 : compatibilité environnementale et sociétale	<ul style="list-style-type: none"> • dérangement des activités existantes, • impacts environnementaux spécifiques à la technique de dragage et de mise en dépôt, • niveau de contamination et risque de remise en suspension, • nuisances.
4 : pérennité et répétitivité des interventions	<ul style="list-style-type: none"> • faisabilité et viabilité à court, moyen et long terme, • répétitivité des interventions, • disponibilité du matériel.

L'analyse des critères de choix évoqués tend à montrer que :

- les techniques de dragage par des **moyens mécaniques** ne sont pas les plus adaptées pour le dragage des sédiments du Port de Rouen, compte tenu :
 - des conditions de courant et d'agitation du plan d'eau sur les zones de dragage et d'immersion, qui sont peu compatibles avec l'utilisation de pontons porteurs d'outils de dragage mécanique
 - et des rendements attendus pour garantir des tirants d'eau dans une zone de forte sédimentation où les activités de navigation commerciale ne doivent pas être gênées.
- le dragage par une **drague aspiratrice stationnaire** n'est pas adapté pour l'entretien du secteur aval du chenal du port de Rouen, notamment du fait de la mauvaise compatibilité de ce type d'engin avec les conditions nautiques et le trafic maritime rencontrés dans ce secteur.

Le **dragage par une drague aspiratrice en marche (DAM)** est la solution retenue par le GPMR pour effectuer les dragages d'entretien de la partie aval de son chenal de navigation, pour les raisons principales suivantes :

- Le dragage hydraulique par DAM induit un faible dérangement des activités environnantes (trafic nautique très dense dans la baie de Seine et le chenal de navigation de l'estuaire aval), et une faible remise en suspension des sédiments du fait de leur aspiration.

- Les DAM sont de plus très bien adaptées aux conditions de forts courants rencontrées dans l'Estuaire aval et aux conditions d'agitation rencontrées en Baie de Seine et à l'Embouchure du fleuve.
- Enfin, les DAM sont parfaitement adaptées aux opérations de dragage impliquant un grand volume de sédiments et des sites de gestion éloignés des sites à draguer. En effet, le fait qu'elles puissent assurer à la fois le dragage, le transport et le clapage des sédiments sans rupture de charge garantit un rendement cohérent avec les besoins en dragage du Port de Rouen.

Annexe 5 : Dragage de la passe du canal des Quilles dans l'étang de Thau : démarche environnementale

Le projet de dragage

A l'Ouest de Sète, le canal des Quilles relie la mer à l'étang de Thau. Côté étang, la sortie du canal est prolongée par une digue de protection (Figure 95). Le chenal de sortie est soumis à des dépôts sédimentaires essentiellement constitués de sable qui empêchent le passage des bateaux.

La Ville de Sète a donc pour projet de draguer le dépôt de sable qui se reconstitue périodiquement, afin de permettre la libre circulation des embarcations dans le canal des Quilles (conchyliculteurs exploitant les filières en mer, pêcheurs de l'étang, navires de servitude de l'IFREMER).

Le volume à draguer sera de l'ordre de 375 m³.

Le canal des Quilles est dans l'étang de Thau est au cœur de zones caractérisées par une grande richesse faunistique et floristique. A ce titre, il est inclus dans deux zones Natura 2000, deux ZNIEFF continentales de type 1 et une ZNIEFF continentale de type 2. Sur l'ensemble de la lagune, le taux de couverture des herbiers de zostères *Zostera noltii* espèce non protégée) est estimé à 15 %. L'herbier de zostère le plus vaste (780 ha) est situé le long du lido (zone classée en ZNIEFF de type I). Le peuplement piscicole de cette zone est très riche. Les poissons trouvent dans l'herbier une zone exceptionnelle de nourriture et de refuge, très favorable à la reproduction.

La passe du canal des Quilles qui doit faire l'objet du dragage, abrite des herbiers de zostères (denses à clairsemés, de l'entrée vers le canal. Quatre individus de *Pinna nobilis* (grandes nacres), espèce protégée, ont été repérés à l'extérieur de la zone de dragage.

La zone pouvant être utilisée pour le dépôt des sables dragués présente une grande surface constituée de sables partiellement émergés suivant les hauteurs d'eau et les marées barométriques.

Les matériaux en place, caractérisés par des granulométries sableuses, présentent des teneurs en altérants physico-chimiques dans les bruts qui sont toutes inférieures aux valeurs seuil réglementaires.

Figure 95 : Localisation de la passe du canal des Quilles et de la zone à draguer



La technique de dragage retenue

Deux principales techniques de dragage sont envisageables.

- Soit à l'aide d'une drague hydraulique aspiratrice ou d'une pompe aspiratrice immergée. Le sédiment non consolidé est aspiré et le mélange eau/sédiment forme une mixture, d'un rendement maximum de 10 à 20 %, qui est directement évacuée dans la zone de ressuyage et de dépôt.
- Soit à l'aide d'un godet à partir d'une pelle sur barge qui permet de remplir une barge attenante avec les sédiments ainsi extraits avant d'être repris pour être déposés sur le site de ressuyage et de dépôt.

Au regard du petit volume de sédiment à draguer, environ 375 m³, de la sensibilité du milieu et de la faible distance qui sépare le dragage de la zone de dépôt, le dragage à l'aide d'une pompe aspiratrice immergée a été retenu. Une protection à l'aide d'une enceinte de confinement de type membrane géotextile sera disposée tout autour de la zone à draguer.

Il est donc envisagé de déposer les matériaux sableux à l'ouest de la digue ouest du canal des Quilles sur le toc sableux à proximité (Figure 96). Ce choix est motivé par le fait que les sédiments à draguer proviennent du stock de sable situé à l'ouest, après avoir contourné le musoir de la digue sous l'effet de l'hydrodynamisme local. Le sable sera déposé sur le toc sableux en évitant les secteurs de zostères. Afin d'éviter l'impact indirect de la diffusion de matières en suspension, la zone de dépôt sera entourée d'une enceinte de confinement constitué d'un écran anti-turbidité. Ce volume de sédiments sera disposé sur la zone de dépôt de sorte à couvrir

une surface d'environ 1 500 m², ce qui représentera une élévation moyenne d'environ 20 cm (Figures 97 à 99).

Figure 96 : Zone de dragage et de dépôt adjacente

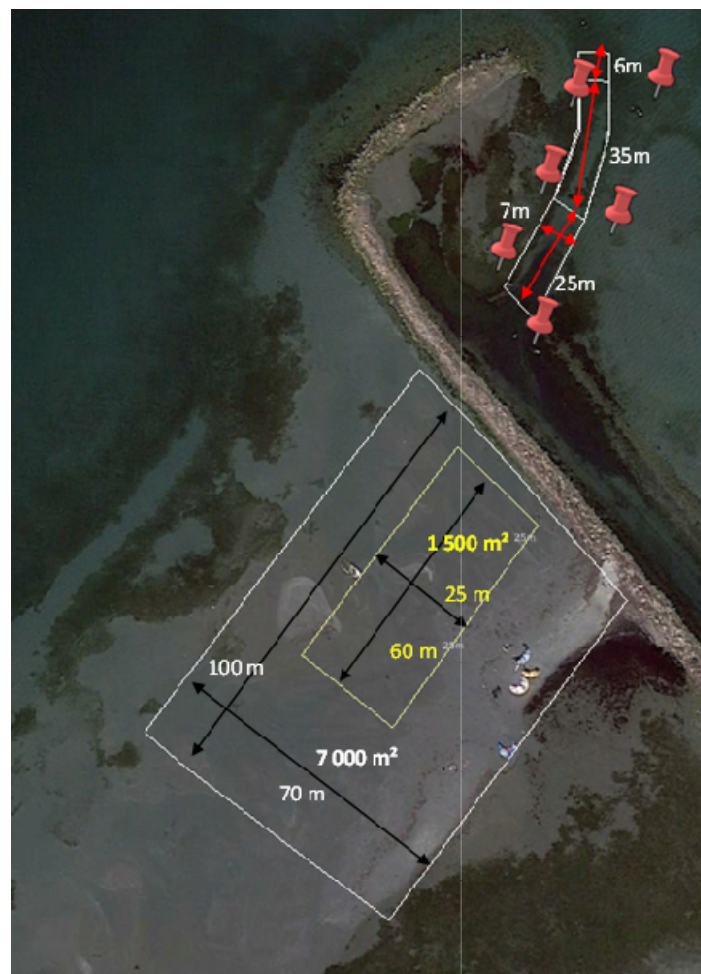


Figure 97 : Modalités de dépôt et de ressuyage

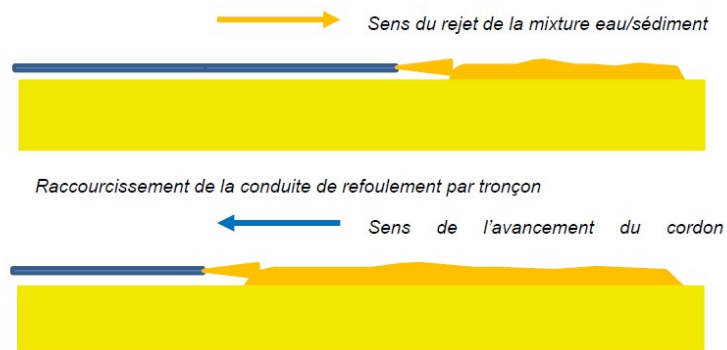


Figure 98 : Principe de dépôts sous forme de cordons sédimentaires

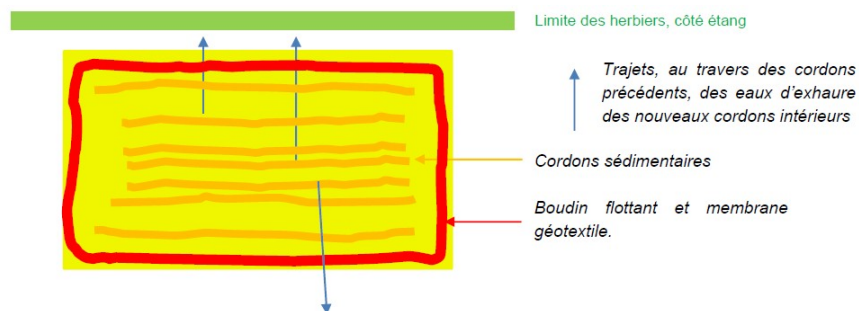
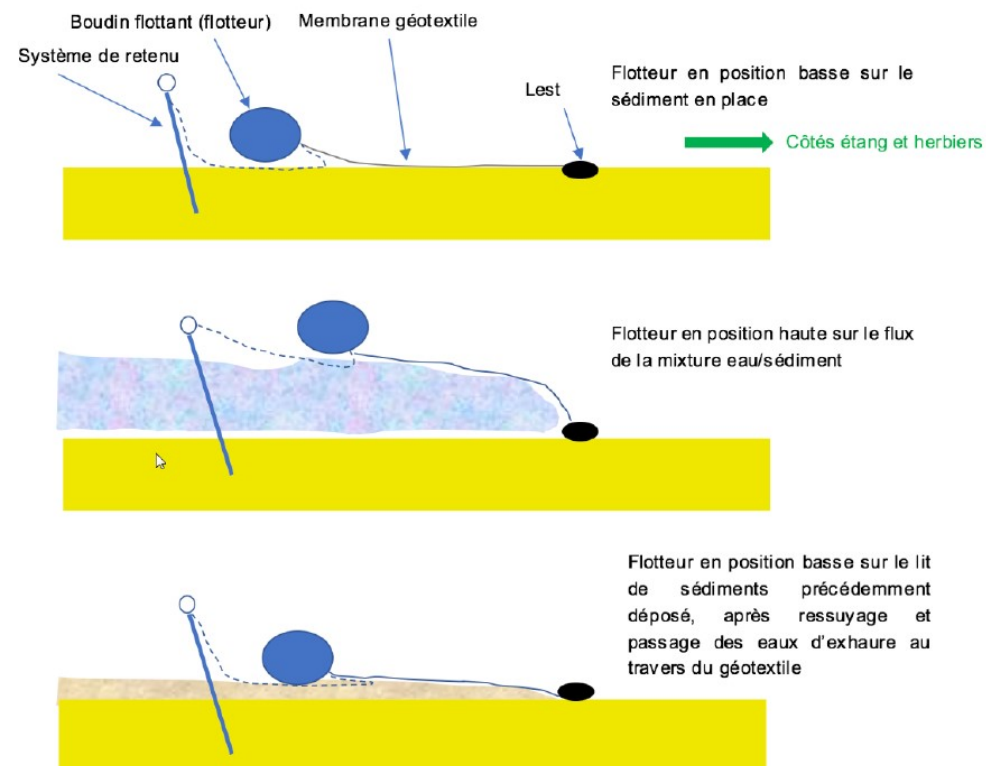


Figure 99 : Ecran de confinement des particules fines sur la zone de dépôt



Solutions alternatives et variantes techniques de dragage et de dépôt

Solutions alternatives

S'agissant de la restauration de la hauteur d'eau nécessaire et suffisante pour la libre navigation des embarcations dans la passe du canal des Quilles à Sète, il n'existe pas de solution alternative au dragage, sauf à considérer que les navires n'empruntent plus cette route et se reportent sur les canaux de Sète. Cette solution alternative représenterait un déroutement non acceptable pour les conchyliculteurs exploitant les filières en mer ou les navires de l'IFREMER qui procède au contrôle quasi quotidien de la qualité de l'eau du bassin.

Variantes techniques de dragage

Trois solutions techniques ont été comparées :

- Dragage hydraulique aspiratrice,
- Pompe hydraulique immergée,
- Pelle sur ponton équipée d'un godet.

Le choix d'un dragage par aspiration, à l'aide d'une pompe hydraulique immergée, est dicté en priorité par la précision que cette méthode permet dans le plan de dragage et au regard des épaisseurs extraites. La pompe hydraulique est ainsi bien adaptée au dragage de petits volumes dans des zones contraintes (espace, petits fonds).

Par ailleurs, le mode de dragage est favorable à la dissémination des fragments de zostères dont les rhizomes peuvent reprendre sur les fonds adjacents limitant ainsi le nombre de plantes perdues lors de cette opération.

La mise en œuvre d'un dragage à la benne preneuse présenterait l'avantage de limiter les quantités d'eau d'exhaure mais aussi les inconvénients de moins maîtriser les épaisseurs prélevées et de compacter les éléments végétaux présents. De plus ce mode de dragage nécessiterait une reprise des matériaux extraits pour les acheminer vers et sur le tertiaire, occasionnant alors l'utilisation de moyens de chantier plus importants. Ceux-ci auraient pour effet de compacter la zone de réception et de limiter ou retarder sans doute la recolonisation ultérieure par les invertébrés fouisseurs.

Variantes de dépôt des matériaux

La digue du canal des Quilles n'est pas praticable par des engins de chantier et des camions. L'évacuation des sédiments ne peut donc se faire que par voie maritime, sachant que la navigation sur le canal des Quilles n'est pas possible pour des barges même petites (tirant d'air limité par les ponts).

Trois variantes ont été envisagées :

- L'emport des matériaux pour un réemploi (remblai, par exemple).
- Le dépôt des sédiments dragués dans une installation de stockage des déchets.
- Le dépôt à proximité par refoulement, sur le tertiaire de sable immédiatement à l'ouest de la digue de protection du canal des Quilles.

L'exportation des matériaux ne peut se concevoir que pour un dragage mécanique. Le dragage par une drague hydraulique classique « foisonnant » les volumes, obligerait de transporter dans la drague ou la barge, une mixture composée à 80 % d'eau (surverse interdite compte tenu de la sensibilité du milieu).



Réemploi	La ville de Sète n'a pas aujourd'hui la disponibilité d'un site de travaux où les matériaux pourraient être réutilisés.
Dépôt des sédiments à terre	Les matériaux extraits présentent les caractéristiques de sédiments en contact avec un milieu marin, soit des teneurs élevées en fractions solubles, chlorures et sulfates. Par ailleurs, on note des teneurs en plomb et en molybdène supérieures aux valeurs seuil d'acceptabilité dans des installations de stockage de déchets inertes (ISDI). En conséquence ces matériaux, s'ils ne sont pas réutilisés dans le cadre d'une valorisation ou d'un recyclage, devraient être acceptés dans une installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND).
Dépôt dans la lagune à proximité par refoulement	<p>Le dépôt dans la lagune, sur le toc en partie exondé le long de la partie ouest de la digue, présente plusieurs avantages :</p> <ul style="list-style-type: none">• La proximité de la zone de dépôt par rapport au site d'extraction : distance de déplacement minimale des sédiments par voie maritime (forte limitation des émissions de gaz à effet de serre) ; risque de pollution du milieu aquatique minimisé sur le trajet de transport,• La conservation du volume de sable extrait au sein du même stock sédimentaire déposé sur le côté interne du lido),• La possibilité de contrôler les eaux de surverse par un dispositif simple et opérationnel de confinement des sédiments.

Annexe 6 : La turbidité des eaux des différentes façades maritimes métropolitaines et ultramarines

Manche et mer du Nord ⁷³

Le panache de la Seine représente l'essentiel de la turbidité d'origine terrigène de la sous-région marine Manche - mer du Nord. Sur les 30 dernières années, on constate un cycle saisonnier avec des niveaux de turbidité maximaux à l'automne et au printemps (de l'ordre de 600 mg/l¹ à Honfleur en moyenne mensuelle), et des valeurs moyennes comprises entre 380 et 500 mg/l en été. Ces variations traduisent les déplacements du bouchon vaseux vers l'aval et l'amont, au gré des crues et des étiages.

L'ouverture du chenal de navigation et le prolongement de la digue Nord jusqu'au Havre ont canalisé la Seine, ce qui a conduit à une migration du bouchon vaseux de 40 km vers l'aval entre 1955 et 1975. Tandis que les concentrations moyennes diminuaient à l'amont, la position du bouchon vaseux s'est ensuite stabilisée, même si la morphologie de l'estuaire a poursuivi ses évolutions.

Le bassin de la Manche étant peu profond, il est fortement soumis à l'action des vagues sur une grande part de sa surface. Cette importance de la mise en resuspension locale est cohérente avec les mesures effectuées en Manche orientale, qui indiquent des concentrations de surface inférieures à 5 mg/l dans les eaux centrales, tandis qu'elles atteignent 10 à 35 mg/l dans les eaux dites côtières.

Cette différence de régime entre les zones côtières et les eaux centrales se retrouve sur la distribution verticale de la turbidité, avec des gradients surface-fond peu marqués au large, et des valeurs turbidité plus élevées au fond qu'en surface. La variabilité spatio-temporelle de la turbidité en Manche est fortement corrélée au forçage de la marée, des vagues, et de la production primaire (en été et en surface). La contribution des fleuves aux flux sédimentaires régionaux est peu importante, essentiellement liée à la remise en suspension des sédiments par les vagues en période hivernale.

⁷³ Plan d'action pour le milieu marin. Sous-région marine Manche - mer du Nord. Evaluation initiale des eaux marines document approuvé par arrêté du 21 décembre 2012.

Mer celtique ⁷⁴

Les mers celtiques sont soumises à des courants de marée intenses qui expliquent une couverture sédimentaire essentiellement rocheuse, graveleuse, et sableuse dans la zone. Elle n'est pas soumise à l'influence d'apports terrigènes. L'unique source de turbidité est donc la remise en suspension au fond par les courants en vive eau avec des valeurs inférieures à 1 NTU, et par les vagues. Les interprétations des images satellitales suggèrent une turbidité minérale de surface pouvant atteindre 3 NTU les mois d'hiver, et inférieure à 1 NTU le reste de l'année. On ne dispose pas de suffisamment de données pour décrire l'état initial de la turbidité à échelle régionale.

Golfe de Gascogne ⁷⁵

En moyenne annuelle, les apports terrigènes par les grands estuaires sont estimés à 2.5 10⁶ t de MES par an, dont 60 % apportés uniquement par la Gironde. La Loire contribue en moyenne pour 24 % (0.6 10⁶ t/an⁻¹), puis l'Adour pour 8 % (0.2 10⁶ t/an⁻¹). La Vilaine et la Charente auraient des flux comparables, d'environ 0.1 10⁶ t/an⁻¹, et chaque estuaire représente 4 % du flux total.

En Gironde, le bouchon vaseux se déplace vers l'aval de l'estuaire en crue, situation où les concentrations de surface excèdent 500 mg/l dans la majeure partie de l'estuaire et peuvent excéder 3 g/l le long de la rive gauche, tandis qu'elles sont de l'ordre de 100 mg/l en étiage.

Pour l'estuaire de la Loire, le centre de gravité du bouchon vaseux se déplace vers l'aval en crue (et oscille avec la marée), avec des turbidités dans l'estuaire aval (Paimboeuf) qui peuvent varier d'une centaine de NTU à 1 800 NTU.

⁷⁴ Plan d'action pour le milieu marin. Sous-région marine mers celtiques. Evaluation initiale des eaux marines. Version Décembre 2012.

⁷⁵ Plan d'action pour le milieu marin. Sous-région marine golfe de Gascogne. Evaluation initiale des eaux marines. Version Décembre 2012.

En régime de crue, les masses turbides peuvent être expulsées de l'estuaire, avec des concentrations de plus de 200 mg/l mesurées dans l'embouchure.

Région Bretagne Sud et estuaire de Loire

En période printanière et estivale, en dehors des panaches, les concentrations de surface mesurées en Bretagne Sud sont de l'ordre de 1 à 3 mg/l (conditions d'agitation moyenne) et, au fond, elles peuvent atteindre 10 à 20 mg/l ; ces valeurs de fond relativement élevées sont interprétées comme résultant de la matière organique détritique. En hiver, des mouillages au point fixe (Bretagne Sud) ont montré que la turbidité - essentiellement d'origine minérale cette fois - peut atteindre 50 à 100 mg/l au fond par 20 à 30 m d'eau lors des tempêtes, et plusieurs dizaines de mg/l en surface.

Large de l'embouchure de la Gironde

A chaque jusant, deux nappes d'advection d'eaux saumâtres et turbides sont évacuées sur le plateau, à l'embouchure de la Gironde et au Pertuis de Maumusson. Les eaux de la Gironde peuvent progresser vers l'ouest mais la majeure partie des suspensions est déplacée en masse vers le nord durant le flot suivant en direction de l'île d'Oléron. L'eau expulsée de l'estuaire forme un panache turbide de surface (identifiable au plus jusqu'à 50 km des côtes), et une couche néphéloïde benthique. Après de forts débits fluviaux, la couche néphéloïde de fond dépassant 1 FTU atteint le bord du plateau continental, tandis qu'elle s'interrompt au milieu du plateau par faibles débits. En période printanière et estivale, devant l'embouchure de la Gironde, les concentrations de surface sont comprises entre 1.5 et 5 mg/l hors du panache, et même si on observe une stratification, les mesures n'indiquent pas de turbidité très élevée au fond. En hiver, les mesures montrent une colonne d'eau mélangée, avec des turbidités de l'ordre de 9 mg/l même au-delà de 35 m de fond.

Méditerranée Occidentale⁷⁶

Turbidité côtière

Les tempêtes d'Est-Sud-Est, les courants induits par les vents de Nord-Nord-Ouest et par la formation des eaux denses sur le plateau apparaissent comme les événements les plus énergiques qui se produisent dans le Golfe du Lion et sont les principales causes de la turbidité dans la colonne d'eau du compartiment côtier. Le maximum de turbidité intervient lorsque les événements de tempête sont associés aux événements de crues. Cela se traduit souvent par de fortes décharges de sédiments lors des crues puis par de fortes houles qui remobilisent ces sédiments à la côte et les transportent vers le large sur le plateau ou au-delà par les canyons. L'intensité de la turbidité des eaux côtières est fortement dépendante de la séquence ou chronologie des événements.

Turbidité sur le plateau

Sur le plateau continental du Golfe du Lion, la distribution de la matière particulaire près du fond est caractérisée par la persistance tout au long de l'année, d'une couche néphéloïde de fond, dont la zone de concentration maximale varie avec la position des sources de sédiments en suspension : embouchures des rivières côtières et remise en suspension pendant l'hiver, plateau médian durant l'été. La moyenne des concentrations de MES dans cette couche est comprise entre un à quelques milligrammes par litre. Le matériel particulaire dans la couche néphéloïde de fond est composé de particules fines (argiles et limons fins) qui ont tendance à former des agrégats jusqu'à 1 mm.

L'extension vers le large des structures néphéloïdes est limitée par la circulation générale le long de la pente qui balaye le matériel particulaire exporté du plateau et l'entraîne vers le Sud-Ouest. Les concentrations de MES sont plus élevées dans les têtes de canyons que sur les pentes voisines, révélant leur rôle de pièges naturels et de convoyeurs de matière particulaire vers la pente et le bassin profond.

⁷⁶ Plan d'action pour le milieu marin. Sous-région marine Méditerranée Occidentale. Evaluation initiale des eaux marines. Version Décembre 2012.

Turbidité de surface

Les turbidités moyennes mensuelles, mesurées à partir des données satellitales entre 2003 et 2009, reflètent la forte variabilité saisonnière de la turbidité minérale essentiellement liée à la remise en suspension des sédiments par les vagues en périodes hivernale. En région PACA, sauf événements exceptionnels, la turbidité n'est pas significative.

Guadeloupe⁷⁷

Dans le cadre du contrôle de surveillance des masses d'eau littorales au titre de la DCE, les valeurs de la turbidité mesurées sont comprises entre 0,11 et 1,73 FNU. Les valeurs mesurées apparaissent globalement faibles (< 0,6 FNU) sur la majorité des stations, mettant en évidence une bonne transparence des eaux de surface. Ces valeurs sont caractéristiques de zones littorales modérément soumises à des apports de particules d'origine terrigène. Ce résultat ne peut toutefois être extrapolé ni à toute la colonne d'eau, ni à des zones plus proches de la côte que les stations échantillonnées. Les valeurs maximales de turbidités sont observées en décembre (fin d'hivernage) sur la plupart des stations.

La valeur moyenne annuelle de turbidité la plus élevée (1,0 FNU) est constatée dans une zone soumise à des apports d'eau douce turbide (grandes rivières se jetant dans le Grand Cul-de-Sac marin) qui sont partiellement piégées sur cette zone de fond de baie. Le matériel d'origine terrigène drainé en mer pourrait expliquer la charge particulaire élevée observée sur cette station tout au long de l'année. Ce phénomène semble amplifié en saison des pluies.

⁷⁷ PARETO, IMPACT MER, ARVAM, ASCONIT, Réserve Naturelle de Saint-Martin (2013) : Directive Cadre sur l'Eau : réalisation du contrôle de surveillance des masses d'eau littorales de la Guadeloupe. Biologie, Physico-chimie, Hydromorphologie. Rapport de synthèse final (5^{ème} année de suivi). Tranche conditionnelle n° 4 (2012-2013), rapport final, octobre 2013.

Figure 100 : Variations saisonnières de la charge en turbidité en Guadeloupe

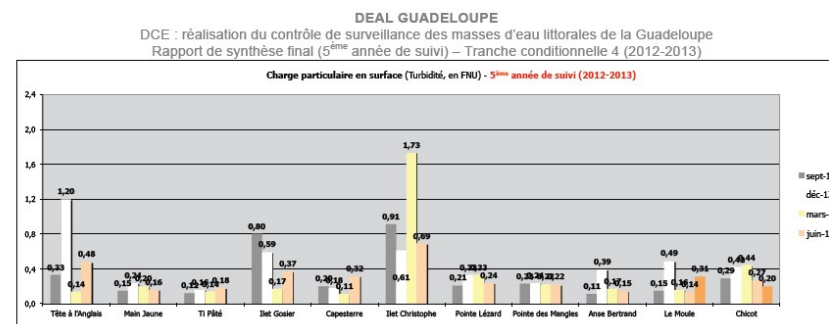


Figure 56 : variation saisonnière de la charge particulaire en surface sur les stations de surveillance au cours de la 5^{ème} année de suivi (sept. 2012 – juin 2013)

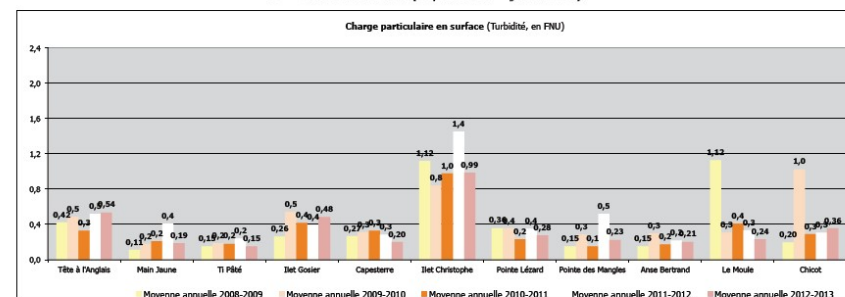


Figure 57 : Charges particulaires annuelles moyennes sur les stations de surveillance au cours des 5 années de suivi

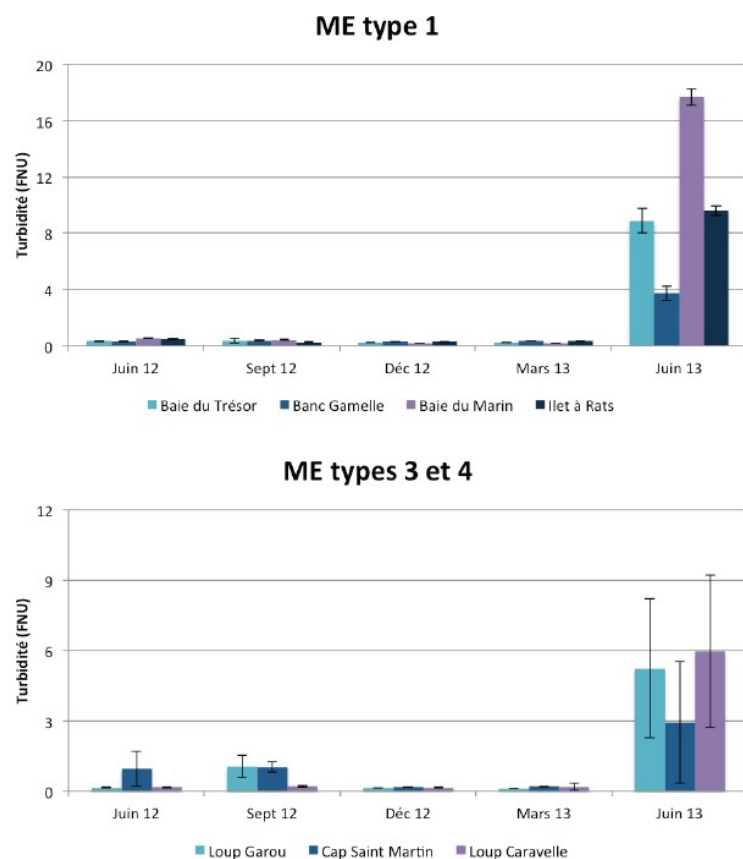
Martinique ⁷⁸

Dans le cadre du contrôle de surveillance des masses d'eau littorales au titre de la DCE, les valeurs de la turbidité mesurées varient de 0,1 à 1,1 FNU entre juin 2012 et mars 2013.

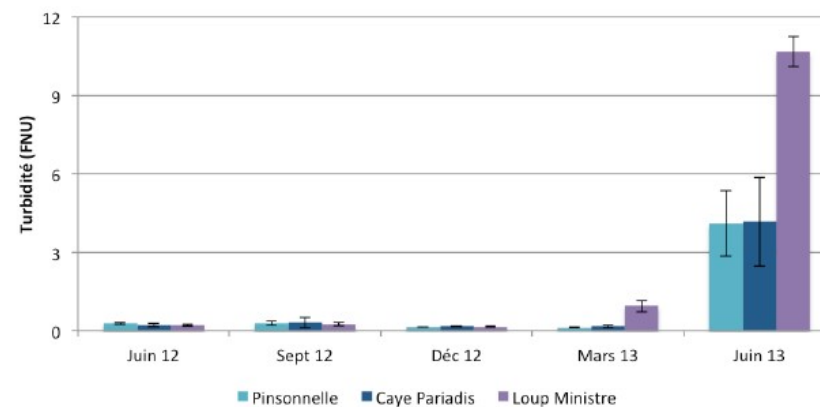
En moyenne, elles sont maximales pendant la saison humide (juin et septembre 2012) et minimales lors de la saison sèche (décembre 2012 et mars 2013). La campagne de juin 2013 se distingue nettement : elle est marquée par une augmentation significative des valeurs de turbidité, sur l'ensemble des masses d'eau. Lors de cette campagne, les valeurs étaient comprises entre 1,1 et 16,3 FNU. Les masses d'eau de types 1, 2, 6 et 7 présentaient les valeurs les plus élevées.

⁷⁸ Impact Mer, Pareto Ecoconsult, 2014. Suivi physicochimie et phytoplancton des eaux littorales de Martinique au titre de la Directive Cadre sur l'Eau. Année 2012-2013. Rapport de synthèse. Rapport pour DEAL Martinique, 71 p.

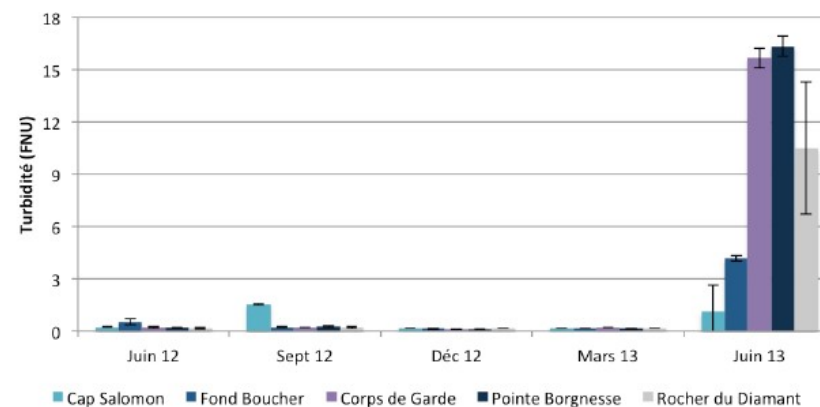
Figure 101 : Valeurs de turbidité (FNU) mesurées dans les masses d'eau côtières de la Martinique entre juin 2012 et juin 2013



ME type 2

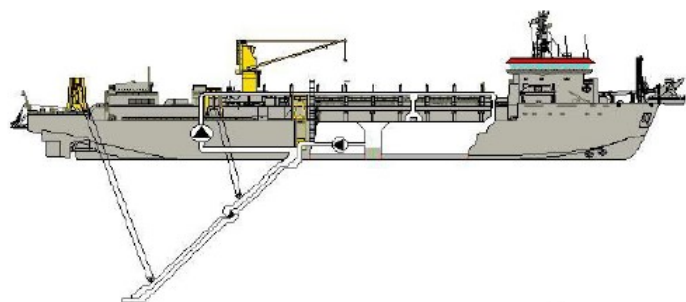


ME types 5, 6 et 7

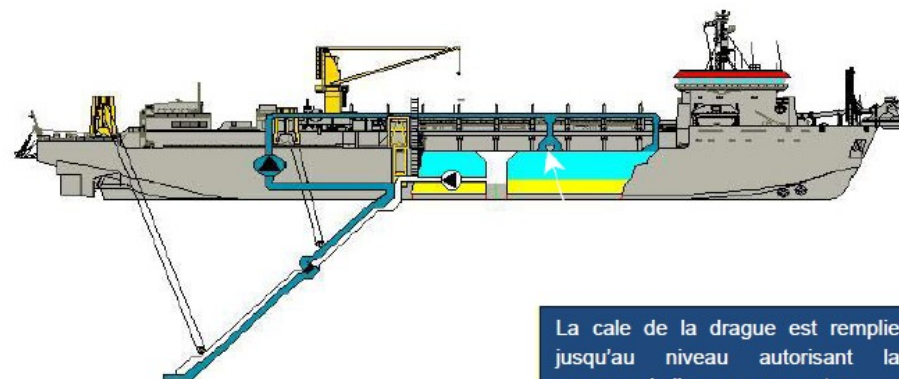
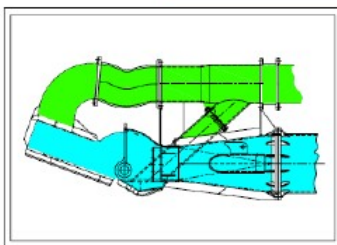


Annexe 7 : Description du fonctionnement d'une « green pipe » équipant une drague hydraulique

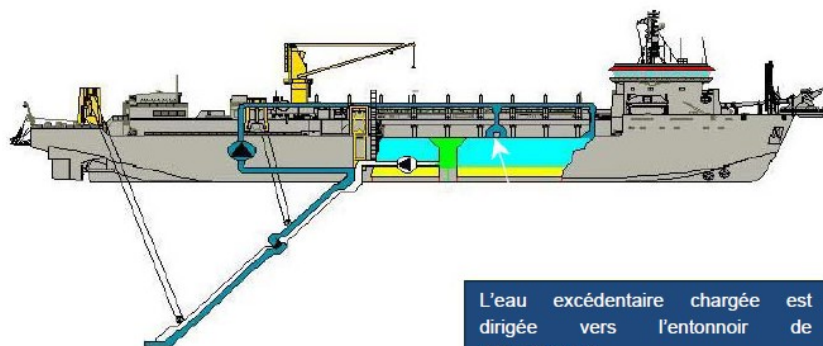
Lecture de la gauche vers la droite



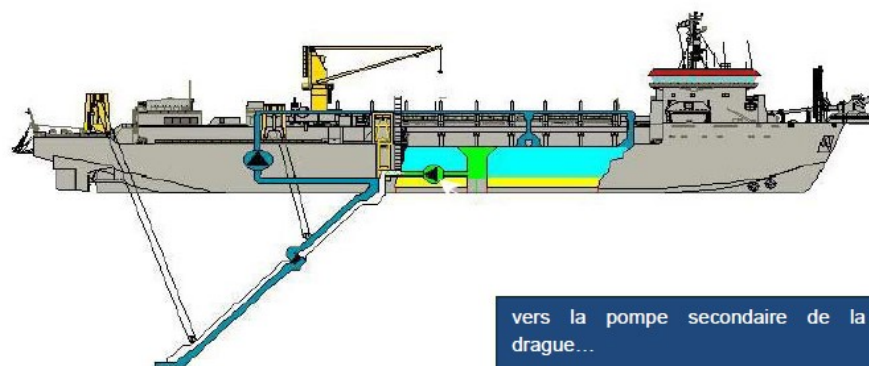
La surverse est pompée dans une conduite additionnelle (en vert) accouplée à l'élinde, jusqu'à l'embouchure de la tête d'élinde (en bleu) où elle est reprise par l'aspiration hydraulique.



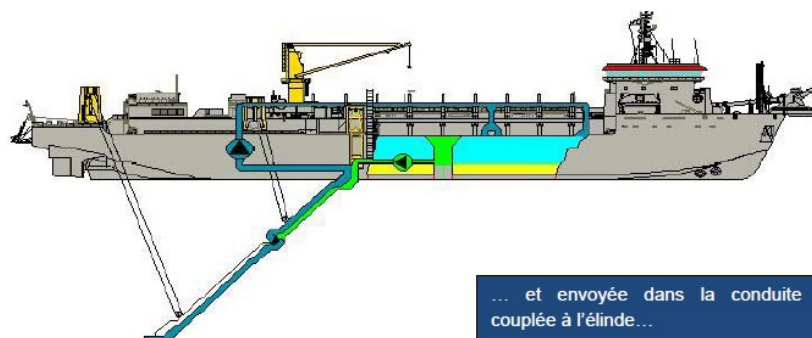
La cale de la drague est remplie jusqu'au niveau autorisant la surverse de l'eau surageant



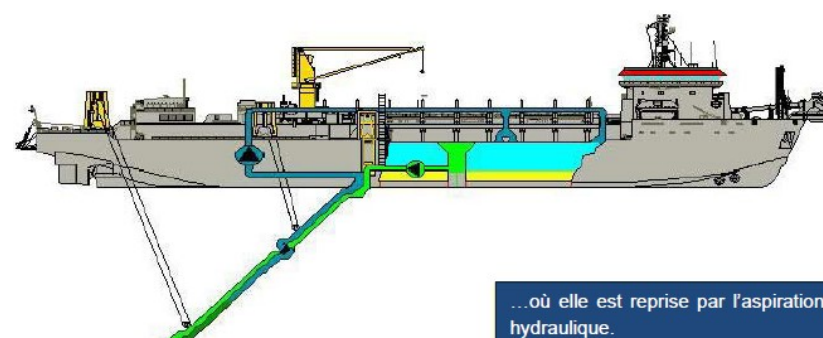
L'eau excédentaire chargée est dirigée vers l'entonnoir de débordement...



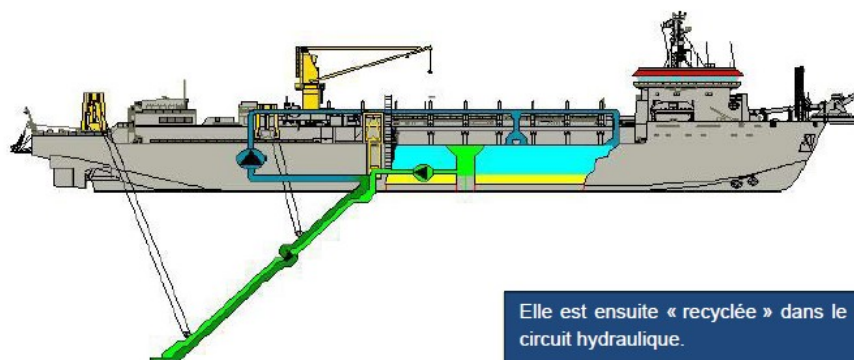
vers la pompe secondaire de la drague...



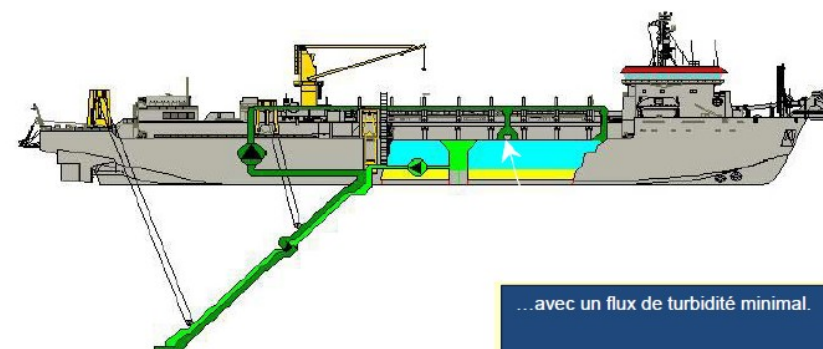
... et envoyée dans la conduite couplée à l'élinde...



...où elle est reprise par l'aspiration hydraulique.



Elle est ensuite « recyclée » dans le circuit hydraulique.



...avec un flux de turbidité minimal.

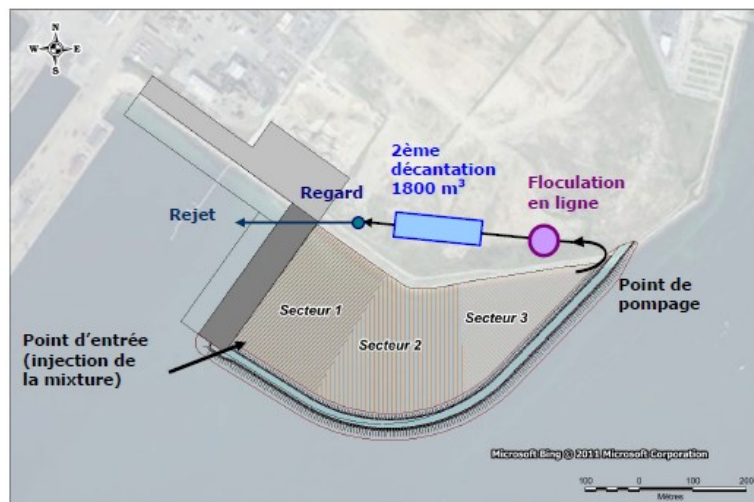
Annexe 8 : Gestion des matériaux de dragage utilisés pour la récupération de terrains sur la mer et la conservation du domaine public maritime naturel

Gestion des matériaux de dragage utilisés pour la récupération de terrains sur la mer

Gestion des matériaux de dragage dans le cadre du développement du port de Brest⁷⁹

Les matériaux de dragage issus de l'approfondissement de souilles et du chenal d'accès au port, sont réutilisés pour prolonger un terre-plein existant (Figure 102). Ils sont déposés derrière un endiguement. La méthode de remplissage du nouveau polder consiste principalement à refouler les sédiments à l'entrée du polder et un rejet par surverse du surplus des eaux de dragage en un point de rejet situé à l'opposé du point d'entrée.

Figure 102 : Localisation du polder et des points d'entrée du mélange et de sortie des eaux d'exhaure après décantation



⁷⁹ Région Bretagne. Projet de développement du port de Brest. Etude d'impact. Juillet 2014.

Le projet a fortement évolué en intégrant une conjugaison de multiples mesures de réduction :

- Élévation des digues pour augmenter la capacité du polder : l'altimétrie du couronnement de la digue d'enclosure a été élevée de + 11 m CM à + 13 m CM afin de pouvoir augmenter la capacité de remplissage du bassin et réduire les temps de surverse.
- Instauration d'une période de repos pour améliorer la décantation : plusieurs phases d'attente ont été prévues dans le planning de dragage afin de favoriser la sédimentation des particules dans le bassin.
- Remplacement dans certains secteurs du dragage hydraulique par du dragage mécanique : le dragage mécanique produit moins d'échappement de fines que le dragage hydraulique. Le dragage mécanique concerne les zones polluées et les zones en bord de quai/digue.
- Mise en place d'un géotextile dans le casier sur le talus de la digue d'enclosure pour limiter le passage des fines à travers l'ouvrage et accélérer le phénomène de colmatage de la digue (ouverture de filtration de diamètre égal à 70 µm).
- Installation d'une chaîne de traitement des eaux d'exhaure composée d'un bassin de décantation supplémentaire et d'un traitement par floculation en ligne pour réduire de manière significative les flux de MES dans les eaux de surverse.
- Installation d'un barrage anti-MES autour de la drague
- Ajustement du plan de dragage de façon à stocker les sédiments des zones polluées (souilles des quais commerce) dans le casier uniquement quand le colmatage de la digue sera atteint et tant que le casier ne sera pas plein, pour éviter une surverse. Ainsi, le dragage en début de phase 2, (qui correspond à un dragage du chenal 6ème ouest et de la souille PFM), s'effectuera après pompage des eaux décantées et donc il n'y aura pas de rejet par surverse.

- Modification du calendrier de dragage pour réduire les rendements et prendre en compte par précaution les risques biologiques liés à la présence éventuelle de kystes d'*Alexandrium* spp.

Gestion des matériaux de dragage dans le cadre de la construction d'un poste de déchargement d'hydrocarbures dans l'avant-port du port de Sète

Les fonds marins à l'emplacement du poste de déchargement sont actuellement compris entre - 2 m et - 14,5 m ZH. Un dragage de 865 000 m³ de sables est nécessaire pour obtenir le tirant d'eau désiré à - 14,5 m ZH.

Le Port de Sète a émis le souhait de pouvoir valoriser ces sables hydrauliques pour de futurs travaux, sans faire appel à des matériaux de carrière. Le projet prévoit donc de déposer les matériaux extraits dans la zone ZIFMAR, située à quelques centaines de mètres au Nord-Est et dans les limites administratives du port.

Ce dépôt sera effectué à l'intérieur d'un casier ceint par une digue d'enclosure qui sera construite préalablement. Le refoulement des sédiments à dominante sableuse sera exécuté par voie hydraulique via une conduite aboutissant dans le casier de confinement, le dragage s'effectuant avec une drague aspiratrice en marche ou stationnaire. La mixture sera composée d'à peu près 20 % de sédiments et de 80 % d'eau.

La méthode de remplissage du casier consiste à refouler les sédiments en un point d'entrée du casier et de rejeter par surverse le surplus de la mixture au niveau d'un point de rejet situé à l'opposé du point d'entrée. Il est retenu que le point de surverse soit situé au sud-ouest du casier, considérant qu'il est le point le plus éloigné des prises d'eau de mer destinées à l'alimentation des installations conchyliques du port de pêche de Frontignan. Cette

condition fixée, le déversement de la mixture est positionné au point opposé, soit au nord-est. En fonction du remplissage, le dépôt des sédiments progressera au fur et à mesure vers le point de surverse.

Deux maîtres d'ouvrage sont concernés : la Région Occitanie pour la digue d'enclosure - à terme, le polder sera occupé par des activités industrialo-portuaires au sein du port de Sète géré par la Région - et un industriel pour le poste de déchargement. Les deux maîtres d'ouvrage ont cordonné leurs actions pour adopter un plan commun de maîtrise de la turbidité lors de la réalisation de travaux.

Figure 103 : Construction de la digue d'enclosure qui délimite le casier qui sera rempli avec les sédiments dragués par refoulement hydraulique

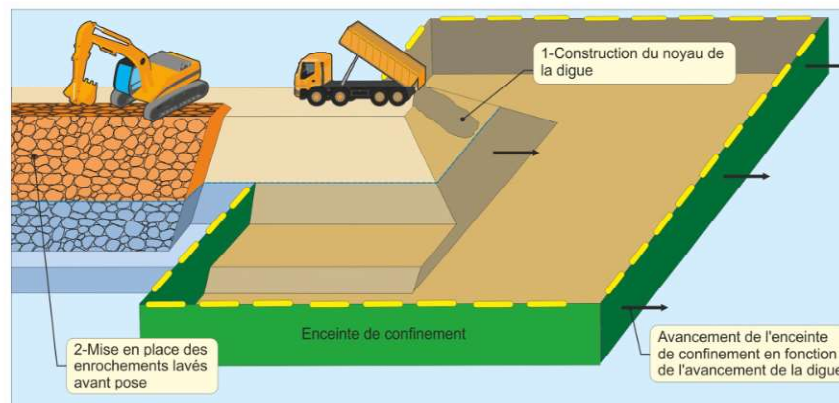
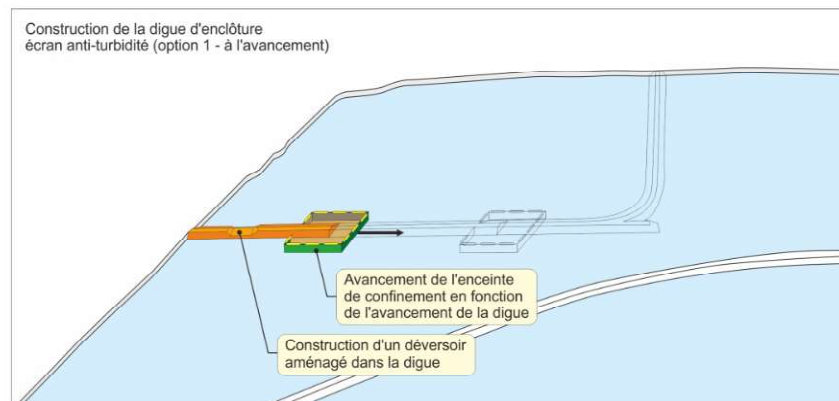
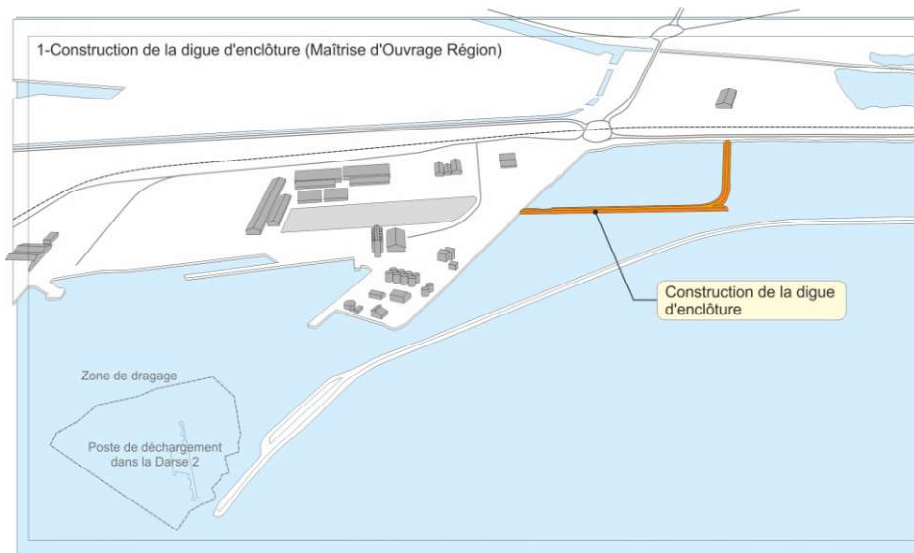
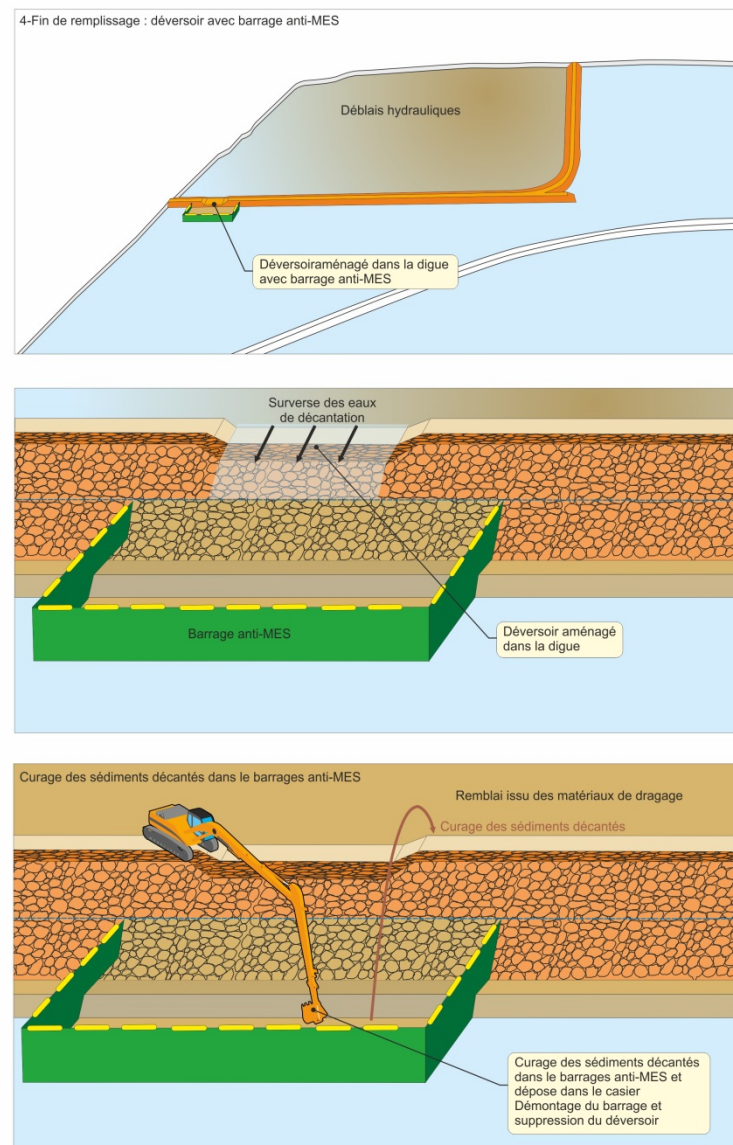
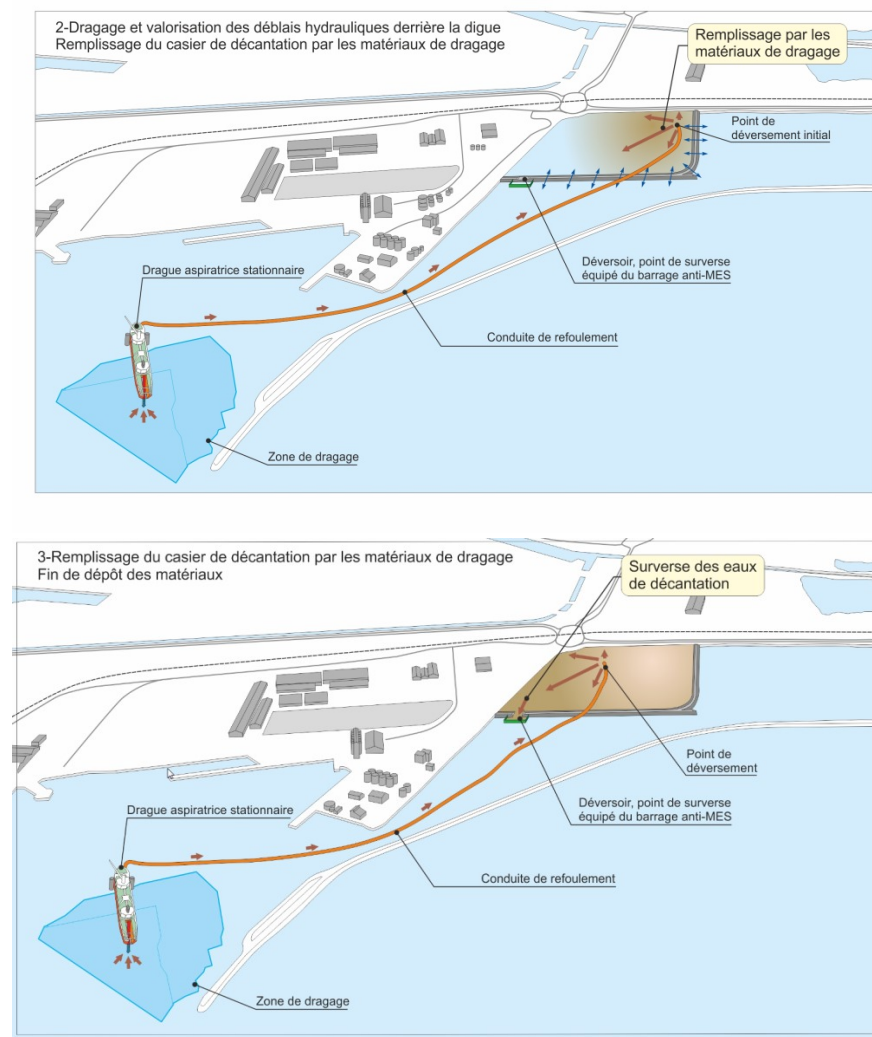


Figure 104 : Remplissage du casier par refolement hydraulique



Gestion des matériaux de dragage utilisés pour la conservation du domaine public maritime

Travaux de protection contre la mer et de mise en valeur du lido de Frontignan

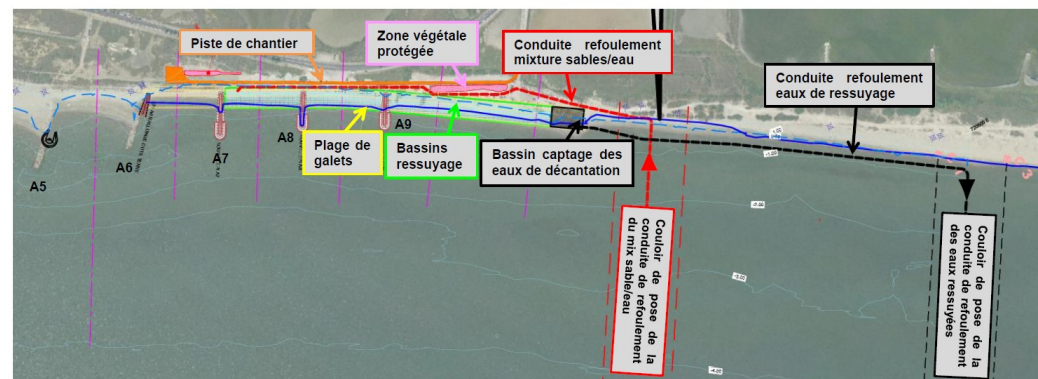
La tranche 1 du programme, entre le port de Sète à l'Ouest et les Aresquiers à l'Est, comprend la réfection des épis et l'aménagement du cordon dunaire à l'Est immédiat du port de Sète, la construction et la réfection des épis, le rechargement des plages et la création d'un cordon d'arrière-plage au niveau des Aresquiers et de la Dent Creuse .

Les travaux de la tranche 1 ont été exécutés entre octobre 2014 et mai 2015 et ont fait l'objet d'un suivi environnemental à terre et en mer : inventaires faune/flore, balisage des zones à protéger, suivi de la turbidité et des matières en suspension, suivi de la luminosité, survols aériens, etc ⁸⁰.

Le chantier de ressuyage des sables lors des travaux de rechargement des plages a été organisé selon le schéma de la Figure 105.

⁸⁰ THAU AGGLO. Opération de protection et de mise en valeur du lido de Frontignan. Synthèse du suivi environnemental des travaux, tranche 1. Octobre 2015.

Figure 105 : Travaux de protection du lido de Sète (tranche 1) : organisation de l'atelier de ressuyage des sables destinés à recharger la plage



- Conduite immergée de refoulement du mélange sables/eaux depuis les dragues aspiratrices en marche (DAM) jusqu'à la plage dans un chenal à fonds sableux de 10 m de large, exempt d'herbiers de Posidonie et de récifs ; embout de raccordement flottant à 615 m au large.
- Conduite de refoulement du mélange à terre de 615 m de long pour alimenter l'ensemble du bassin de ressuyage depuis l'arrivée de la conduite immergée jusqu'à l'Ouest du bassin de ressuyage.
- Aménagement de la zone de rechargement sur les soubassements en galets du secteur Aresquiers Est sur une largeur de 33 m et sur une longueur de 700 m environ (volume utile de 12 000 m³).
- Merlons en galets (matériaux en place), ceinturant cette zone permettant la filtration du mélange refoulé.
- Point de captage des eaux de ressuyage à l'extrémité Est de cette zone et pompage par refoulement.

- Conduite de refoulement hors-sol (eaux de ressuyage) depuis la limite Est de la zone de ressuyage vers le Nord-Est en limite de zone des herbiers de Posidonie d'environ 600 m (cheminement sur le haut de plage et rejet dans l'eau).

Lors du chantier, les eaux de ressuyage n'ont pas nécessité d'être rejetées via la conduite de refoulement hors sol (cf. dernier alinéa ci-dessus) ; le mélange sable/eau s'est en effet intégralement ressuyé au travers des matériaux constitutifs du casier (sables et galets) en percolant en mer.

Annexe 9 : Détermination de seuils de turbidité en fonction de l'intensité, la durée et la fréquence de l'évènement

Hypothèses

La méthodologie repose sur le fait que la turbidité résultant des travaux de clapage des matériaux de dragage du GPMG doit rester dans des gammes comparables aux valeurs environnementales afin de minimiser le stress subi par les communautés biologiques présentes. Pour ce faire, trois facteurs sont analysés :

- l'intensité de la turbidité,
- la durée,
- et la fréquence des évènements.

L'hypothèse des auteurs⁸¹ est la suivante : les plus fortes turbidités mesurées dans l'environnement ont très probablement une incidence sur les communautés biologiques (cas d'évènements exceptionnels), mais pour certaines de ces valeurs, la faible durée/fréquence des pics permet, dans la plupart des cas, la résilience de l'écosystème.

L'intensité

Deux seuils sont définis dans les travaux de MacArthur *et al.* (2002) :

- Un « **seuil maximal** » à ne pas dépasser quelle que soit la fréquence et la durée du pic.
- Un « **seuil limite** » à ne dépasser que sous certaines conditions de durée et de fréquence.

Ce seuil maximal est défini comme étant le Percentile 99 des turbidités naturelles. Ceci signifie que 99 % des valeurs naturelles sont en dessous de ce seuil maximal.

⁸¹ M. Thabard et A. Pouget-Cuvelier., 2013. Définition de seuils travaux pour les opérations de dragage et de clapage. Grand Port Maritime de La Guadeloupe. Impact-Mer

$$[\text{Turbi}]_{\text{naturelle}} + [\text{turbi}]_{\text{travaux}} < P99_{\text{naturel}}$$

Le seuil limite est défini comme étant une valeur à ne dépasser que sous certaines conditions de durée et de fréquence des pics. Il correspond au Percentile 95 des valeurs naturelles.

La durée

De même la durée de « pics » de turbidité liés aux travaux ne doit pas excéder les durées des « pics naturels ». Par conséquent, des expositions à des stress de turbidité supérieurs au **seuil limite** ne pourront avoir lieu que si leurs durées sont compatibles avec les durées naturelles. De plus, les durées des « pics » supérieures au P95 (des durées de pics naturels) ne seront pas tolérées.

La fréquence

Il en va de même pour la fréquence des évènements observés. Des expositions à des turbidités supérieures au **seuil limite** ne pourront avoir lieu que si leurs fréquences sont compatibles avec les fréquences naturelles.

Afin de définir objectivement les seuils de travaux, la méthodologie de calcul du seuil maximal et du seuil limite de ces auteurs a été retenue. Ces seuils ont été calculés sur des valeurs de turbidité (NTU) sans transformation en valeurs de MES, comme cela est le cas dans les travaux de McArthur *et al.*, 2002. Cette solution a été privilégiée car les valeurs disponibles sur la zone ont été mesurées en NTU et les sondes qui seront installées feront des relevés de turbidité en NTU.

En revanche, dans leur méthodologie, les fréquences des pics de turbidité au-delà du seuil limite ont été définies par classe de durée. Ceci induit la définition d'un grand nombre de fréquence et durée pour chaque station,

ce qui n'est pas/peu compatible avec un suivi opérationnel pendant la période de travaux et l'émission d'alertes de dépassement.

Par conséquent, il a été décidé de définir UNE fréquence et UNE durée de temps maximales autorisées par secteurs/stations considérés.

Les seuils pour la zone « dragage »

Les données d'entrée reposent sur deux campagnes de mesures de la turbidité (NTU) en milieu naturel dans la baie de Pointe à Pitre pendant 40 jours en saison sèche et humide. Une fois éliminées toutes les anomalies de mesures (dérive due au fouling sur les sondes de mesure), les valeurs représentatives du milieu naturels ont été retenues (tableau 53).

Tableau 53 : Valeurs de turbidité considérées comme environnementales à la suite des traitements statistiques (PARETO & IMPACT MER, 2012)

		Valeurs considérées comme environnementales				
		Régime courant		Valeur extrême du régime perturbé	médiane	moyenne
		min	max			
Campagne 1	Sonde Nord	0,60	15,90	30,00	4,30	4,72
	Sonde Sud	0,10	14,00	19,40	2,10	2,91
Campagne 2	Sonde Nord	0,10	18,80	29,80	2,10	2,90
	Sonde Sud	0,10	18,00	44,80	3,28	4,70

Seuil MAX et seuil LIMITE

Les percentiles 99 calculés aux stations Nord et Sud varient beaucoup entre les deux stations mais également entre les saisons (Tableau 54). La proximité de la Rivière Salée explique probablement ces grandes différences.

Deux seuils ont donc été retenus :

- les seuils définis pour la station Nord, appliqués uniquement à cette station,

- les seuils définis pour la station Sud seront appliqués aux deux stations complémentaires.

Tableau 54 : Seuils de turbidité MAX et LIMITE en NTU définis pour les stations Nord et Sud

	Seuil Max (P99%)		Seuil Limite (P95%)	
	Saison humide	Saison sèche	Saison humide	Saison sèche
Station Nord	19,322	15,017	7,435	9,3
Station Sud	16,98	15,8	10,3	8,6

Occurrence et fréquence de turbidité au-delà du seuil LIMITE

Les occurrences et fréquences de pics de turbidités au-delà du seuil LIMITE varient en fonction des stations et des saisons. La durée maximale tolérée, tous sites confondus, est de 114 minutes (Tableau 53) avec une fréquence de 71 pics pour 40 jours (durée des mesures faites lors des deux campagnes). La fréquence maximale de pics autorisée est de 136 (Tableau 55).

Tableau 55 : Limites de durées de temps acceptables pour les pics de turbidité en fonction des stations et des saisons

	Site Sud Saison Humide	Site Sud Saison Sèche	Site Nord Saison Humide	Site Nord Saison Sèche
Limite de durée acceptable (P95)	40	50	114	120
Fréquences de pics acceptables pour 40 jours	136	100	71	96

Le site Nord localisé à proximité de la rivière salée permet des dépassements plus long mais moins nombreux que le site sud.

Les seuils pour la zone « clapage »

Seuil MAX et seuil LIMITE

Les percentiles 99 calculés aux stations de Goyave et Caye à Dupont varient quelque peu entre les saisons et les profondeurs (Tableau 56). D'une manière générale, les seuils de turbidité sont plus élevés en saison humide qu'en saison sèche. Les écarts sont moins importants entre les stations.

Tableau 56 : Seuils de turbidité MAX et LIMITE en NTU aux stations Caye à Dupont et Goyave

	Seuil Max (P99%)		Seuil Limite (P95%)	
	Saison humide	Saison sèche	Saison humide	Saison sèche
Caye à Dupont	4,8	1,5	2,0	1,23
Goyave	2,4	1,23	0,9	0,71

Pour assurer une surveillance opérationnelle des turbidités en temps réel, il n'est pas possible d'établir une multitude de seuils pour l'ensemble des stations de suivi. La saison étant un des paramètres les plus influents, les valeurs des seuils ont été regroupées afin de définir un seuil MAX et un seuil LIMITE en saison sèche et en saison humide. Ont été retenus les seuils de turbidité les plus forts (Tableau 57).

Tableau 57 : Seuils de turbidité MAX et LIMITE (en NTU) définis pour l'ensemble des stations « clapage »

Seuils retenus pour les stations			
Saison sèche		Saison humide	
Seuil Max	Seuil limite	Seuil Max	Seuil limite
1,5	1,23	4,8	2

Occurrences et fréquence de turbidité au-delà du seuil LIMITE

Les occurrences et fréquences de pics de turbidités au-delà du seuil LIMITE varient en fonction des stations et des saisons. La durée maximale tolérée, tous sites confondus, est de 342 minutes (Tableau 58). La fréquence maximale de pics autorisée est de 105 pics pour 40 jours.

Tableau 58 : Limites de durées de temps acceptables pour les pics de turbidité en fonction des stations et des saisons

	Caye à Dupont humide	Caye à Dupont sèche	Goyave humide	Goyave sèche
Limite de temps acceptable (P95) en minutes	342	93,4	304	67,5
Fréquences de pics acceptables pour 40 jours	21	79	22	105

Les fréquences des dépassements du seuil LIMITE pour les stations en saison humide sont très similaires contrairement à la saison sèche. Comme évoqué précédemment, les limites définies doivent être applicables à l'ensemble des stations « clapage » pour des raisons logistiques.

Par conséquent, les valeurs observées dans l'environnement les plus fortes ont été retenues. Ces valeurs sont représentatives de conditions naturelles « normales » et sont donc compatible pour la définition de seuils pour les travaux (Tableau 59).

Tableau 59 : Durées (en minutes) et fréquences des pics de turbidité tolérables > au seuil LIMITE en fonction des saisons pour les stations « clapage »

	Saison Humide	Saison sèche
Limite de temps acceptable (P95) en minutes	342	93,4
Fréquences de pics acceptables pour 40 jours	22	105

Annexe 10 : Seuils de tolérance à la turbidité : application à trois espèces méditerranéennes

Définitions

Les activités de dragage ont une incidence potentielle sur la santé des espèces marines sensibles (herbiers marins, coraux) et sur les phases de vie sensibles (œufs, larves). Le dragage et l'immersion peuvent causer des changements considérables de l'environnement abiotique (perturbation des sédiments, incidences sur la qualité de l'eau, altération du fond marin, changement des propriétés hydrodynamiques et bathymétriques). Lorsque des espèces sensibles sont présentes dans la zone d'influence des activités de dragage et de dépôt des sédiments, il est important de prendre en considération les seuils de tolérance de ces espèces à ces changements afin d'éviter ou minimiser les incidences environnementales potentielles par une gestion réactive (Doorn-Groen, 2007 ; Bray, 2008 ; Sofonia et Unsworth, 2010).

Dans ce contexte, il est possible de distinguer les seuils de tolérance et les déclencheurs de gestion :

- **Seuils de tolérance** : ils décrivent des variables environnementales (généralement exprimées en niveaux, taux ou concentrations ou calculés en tant que percentiles, durées ou fréquences spécifiques sur une certaine période) qui sont considérées représentatives des seuils de tolérance d'une espèce sensible particulière. De telles variables se réfèrent normalement à des paramètres abiotiques (tels que turbidité, sédimentation, etc.) qui seront probablement affectés par l'activité (dragage ou immersion).
- **Déclencheurs de gestion** : ce sont des critères spécifiés qui - s'ils sont dépassés pendant les activités de dragage - déclenchent une réaction de gestion. Ils peuvent concerner des valeurs soit abiotiques (turbidité), soit biotiques (indicateurs

avertisseurs précoces de l'état de santé d'un récepteur sensible). Ici aussi, ces variables sont généralement exprimées en tant que niveaux, taux ou concentrations, ou sont calculés en tant que percentiles, durées ou fréquences spécifiques sur une certaine période. Les déclencheurs de gestion sont souvent établis dans le cadre d'un « management adaptatif ».

Détermination de seuils pour des espèces protégées en Méditerranée⁸²

Les espèces visées sont :

- la posidonie *Posidonia oceanica*,
- la grande nacre *Pinna nobilis*,
- et le corail rouge *Corallium rubrum*.

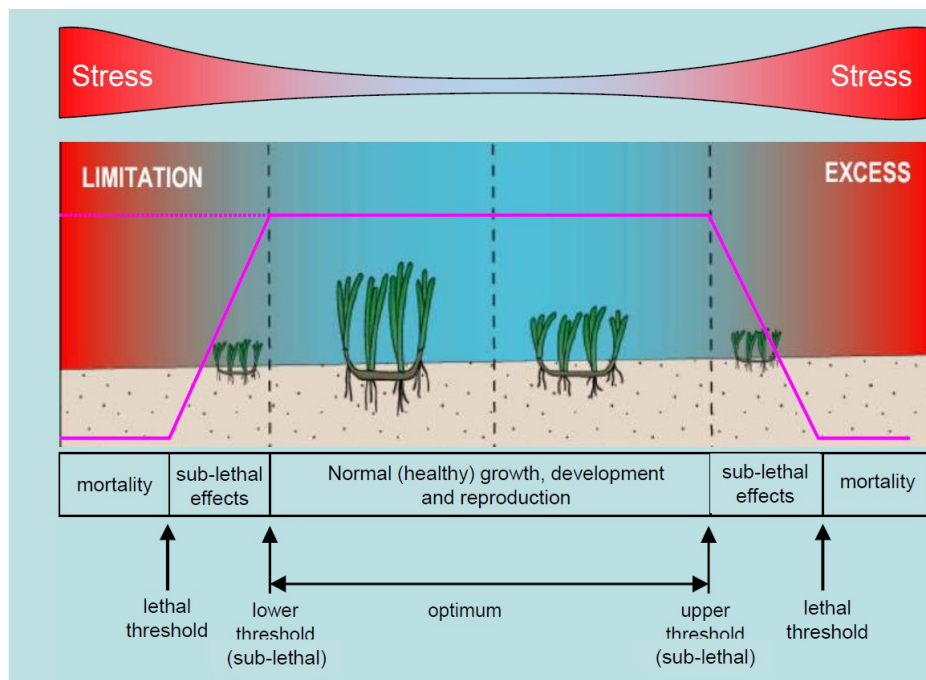
Les seuils de tolérance décrivent normalement les limites inférieure et supérieure que peut tolérer une espèce sensible et, au-delà desquels, des conséquences indésirables (effets sublétaux ou létaux) peuvent se produire.

Les seuils de tolérance peuvent être déduits de trois sources principales :

- la documentation scientifique,
- les conditions de référence environnementales locales,
- et l'expérience de programmes de dragage antérieurs.

⁸² Erftemeijer, P., 2016. Facteurs de perturbation de l'environnement associés aux activités de dragage et analyse bibliographique de la sensibilité de trois espèces critiques méditerranéennes. Étude documentaire préparée pour Jan de Nul. Non publié.

Figure 106 : Schéma conceptuel (exemple) des seuils de tolérance d'un récepteur sensible (herbier marin) pour une variable environnementale (In Erftemeijer, 2016)



Dans un premier temps, les auteurs ont effectué une étude documentaire portant sur la connaissance des effets sur ces espèces des facteurs perturbateurs liés aux opérations de dragage : turbidité, lumière disponible et sédimentation.

Dans un second temps, ils ont défini des seuils :

- **d'intensité**, à savoir les valeurs moyennes considérées comme représentant les exigences minimales à long terme de ces espèces,
- **de durée des conditions défavorables**, les espèces sont en effet capables de tolérer et de survivre pendant de courtes périodes en cas de dépassement de ces seuils, une situation qui se produirait naturellement, par exemple suite à une forte tempête de sud-est ou lors d'une crue d'une rivière côtière.

Selon la disponibilité des données scientifiques, les auteurs ont considéré :

- la **durée maximale** pendant laquelle l'espèce peut tolérer des conditions en-deçà des exigences minimales (herbier de posidonie),
- **à défaut, un pourcentage du critère temps** équivalent à la durée de perturbations survenant naturellement dans les conditions générales (tempête, crue provoquant une turbidité et une remise en suspension des sédiments importantes).

Durée des conditions défavorables tolérées par les herbiers marins

La durée de la période pendant laquelle les différentes espèces peuvent survivre dans de faibles niveaux d'éclairage est importante. Les fluctuations temporaires du niveau de turbidité peuvent être supportées par la plante, en fonction de la nature des espèces et de la période des conditions d'éclairage non optimales (Westphalen *et al.*, 2004). Des expériences en laboratoire ont démontré que certains herbiers marins peuvent survivre avec des intensités lumineuses en dessous de leurs besoins vitaux pendant des périodes allant de quelques semaines à plusieurs mois (Erftemeijer, 2006; Erftemeijer et Lewis, 2006).

La période de survie des herbiers marins dans des conditions inférieures au besoin minimal de lumière est plus courte chez les espèces plus petites qui ont une capacité de stockage d'hydrates de carbone inférieure à celle des espèces plus grandes, tel que *Posidonia* spp. Les preuves dans la documentation sont abondantes, suggérant que les herbiers de *Posidonia* spp. sont capables de survivre au moins 60 jours dans des conditions d'éclairage défavorables (à savoir en dessous du niveau de lumière minimal requis), en utilisant les réserves d'énergie stockées dans leurs rhizomes (Erftemeijer, 2006 ; Erftemeijer et Lewis, 2006).

On a toutefois noté des effets significatifs sur les herbiers de Posidonies lorsque les conditions défavorables sont maintenues pendant des périodes beaucoup plus longues. Par exemple, une étude récente effectuée par Serrano *et al.* (2011) a révélé que *Posidonia oceanica* subissait une réduction de 61 % de la croissance des feuilles après 120 jours d'ombrage soutenu à ~ 1 % de la lumière ambiante.

L'enfouissement expérimental de courte durée, suivie par l'enlèvement du sédiment déposé (pour simuler l'enlèvement qui se produirait naturellement lors de la remise en suspension significative ou de transport des sédiments) n'a généralement pas effet sur les herbiers marins (Erftemeijer, 2006; Erftemeijer et Lewis, 2006), mais un enfouissement artificiel soutenu de l'herbier marin *Posidonia oceanica* sous une couche de sédiments allant jusqu'à 15 cm a entraîné la mortalité de la plante à 100 % après 200 à 300 jours (Manzanera *et al.*, 1995).

Durée des conditions défavorables tolérées par le corail rouge

Les coraux aussi ont la capacité de survivre temporairement des conditions défavorables en utilisant les réserves d'énergie stockées dans leur tissu (Harriott, 1993). Pour preuve, lors d'un événement de mortalité massive de coraux rouges en France, on a découvert que le taux de mortalité dépendait de la taille de la colonie, les petites colonies ayant un taux de mortalité plus élevé que les colonies plus grandes (Garrahou *et al.*, 2001).

On pense qu'en général, les colonies plus petites périssent complètement ou ne sont pas à même de survivre aux dommages causés par un événement perturbateur parce qu'elles disposent de réserves énergétiques inférieures ou de moins de matière pour réparer les pertes tissulaires (Connell, 1973; Jackson, 1979). Une étude détaillée de la matière organique particulaire dans les grottes méditerranéennes à Marseille, en France, a révélé une croissance normale de *Corallium rubrum* dans un environnement où les pointes saisonnières de particules totales en suspension dépassent 4 mg/l (Fichez, 1991).

La période de survie du corail aux niveaux de turbidité élevée varie de quelques jours (espèces très sensibles) à au moins 5 à 6 semaines (espèces tolérantes) (Erftemeijer *et al.*, 2012).

Negri *et al.* (2008) ont découvert que la mortalité ne se produit qu'après une exposition continue à des niveaux élevés de sédimentation pendant plus de 4 semaines chez deux espèces de corail dans le nord de l'Australie.

En l'absence d'informations spécifiques à l'espèce concernant la sensibilité du *Corallium rubrum*, il est présumé - sur la base de ce qui précède - que sa tolérance aux niveaux élevés de turbidité et de sédimentation est de l'ordre de 14 jours (subléta) à 28 jours (léta). Ceci est un ordre de grandeur similaire à la durée des effets de remise en suspension / dépôt sous l'effet de phénomènes naturels provoquant une forte turbidité (crue de rivières côtières, exutoires pluviaux, tempête de vent marin) que l'on rencontre de 5 à 10 fois par an dans cette région de la Méditerranée (Englebreton and Gilmour, 1988; Sanchez-Arcilla *et al.*, 2008; Palanquez *et al.*, 2011).

Durée des conditions défavorables tolérées par la grande nacre

Des études ont démontré que les filtreurs, en particulier les bivalves dont *Pinna nobilis*, ont une grande capacité d'adaptation en réponse à des niveaux accrus de sédiments en suspension lors d'orages périodiques, maintenant leur activité alimentaire sur une vaste plage de charges particulières et de concentrations de sédiments en suspension (Newell et al., 1989).

Les niveaux élevés de sédiments en suspension peuvent réduire la croissance des bivalves en réduisant le taux de pompage des organes qui assurent la respiration et l'alimentation et en provoquant un stress métabolique. À des concentrations plus élevées, les bivalves arrêtent de pomper complètement et une exposition prolongée à de telles conditions entraîne la mort (John et al., 2000). De telles conditions peuvent affecter l'activité de pompage de la Grande nacre, réduisant la durée d'ouverture des valves et favorisant leur fermeture (Garcia-March et al., 2008).

A titre comparatif, les auteurs estiment que la sensibilité de *Pinna nobilis* serait similaire à celle d'une autre espèce proche *Atrina zelandica*, pour laquelle les effets sublétaux se manifesteraient lorsque les MES dépassent 80 mg/l pendant au moins 3 jours consécutifs (Ellis et al., 2002; Hewitt et Pilditch, 2004).

Au regard des données de la littérature, la sensibilité du *Pinna nobilis* à la sédimentation peut être estimée similaire à celle de *Posidonia oceanica* avec laquelle le mollusque bivalve est étroitement associé : à savoir, 50 mm pour des effets sublétaux et 150 mm pour des effets létaux.

Les auteurs suggèrent que la tolérance de *Pinna nobilis* à des périodes prolongées de turbidité de pointe et de forte sédimentation est de l'ordre de deux semaines à peu près équivalent à la durée des effets de remise en suspension ou de dépôt provoqués par des événements naturels exceptionnels (Englebreton et Gilmour, 1988; Sanchez-Arcilla et al., 2008; Palanquez et al., 2011).

Tableau 60 : Seuils de tolérance : Intensité

Espèces	Luminosité (% de RS - Radiation à la surface)	Concentration de MES (mg/l)	Sédimentation
<i>Posidonia oceanica</i>	Sub-létal = 4.4-16.7 % RS Létal = 4.4 % RS	n.a.	Létal = 50 mm Sub-létal = 40 mm (durée < 1 an)
<i>Pinna nobilis</i>	n.a.	Maximum = 80 mg/l	Sub-létal = 50 mm Létal = 150 mm
<i>Corallium rubrum</i>	Minimum = 0.05 % RS Maximum = 3 % RS	Jusqu'à 4 mg/l	Maximum = 10 mg/cm ² ou 0,2 mm par jour

Tableau 61 : Seuils de tolérance : Durée

<i>Posidonia oceanica</i>	Moyenne glissante sur 60 jours	n.a.	En cumulé, sur un an
<i>Pinna nobilis</i>	n.a.	Sub-létal = moyenne glissante sur 3 jours Létal = moyenne glissante sur 14 jours	Moyenne glissante sur 14 jours
<i>Corallium rubrum</i>	Sub-létal = moyenne glissante sur 14 jours Létal = moyenne glissante sur 28 jours	Sub-létal = moyenne glissante sur 14 jours Létal = moyenne glissante sur 28 jours	Sub-létal = moyenne glissante sur 14 jours Létal = moyenne glissante sur 28 jours

Annexe 11 : Surveillance de la turbidité et de la sédimentation pendant les chantiers de dragage

La turbidité peut être surveillée pendant le chantier de dragage avec des moyens gradués qui doivent être choisis en fonction des enjeux environnementaux et de l'acceptabilité des parties prenantes (cf. tableau 32 dans le corps du document).

Visualisation de la turbidité

La visualisation du panache turbide peut être obtenue par des moyens :

- fixes tels qu'une ou plusieurs caméras panoramiques 360° installées sur un point haut pouvant filmer le site de dragage,
- et aériens (ULM, drone) réservés à la surveillance des dragues et des barges notamment sur le site d'immersion.⁸³

La visualisation du panache turbide permet :

- d'alerter le maître d'œuvre et l'Entreprise sur les premières manifestations de turbidité aussi bien sur les sites du dragage que d'immersion,
- de corrélérer la direction du panache avec les conditions météo-océanologiques et de vérifier qualitativement les prévisions de déplacement du panache faites par modélisation si celle-ci est mise en œuvre.
- d'informer le public et d'expliquer les causes de la turbidité et leurs conséquences environnementales ; dans ce contexte, le dispositif permet aussi d'enregistrer des épisodes de turbidité se produisant lors de phénomènes naturels (extension en mer du panache d'un cours d'eau ou d'un émissaire pluvial pendant une période de pluie, tempête de vent de secteur marin...) et ainsi de relativiser les incidences du chantier au regard des événements naturels (intensité et durée de l'épisode turbide).

⁸³ Une caméra montée sur une drague ou une barge permet aussi de conserver un enregistrement vidéo de l'exécution de l'immersion.

Les enregistrements vidéo, en visualisation direct ou par relecture, peuvent être consultés par le public sur un site web dédié au chantier et à son suivi.

Figure 107 : Visualisation de la zone des travaux du projet d'extension en mer de la Principauté de Monaco : caméras aériennes et sous-marines de vidéosurveillance (Bouygues TP et Direction de la Communication de la Principauté)

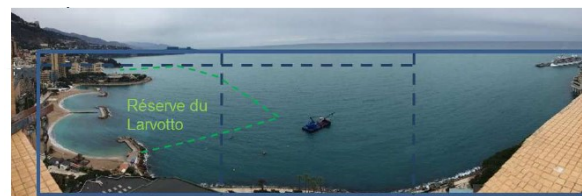
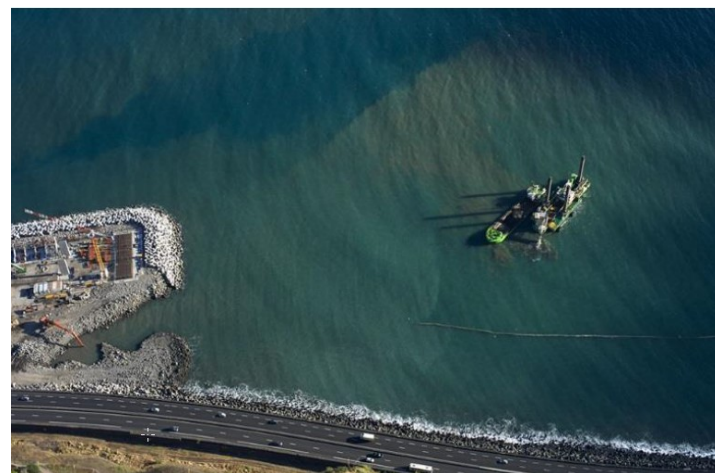


Figure 108 : Suivi du travail de la drague et des panaches de turbidité par moyens aéroportés (ULM) dans le cadre des travaux de la NRL



Mesure simplifiée de la turbidité

La turbidité peut être appréciée avec un simple disque de Secchi ⁸⁴ qui permet de nombreuses mesures faciles à exécuter à partir d'une embarcation légère, ou d'un ponton. Les résultats sont immédiats.



Cette technique est recommandée pour les petits chantiers dans des sites avec des enjeux environnementaux maîtrisables.



Dans cet exemple, un dragage de quelques centaines de mètres cubes de sables vaseux est opéré pour disposer un connecteur mécanique entre deux tronçons d'une canalisation sous-marine. Le dragage est opéré avec une pelle sur ponton à l'abri d'une enceinte constituée d'un écran anti-turbidité disposé par petits fonds.

Les mesures au disque de Secchi permettent de comparer :

- la turbidité « naturelle » du site hors influence du projet et la turbidité générée lors des opérations de remaniement des sédiments (en particulier, le désenvasement des tronçons),

⁸⁴ La turbidité de l'eau peut être appréciée facilement en immergeant à l'aide d'un bout gradué, un disque horizontal et lesté, d'un diamètre de 30 cm (disque de Secchi). Elle est mesurée par la hauteur d'eau - soit la longueur du bout immergé - à partir de laquelle le disque disparaît visuellement. Plus cette hauteur est faible, plus la turbidité est forte.

- l'efficacité de l'enceinte de confinement : turbidité à l'intérieur de l'enceinte et à l'extérieur.

Figure 109 : Utilisation opérationnelle d'un écran anti-turbidité dans l'étang de Berre



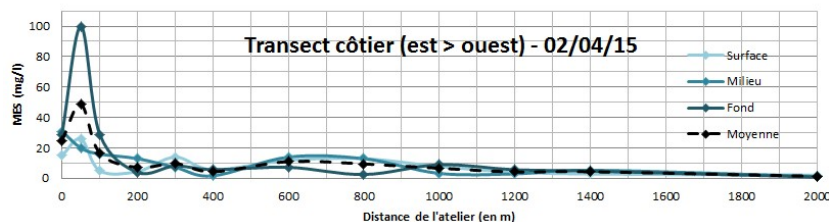
Mesure ponctuelle de la turbidité



Les sondes multiparamètres permettent de mesurer ponctuellement les paramètres de la qualité de l'eau, à différentes profondeurs de la colonne d'eau. Elles peuvent être utilisées par exemple pour effectuer des profils de la turbidité en fonction de l'éloignement de la drague.



Figure 110 : Transect de turbidité à partir d'un atelier de dragage (à gauche)



Suivi automatisé et continu de la turbidité

Les mesures sont réalisées grâce à des capteurs immergés et reliés à une bouée qui permet la télétransmission des données en temps réel à un centre d'analyse constitué d'un ordinateur configuré avec un logiciel de traitement immédiat des données reçues. Ce système permet ainsi de recevoir les mesures en continu et de garantir une réactivité instantanée en cas de nécessité d'intervention sur le terrain.

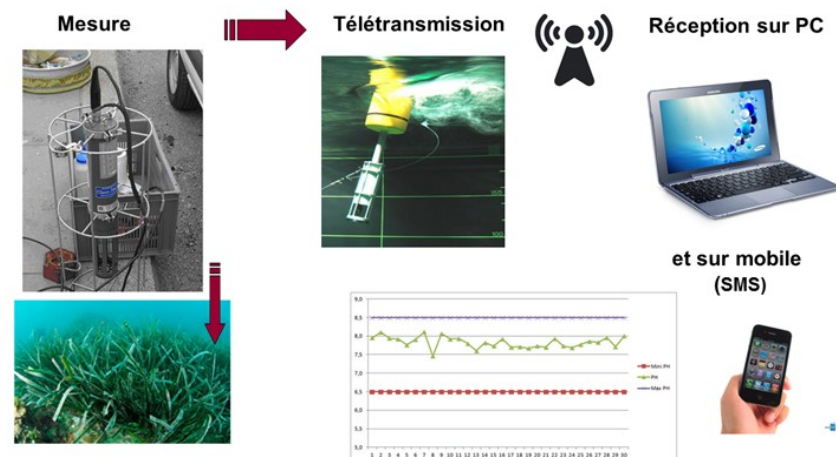


Figure 112 : Bouée d'enregistrement et de télétransmission des paramètres physico-chimiques de l'eau

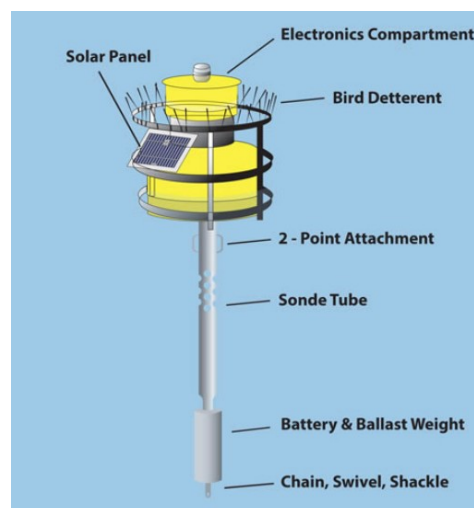


Figure 111 : en haut à droite : principe de suivi automatisé et télétransmis

Figure 113 : Sondes optiques / granulométriques pour la mesure de la turbidité et des paramètres associés

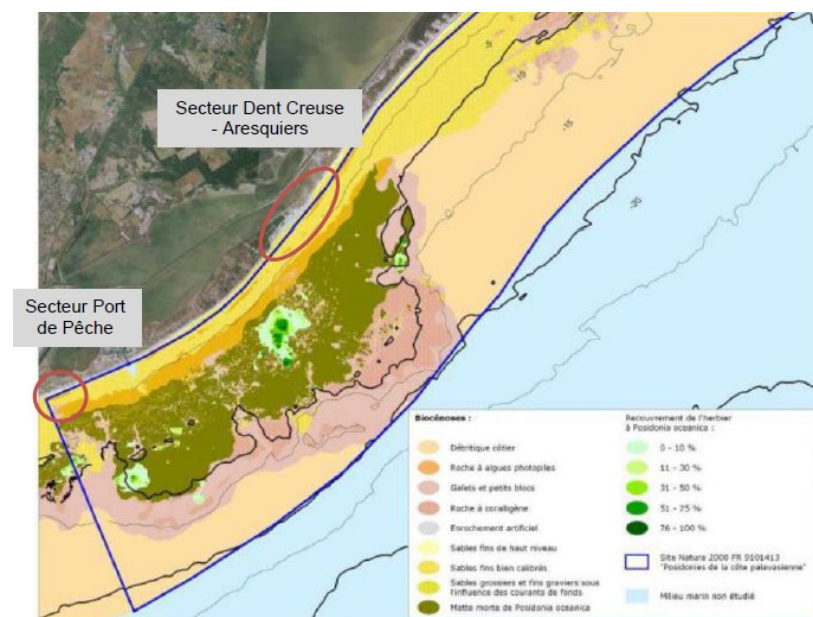


Des sondes de dernière génération sont utilisées comme les sondes optiques/granulométriques LISST-STX qui mesurent la turbidité, la granulométrie des particules, la vitesse de sédimentation et les paramètres classiques (température, O₂...).

Les travaux de protection contre la mer et de mise en valeur du lido de Frontignan, entre le port de Sète à l'Ouest et les Aresquiers à l'Est, comprennent la réfection des épis et l'aménagement du cordon dunaire à l'Est immédiat du port de Sète, la construction et la réfection des épis, le rechargement des plages et la création d'un cordon d'arrière-plage au niveau des Aresquiers et de la Dent Creuse (une description plus détaillée des travaux est donnée dans **l'annexe 11**).⁸⁵

Les enjeux environnementaux marins sont représentés par les herbiers de posidonies du plateau des Aresquiers.

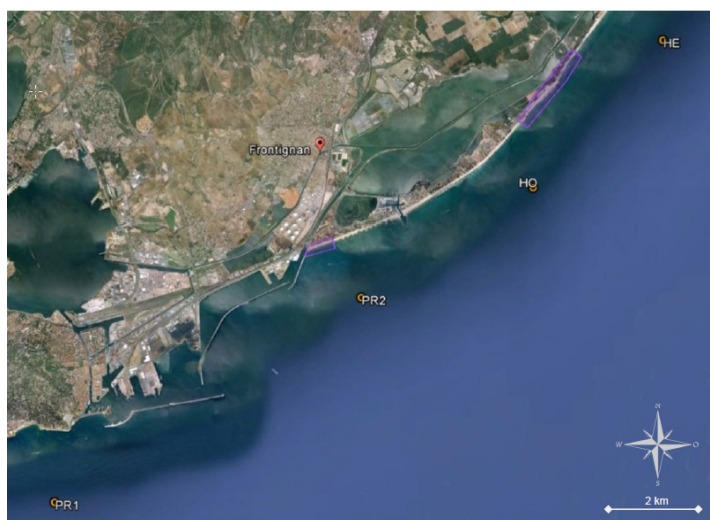
Figure 114 : Travaux de protection contre la mer et de mise en valeur du lido de Frontignan. Emplacement des travaux et localisations des herbiers de posidonies



⁸⁵ THAU AGGLO. Opération de protection et de mise en valeur du lido de Frontignan. Synthèse du suivi environnemental des travaux, tranche 1. Octobre 2015.

La turbidité au droit du site a été suivie à l'aide de quatre bouées instrumentées (turbidimètres comportant un capteur optique), réparties sur le littoral : HE et HO, points de mesures de l'influence des travaux (Aresquiers Est et ouest)⁸⁶ ; PR1 et PR2, points de référence.

Figure 115 : Emplacement des bouées de suivi de la turbidité à Frontignan

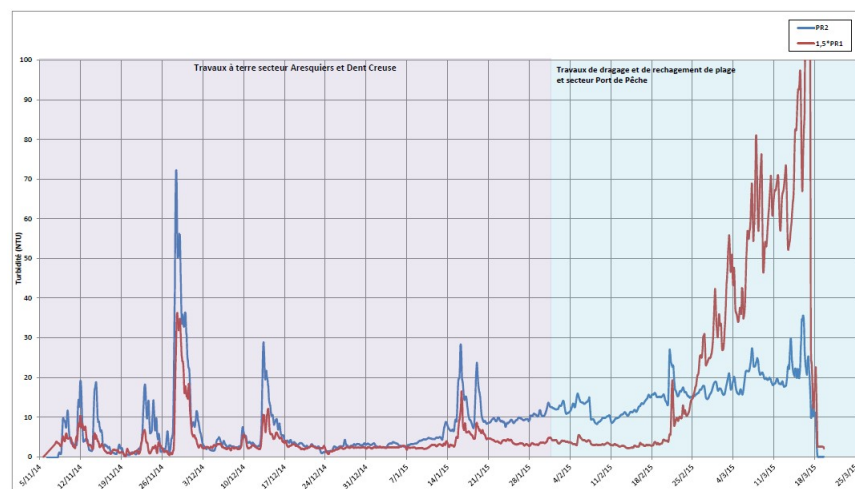
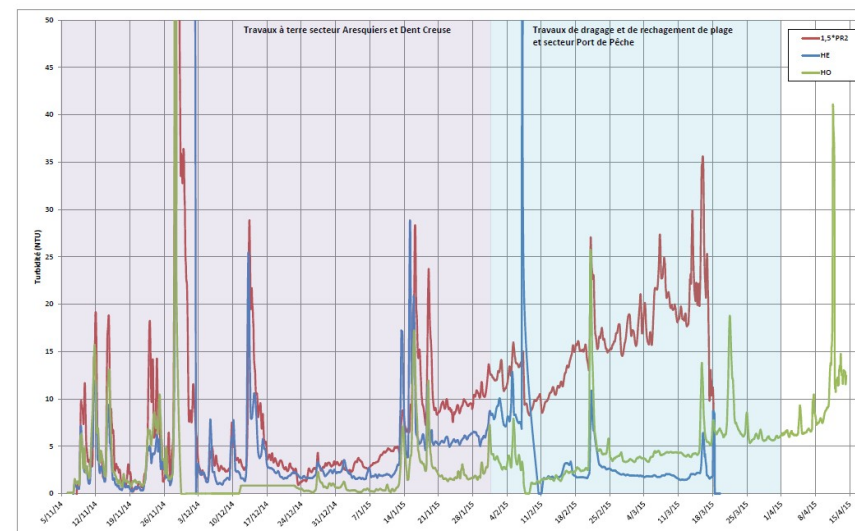


Dans l'arrêté préfectoral autorisant les travaux, les conditions d'arrêt du chantier sont définies par les valeurs de dépassement de turbidité suivantes.

- Moyenne mobile sur 6 h en HE et/ou HO $> 1,5 \times$ turbidité PR2.
- Turbidité PR2 $> 1,5 \times$ turbidité PR1.

⁸⁶ Le positionnement des bouées HO et HE (Aresquiers Est et Ouest) a été imposé par l'arrêté préfectoral (article 12.3). Ces bouées comportent plusieurs appareils de mesure : turbidimètre, luxmètre, piège à sédiments.

Figure 116 : Evolution de la turbidité (moyennes mobiles sur 6 h) pendant les travaux, aux bouées HO /HE (en haut) et PR1 / PR2 (en bas)



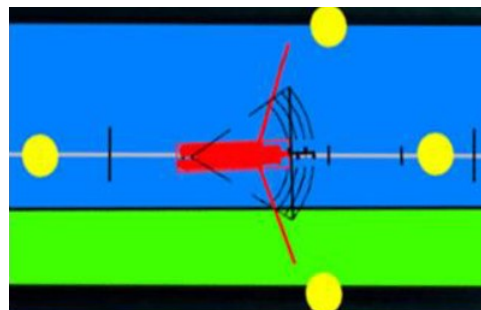
Durant le suivi du secteur des Aresquiers, avec les valeurs moyennées sur 6h, cinq dépassements importants du seuil de $1,5 \times PR2$ (en plus de la tempête de fin novembre 2014) et sept dépassements faibles du seuil sont observés. Les dépassements importants constatés sont généralement de courte durée (moins de 24 h), ponctuels (un par mois en moyenne) et restent faibles par rapport à la valeur de référence.

Du 7/02/15 à 2h00 au 10/02/15 à 11h00, le turbidimètre HE mesure des valeurs supérieures à $(1,5 \times PR2)$ pendant 81 h. Il semble toutefois présenter un dysfonctionnement dans l'acquisition des données entre le 7/02/15 à 10h00 et le 11/02/15 à 10h30 : la turbidité est soudainement très forte (moyenne de 340 NTU entre 10h00 et 12h00 le 7/02/15) puis présente des valeurs nulles jusqu'au 11/02/15.

Lors des travaux de dragage et de rechargement des plages de Frontignan et les travaux sur les épis du secteur du port de pêche (à partir de février 2015), les valeurs de la courbe seuil $(1,5 \times PR2)$ sont largement plus importantes que celles des stations HE et HO. Il est possible que la station PR2 ait été sous l'influence des travaux sur le secteur du port de pêche, ce qui influence la comparaison entre les différentes stations de mesure. Le turbidimètre de la station HO a été conservé après l'arrêt du chantier pendant une dizaine de jours, on constate que la turbidité est élevée (en moyenne elle est plus élevée que lors de la réalisation des travaux de rechargement des plages).

De manière pratique, les dépassements constatés n'ont pas été suivis d'arrêt du chantier ou de modification du protocole des travaux. La surveillance en continu de la turbidité n'a donc pas conduit à une adaptation des travaux en fonction des résultats obtenus.

Dans le cas suivant,⁸⁷ le dragage se passe dans une zone très proche d'un espace marin sensible et à 100 m d'une prise d'eau de mer. Pour contrôler au mieux la turbidité, l'atelier de dragage est encadré par quatre bouées instrumentées situées à 100 m de la drague qui mesurent en continu, la turbidité (NTU), la salinité et le pH.

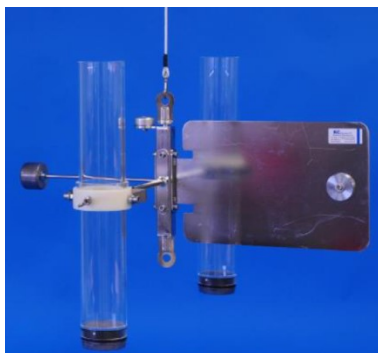


Visualisation de la sédimentation

La sédimentation peut être visualisée par les dépôts de matières en suspension suite à un événement de turbidité - naturel ou lié au chantier -, sur des supports artificiels disposés sur le fond marin, comme des dalles de dimensions 30 cm x 30 cm. Ce dispositif ne permet pas une mesure quantitative du taux de sédimentation, mais sert de témoin immédiat à des événements de turbidité. Les dalles sont laissées en place durant toute la durée des travaux, contrôlées et nettoyées régulièrement entre deux événements de turbidité.

⁸⁷ DEME-CCC/CET-TN-003 Real-Time Water Quality Monitoring.

Suivi spécifique de la sédimentation



Les pièges à sédiments ont pour objet de mesurer régulièrement le taux de sédimentation pendant le chantier afin de prévenir tout dommage potentiel sur les espèces sensibles. Ils peuvent être installés sur des supports posés sur le fond fixés sur les lignes des bouées instrumentalisées.

La comparaison du taux de sédimentation entre un site témoin naturel et un point influencé par l'atelier de dragage permet d'obtenir le taux relatif de sédimentation imputable au seul chantier.

La fréquence de contrôle peut être différente (hebdomadaire, mensuelle ou annuelle) en fonction du planning des dragages, de leur phasage ou de la nature de l'atelier (par exemple utilisation d'un type de drague susceptible de produire des quantités importantes de particules sédimentaires).

Les éprouvettes de sédimentation sont relevés périodiquement par un plongeur et remplacées par des éprouvettes vides pour de nouvelles mesures (ci-contre sédimentation après une période de 26 jours dans les eaux monégasques).



Dans le cadre des travaux de protection contre la mer et de mise en valeur du lido de Frontignan, la sédimentation a été mesurée afin d'évaluer la quantité de matière en suspension qui sédimente dans la zone du projet. Les pièges à sédiments ont été posés entre les semaines 7 et 12 (9 février au 20 mars 2015) au niveau des stations HO et HE (cf. carte ci-dessous).

Les sédiments ont été piégés dans des flacons et collectés deux fois durant le chantier. Ils ont fait l'objet d'une analyse granulométrique, d'une détermination du poids sec et le taux de sédimentation a été calculé. Il est exprimé en g/cm²/30 jours.

Tableau 62 : Résultats des taux de sédimentation (source : IX Survey)

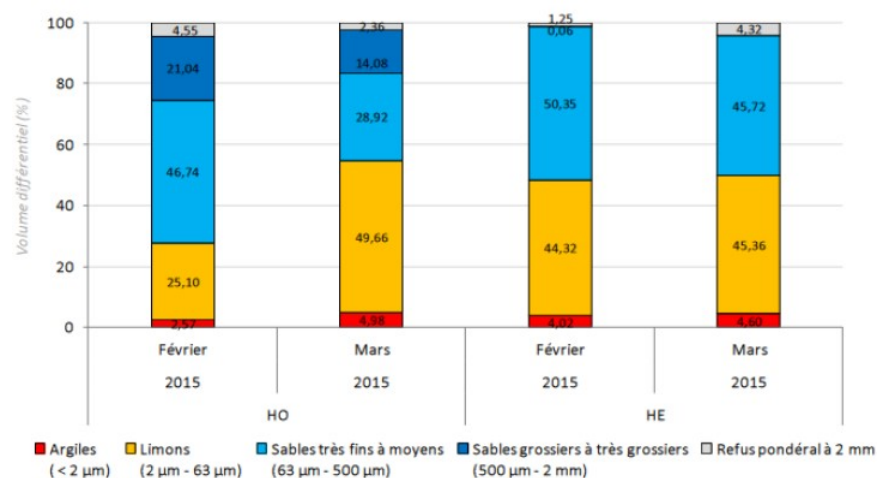
STATION	ANNEE	PERIODE DE COLLECTE	MASSE DE SEDIMENTS COLLECTEE (GRAMMES)	SURFACE DE COLLECTE (CM ²)	JOURS DE COLLECTE	TAUX DE SEDIMENTATION (GR/CM ² /30JOURS)
HO	2015	06/02 au 23/02	321	150	16	4
HE	2015	06/02 au 23/02	199.5	150	16	2.5
HO	2015	23/02 au 17/03	100.9	150	22	0.9
HE	2015	23/02 au 17/03	63.6	150	22	0.6

La différence de sédimentation entre les points HO (4 et 0,9 g/cm²/30 jours) et HE (2,5 et 0,6 g/cm²/30 jours) à chacune des périodes paraît logique au vu du positionnement géographique des bouées dans la zone. En effet, le courant dominant dans la zone de rechargement du lido de Frontignan est un courant de sud-ouest, ce qui engendre un déplacement des particules en suspension vers HO, alors qu'HE reste en dehors de la remise en suspension des sédiments au niveau de la zone de rechargement.

Le taux de sédimentation est significativement plus faible sur la deuxième période par rapport à la première. Cette différence peut être due à l'influence de l'hydrodynamisme local moins important durant la seconde période. En effet, la diminution a lieu sur les deux stations et la bouée HE semble moins influencée par les travaux que par la dérive littorale. La sédimentation « normale » semble donc avoir diminué entre les deux périodes.

Au vu des analyses granulométriques des sédiments collectés dans les pièges, les matières en suspension captées par la station HO sont plus grossières que celles captées par la station HE. La station HO semble sous l'effet de la remise en suspension des matériaux générés par les travaux, alors que la station HE, semble plutôt sous l'influence de la dérive littorale « normale » de la zone.

Figure 117 : Répartitions granulométriques des particules de 0 à 2 mm et > 2 mm (en % volume) dans les sédiments piégés (source : IX Survey)



Annexe 12 : Fenêtres environnementales : le retour d'expériences de l'USACE aux Etats Unis

Aux Etats-Unis, 80 % des opérations de dragage entreprises au niveau fédéral sous maîtrise d'ouvrage de l'USACE sont assujetties à des fenêtres environnementales⁸⁸. La Figure 118 synthétise la répartition des six principales fenêtres environnementales sur une année.

Figure 118 : Fenêtres environnementales et périodes recommandées pour la réalisation des travaux



Le respect strict de ces fenêtres environnementales limiterait la période de travaux à deux mois d'hiver répartis entre mi-novembre et mi-janvier. Néanmoins, certaines opérations sont jugées compatibles avec certaines des fenêtres environnementales, du fait de leur nature ou de leur durée, portant la période de travaux à cinq mois répartis entre septembre et janvier.

Chaque espèce, ou groupe d'espèces, cible de ces fenêtres peuvent être concernés par différentes pressions environnementales. Ces enjeux, classés par ordre décroissant du nombre d'opérations concernées, sont : la détérioration physique des habitats, la turbidité et la sédimentation,

l'entraînement hydraulique et la collision, les obstacles à la migration, la réduction de la qualité des eaux, les conflits avec les activités de loisirs.

Depuis l'initiation du programme, un total de 234 opérations ont été assujetties au respect de fenêtres environnementales, Près de 50 % de ces opérations concernent les milieux de l'océan Atlantique.

Tableau 63 : Récapitulatif du nombre d'opérations de dragage menées aux Etats-Unis par l'USACE et respectant des fenêtres environnementales, classées par enjeu environnemental et masse d'eau

AN = Atlantique Nord ; AS = Atlantique Sud ; GL / RO = Grands Lacs, Rivière Ohio ; VM = Vallée du Mississippi ; NW = Région Nord-Ouest ; SW = Région Sud-Ouest ; PS = Pacifique Sud ; OP = Océan Pacifique

	AN	AS	GL/RO	VM	NW	SW	PS	OP	Total
Détérioration physique des habitats	5	5	3	5	4	2	3	1	28
Dérangement de la nidification	5	5	2	5	3	2	1	0	23
Détérioration d'habitats sensibles (oiseaux)	3	2	0	3	2	1	1	0	12
Frayères de poissons	3	2	2	1	3	0	2	2	15
Nidification des tortues marines	0	5	0	0	0	0	0	0	5
Ensevelissement de phanérogames marines	2	0	0	0	0	0	3	0	5
Turbidité et sédimentation	5	4	5	3	5	0	2	1	25
Détérioration du frai de poissons (dépôt MES)	4	2	3	2	2	0	2	0	15
Détérioration du frai de poissons (turbidité)	5	3	4	3	4	0	2	1	22

⁸⁸ Hales L., 2000. Scientific foundation for determining environmental windows. Dredging Research, information from US Army Engineer Research and Development center.

Détérioration du frai de mollusques	4	1	2	0	2	0	0	0	9
Entraînement hydraulique/collision	5	4	1	1	3	1	1	2	18
Entraînement (poissons)	1	1	1	1	2	0	0	1	7
Entraînement (tortues marines)	5	4	0	1	0	1	0	1	12
Entraînement (mollusques)	1	1	0	0	2	0	0		4
Collision avec des mammifères marins	2	4	0	0	0	0	1	2	9
Obstacles à la migration	4	2	2	0	3	2	3	1	15
Réduction de la qualité des eaux	3	2	3	0	1	0	0	0	9
Conflits avec des activités de loisirs	1	1	1	2	0	0	0	0	6
TOTAL	58	48	29	27	36	7	22	12	234

Afin d'évaluer l'impact financier du respect de ces fenêtres environnementales, l'augmentation des coûts des dragages annuels a été calculée pour les différentes méthodes de dragage et selon trois scénarios de fenêtre environnementale⁸⁹ :

- Scénario A - Fenêtre environnementale « étroite » prise égale au temps minimal pour réaliser l'opération ;
- Scénario B - Fenêtre environnementale « large » d'une durée de 5 mois, avec un rendement de la drague de 100 % ;

⁸⁹ Dickerson, D. D., Reine, K. J., and Clarke, D. G. (1998). "Economic impacts of environmental windows associated with dredging operations," DOER Technical Notes Collection (TN DOER-E3), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. www.wes.army.mil/el/dots/doer

- Scénario C - Fenêtre environnementale « large » d'une durée de 5 mois, avec un rendement de la drague de 76 %.

Ces coûts sont présentés dans le tableau 64.

Tableau 64 : Augmentation des coûts de l'application de fenêtres environnementales (FE) dans les opérations de dragage de l'USACE aux Etats-Unis

Méthodes de dragage	Volume annuels Avec FE (x 1 000 m³)	Scénario A. FE « étroite »	Scénario B. FE « large » avec rendement de 100 %	Scénario C. FE « large » avec rendement de 76 %
Refoulement hydraulique	56 556	22 712 250	9 627 450	12 521 400
Suceuse à élince traînante	22 695	22 848 000	8 556 450	11 814 100
Drague à benne	8 428	7 354 225	1 025 250	1 470 525
Combinaison des trois méthodes	6 973	ns	ns	ns
Autres	4 553	ns	ns	ns
TOTAL	99 205	52 914 475 \$	19 209 150 \$	25 806 025 \$

ns = non simulé

On constate ainsi que l'application d'une fenêtre environnementale « étroite » entraîne un surcoût de 0,53 \$/m³. Même le respect d'une fenêtre « large » avec un rendement de la drague maximal de 100 % se traduit par un surcoût de 0,20 \$/m³.

En conclusion, l'application en routine des fenêtres environnementales doit tenir compte de deux aspects essentiels :

- La hiérarchisation des enjeux du projet : un équilibre doit être trouvé entre la protection du milieu, le coût et l'opérationnalité des dragages. Sans hiérarchisation il existe un risque d'aboutir à l'impossibilité de mener les travaux, alors que leur déroulement peut rester satisfaisant à certaines périodes malgré l'occurrence de certains impacts.
- Les connaissances scientifiques disponibles : le manque de connaissance de la plupart des phénomènes biologiques rend difficile une détermination très précise des fenêtres environnementales.

Annexe 13 : Le bruit sous-marin : rappels acoustiques et impacts des bruits de dragage sur les mammifères marins

Rappels acoustiques

Un son peut être décrit en termes d'amplitude, de fréquence et de durée. L'unité de référence du niveau de pression acoustique est le décibel **dB**, qui est fonction de son milieu de référence. Dans l'eau, il est mesuré en **dB re 1 μ Pa**.

Le niveau de pression acoustique est généralement calculé sur la base de la moyenne quadratique (RMS5) de l'onde ; il est alors exprimé en **dB_{rms}**. Pour des sons courts de très forte intensité, le niveau de pression acoustique est exprimé en **dB_{pic-pic}**.

La sensibilité du bruit diffère d'un individu à l'autre. Les seuils d'audibilité d'une espèce sont fournis à partir d'audiogrammes, qui indiquent la fréquence du son (Hz) en fonction de la pression acoustique (dB re 1 μ Pa). Certaines unités de pression ont ainsi été développées pour prendre en compte la spécificité de ces seuils dans la description d'un bruit. L'unité **dB_{ht} (species)** (Nedwell et al., 2003) permet ainsi d'appréhender le risque d'impact d'un bruit donné, pour chaque espèce considérée en tenant compte de ses capacités auditives.

A noter que l'énergie d'une onde sonore décroît avec la distance parcourue depuis la source d'émission. Dans une démarche de prévision d'impact, la sensibilité d'un individu doit donc être évaluée au regard de sa distance à la source et du niveau de bruit réel auquel il est exposé.

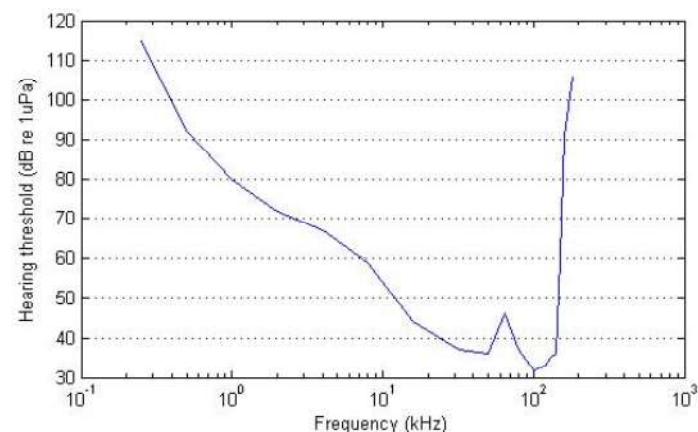
Chaque espèce possède une façon spécifique de percevoir et de ressentir le bruit, qui dépend notamment des caractéristiques de ses organes auditifs. Il devient nécessaire de pondérer l'importance de telle ou telle fréquence pour représenter le bruit tel qu'il est perçu.

Seuil d'audibilité

Le seuil d'audibilité correspond au niveau de pression moyen qui marque la limite de perceptibilité d'un bruit pour un individu en milieu silencieux. Un

audiogramme constitue une représentation graphique de ces seuils en fonction de la fréquence (Figure 119).

Figure 119 : Audiogramme du Marsouin commun (Kastelein et al., 2002 in OSPAR, 2009)



La connaissance de ces audiogrammes permet donc d'appréhender les effets du bruit d'une activité sur les espèces considérées. L'élaboration de ces audiogrammes suppose néanmoins une série d'expériences qu'il n'est pas aisé de réaliser, en particulier sur les mammifères marins.

L'audiogramme du marsouin commun présenté ci-contre indique ainsi qu'il possède un seuil d'audibilité de 90 dB re 1 μ Pa à 500 Hz alors que ce seuil se situe à 35 dB re 1 μ Pa uniquement pour des fréquences de 50 kHz. Le marsouin commun est donc plus sensible aux fréquences comprises entre 10 et 120 kHz.

Pression acoustique exprimée en dB_{ht} (espèces)

Chaque individu perçoit une gamme de fréquence spécifique en fonction de la pression acoustique. Certaines unités de pression ont ainsi été développées pour prendre la spécificité de ces seuils en compte dans la description d'un bruit. En conséquence, l'intensité du bruit ressenti doit se calculer à partir de la partie qui est traitée par les organes auditifs et est exprimée en dB_{ht} avec précision de l'espèce considérée (Nedwell *et al.*, 2003). L'unité **dB_{ht} (espèce)** permet ainsi d'appréhender le risque d'impact d'un bruit donné, pour chaque espèce considérée en tenant compte de ses capacités auditives. De la même manière que le système dB(A) utilisé pour les humains, il s'agit d'une méthode probabiliste déterminant la probabilité de réaction d'un individu à un bruit donné.

Une échelle commune a été établie quels que soient les individus considérés. Le tableau 65 lie la pression acoustique en dB_{ht} à son effet sur le comportement de l'individu.

Tableau 65 : Effet en fonction de la pression acoustique en dB_{ht} (espèces)⁹⁰

Pression acoustique en dB_{ht} (espèces)	Effet
Moins de 0	Néant
0 à 50	Réaction faible de la part d'une minorité d'individus
50 à 90	Réaction plus forte par une majorité d'individus, mais accoutumance possible
90 et au-delà	Evitement par la totalité des individus
Au-delà de 110	Tolérance limite
Au-delà de 130	Possibilité de traumatisme par une simple impulsion

⁹⁰ Nedwell J.R., Turnpenny A.W.H., Lovell J., Parvin S.J., Workman R., Spinks J.A.L. & D. Howell. A validation of the dB_{ht} as a measure of the behavioural and auditory effects of underwater noise. Subacoustech Report No. 534R1231, 24 October 2007.

En outre, on constate des effets cumulatifs d'une exposition prolongée à une pression acoustique donnée. Cette exposition prolongée peut causer des dommages de la même façon qu'une simple impulsion. On raisonne alors en termes d'équivalence d'énergie acoustique et on introduit **$\text{dB}_{\text{ht}} L_{\text{ep,d}}$** à l'instar du $L_{\text{ep,d}}$, qui est utilisé pour l'homme pour prévenir les risques de surdité suite à des expositions sonores prolongées. Il utilise comme référence le $\mu\text{Pa}^2 \text{s}$

A un son de pression acoustique donnée, sont associées les durées d'exposition nécessaires pour atteindre un seuil énergétique de $90 \text{ dB}_{\text{ht}} L_{\text{ep,d}}$, ce qui correspond au seuil de blessure auditive (Tableau 66).

Tableau 66 : Tableau d'équivalence pour la même énergie acoustique reçue (pour un seuil de blessure auditive à $90 \text{ dB}_{\text{ht}} L_{\text{ep,d}}$) (Nedwell *et al.*, 2007)

Intensité d'exposition en dB_{ht}	Durée d'exposition
90	8 heures
92	5 heures
99	1 heure
110	5 minutes
120	~ 30 secondes
130	~ 3 secondes

Un son continu d'une durée de 8 h à $90 \text{ dB}_{\text{ht}}$ provoque ainsi les mêmes dégâts qu'une seule impulsion de 3 s à $130 \text{ dB}_{\text{ht}}$.

La durée d'exposition est divisée par deux chaque fois que le niveau d'exposition augmente de 3 dB_{ht} . Par exemple, une exposition de 4 h à $93 \text{ dB}_{\text{ht}}$ aura les mêmes effets qu'une exposition de 8 h à $90 \text{ dB}_{\text{ht}}$.

Production sonore et audition chez les mammifères marins

Les différentes études comportementales menées sur les mammifères marins ont permis d'identifier la place cruciale du bruit dans leur comportement et le soutien de certaines fonctions vitales : socialisation, communication, alimentation et orientation. Ils peuvent être divisés en cinq groupes distincts en fonction de leur gamme de fréquences auditive : trois groupes de cétacés (à basse fréquence, à moyenne fréquence et à haute fréquence), et les pinnipèdes (dans l'eau et dans l'air) (Southall *et al.*, 2007).

Les cétacés utilisent les sons pour ⁹¹ :

- communiquer entre eux au moyen de vocalisations, plutôt à basse fréquence mais de spectre très variable selon les espèces ;
- reconnaître et exploiter l'environnement naturel ou artificiel, à la manière d'un sonar passif : bruit de déferlement et proximité de la côte, interception de signaux des prédateurs et des proies, bruit de banquise, etc.;
- détecter activement proies et obstacles, à la manière d'un sonar actif avec détection, localisation, identification par émission de clicks d'écholocalisation à très haute fréquence : cette fonction semble n'exister que chez les odontocètes.

⁹¹ Lurton X. et L. Antoine. Avril 2007. Analyse des risques pour les mammifères marins liés à l'emploi des méthodes acoustiques en océanographie. *Rapport Final* – DOP/CB/NSE/AS/07-07.

Les niveaux d'émission peuvent être très élevés : 190 dB re 1 μ Pa à 1 m en vocalisation très basse fréquence, 220 dB re 1 μ Pa à 1 m pour des « clics » d'écholocalisation⁹².

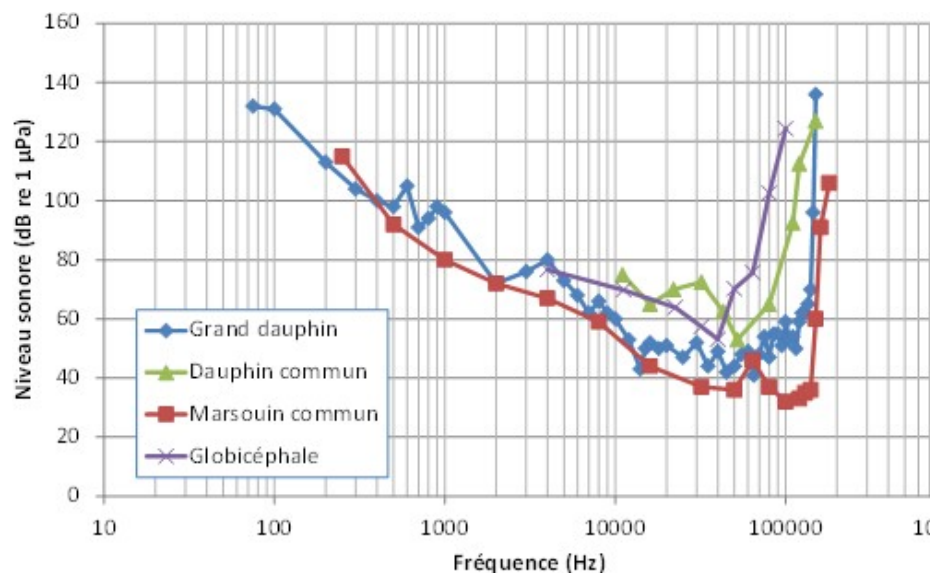
Les signaux émis par les mammifères marins ont beaucoup été enregistrés et étudiés. Les caractéristiques objectives en sont répertoriées dans les grandes lignes. En revanche, la connaissance de leur traitement est embryonnaire et ne peut guère s'effectuer que par analogie, soit avec des systèmes sonars artificiels, soit avec les fonctions auditives humaines.

Les pinnipèdes, s'ils ne pratiquent pas l'écholocalisation, produisent eux aussi une importante diversité de bruits, à la fois sous l'eau et en surface, mais dans des gammes de fréquences généralement plus restreintes et plus basses. Les bruits sont le plus souvent produits lors d'interactions sociales et reproductives critiques.

La gamme d'audibilité varie selon les espèces (Figure 120). Lorsque le bruit est perçu par un individu, il est traité par ses organes auditifs qui ne sélectionnent que la partie dont la fréquence et la pression acoustique sont perceptibles par l'individu.

⁹² La référence de pression sous-marine est le microPascal (1 μ Pa = 10^{-6} N/m²). La pression acoustique absolue est donc exprimée en dB re 1 μ Pa.

Figure 120 : Exemples d'audiogrammes de quelques mammifères marins (Johnson, 1967 ; Popov & Klishin, 1998 ; Kastelein *et al.*, 2002 ; Pacini *et al.*, 2010)



Les audiogrammes du grand dauphin et du marsouin commun sont en forme de U, avec une sensibilité plus marquée pour des fréquences comprises entre 10 et 100 kHz (seuils sonores plus bas). La sensibilité acoustique du marsouin est plus importante que pour le grand dauphin. Les données sur le dauphin commun et le globicéphale montrent une forme plus en V, avec une sensibilité maximale pour des fréquences de l'ordre de 40 à 50 kHz.

Les mammifères marins ont une gamme d'audition fonctionnelle qui va de 10 Hz à 200 kHz, avec les seuils les plus sensibles autour de 40 dB re 1 µPa.

En fonction de la gamme de fréquence utilisée, Ketten (1998) distingue trois groupes qui recourent le classement taxonomique (Tableau 67).

Tableau 67 : Gamme d'audition fonctionnelle définissant trois groupes de mammifères marins (Ketten, 1998)

Fréquence	Groupes	Gamme d'audibilité	Gamme optimale de réception	Seuil d'audibilité
Infrasonique - sonique	Mysticètes	15 Hz à 20 kHz	20 Hz à 2 kHz	inconnu, sans doute 60-80 dB re 1 µPa
Sonique - ultrasonique	Pinnipèdes*	1 kHz à 20 kHz	très variable	50 dB re 1 µPa
Ultrasonique	Odontocètes	200 Hz à 200 kHz	16 à 120 kHz	40 dB re 1 µPa

* Seul l'éléphant de mer présente une sensibilité notable en dessous de 1 kHz. Les pinnipèdes sont adaptés à entendre à la fois dans l'air et dans l'eau.

Tableau 68 : Gammes de fréquences d'audition par groupe fonctionnel de mammifères marins (Southall et al., 2007)

Functional hearing group	Estimated auditory bandwidth	Genera represented (Number species/subspecies)	Frequency-weighting network
Low-frequency cetaceans	7 Hz to 22 kHz	<i>Balaena</i> , <i>Caperea</i> , <i>Eschrichtius</i> , <i>Megaptera</i> , <i>Balaenoptera</i> (13 species/subspecies)	M_{lf} (lf: low-frequency cetacean)
Mid-frequency cetaceans	150 Hz to 160 kHz	<i>Steno</i> , <i>Sousa</i> , <i>Sotalia</i> , <i>Tursiops</i> , <i>Stenella</i> , <i>Delphinus</i> , <i>Lagenodelphis</i> , <i>Lagenorhynchus</i> , <i>Lissodelphis</i> , <i>Grampus</i> , <i>Peponocephala</i> , <i>Feresa</i> , <i>Pseudorca</i> , <i>Orcinus</i> , <i>Globicephala</i> , <i>Orcaella</i> , <i>Physeter</i> , <i>Delphinapterus</i> , <i>Monodon</i> , <i>Ziphius</i> , <i>Berardius</i> , <i>Tasmacetus</i> , <i>Hyperoodon</i> , <i>Mesoplodon</i> (57 species/subspecies)	M_{mf} (mf: mid-frequency cetaceans)
High-frequency cetaceans	200 Hz to 180 kHz	<i>Phocoena</i> , <i>Neophocaena</i> , <i>Phocoenoides</i> , <i>Platanista</i> , <i>Inia</i> , <i>Kogia</i> , <i>Lipotes</i> , <i>Pontoporia</i> , <i>Cephalorhynchus</i> (20 species/subspecies)	M_{hf} (hf: high-frequency cetaceans)
Pinnipeds in water	75 Hz to 75 kHz	<i>Arctocephalus</i> , <i>Callorhinus</i> , <i>Zalophus</i> , <i>Eumetopias</i> , <i>Neophoca</i> , <i>Phocartos</i> , <i>Otaria</i> , <i>Erignathus</i> , <i>Phoca</i> , <i>Pusa</i> , <i>Halichoerus</i> , <i>Histriophoca</i> , <i>Pagophilus</i> , <i>Cystophora</i> , <i>Monachus</i> , <i>Mirounga</i> , <i>Leptonychotes</i> , <i>Ommatophoca</i> , <i>Lobodon</i> , <i>Hydrurga</i> , and <i>Odobenus</i> (41 species/subspecies)	M_{pw} (pw: pinnipeds in water)
Pinnipeds in air	75 Hz to 30 kHz	Same species as pinnipeds in water (41 species/subspecies)	M_{pa} (pa: pinnipeds in air)

Impacts de la pollution sonore sur les mammifères marins

Les impacts dépendent :

- de la nature du son (impulsion ou son prolongé),
- de l'intensité à la source sonore et de la fréquence,
- du niveau de l'exposition de l'espèce à cette source sonore (durée d'émission) et du type de source,
- de la sensibilité auditive de l'espèce.

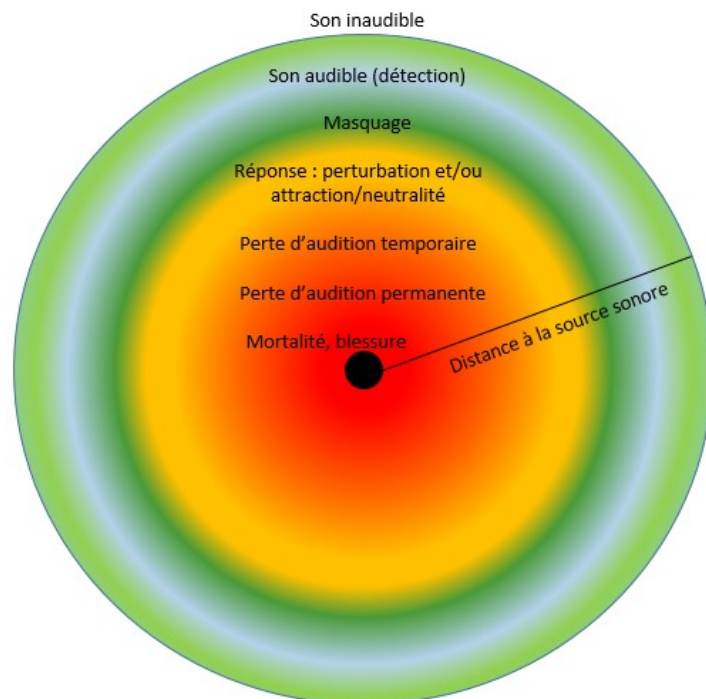
De manière générale, les différents impacts de la pollution sonore sont mesurés en fonction de la distance physique de l'animal à la source sonore (Richardson et al. 1995 ; Madsen et al. 2005, 2006 ; Finneran and Jenkins 2012, Lurton, 2013). Dans la mesure où ces distances ne sont pas les mêmes selon les espèces, ni les modèles d'appréciation, ils ont été classés en différents niveaux: primaire, secondaire, tertiaire ou neutre/tolérable :

- Niveau primaire : lésions auditives, perte d'audition permanente, voire mortalité/échouage.
- Niveau secondaire : perte d'audition temporaire, masquage, modification des comportements, modification des émissions sonores, modification de trajectoire ou d'habitat.
- Niveau tertiaire : autres réactions ou réponses comportementales de moindre impact type perturbation ou stress.
- Effet neutre ou tolérable : pas de réaction ou acclimatation.

L'ensemble de ces impacts peut être à plus ou moins long terme et les conséquences multiples.

La méthodologie utilisée pour définir précisément les champs des incidences sonores du projet sur les cétacés, prend en considération la comparaison entre les émissions sonores maximales des engins et le son « reçu/perçu » par le cétacé à une certaine distance de la source. (Richardson et al. 1995 ; Erbe, 2011 ; Poppe et al., 2012).

Figure 121 : Schéma des niveaux d'effets du bruit sur les cétacés autour de la source



Risque de mortalité ou de blessures

La puissance du bruit émis peut provoquer des lésions irréversibles sur les organes de l'audition ou des embolies ou accidents de décompression principalement pouvant aller jusqu'à l'échouage des cétacés (Balcomb et Claridge, 2001 ; Fernández *et al.* 2004 ; 2005 ; Dolman et Simmonds, 2005).

Des bulles de gaz ou des hémorragies au niveau de l'oreille interne ainsi que des œdèmes au niveau du 8^e nerf crânien ont notamment été montrées pour les baleines à bec aux Canaries (Jepson *et al.* (2003).

Perte d'audition permanente ou temporaire

La perte temporaire d'audition peut s'assimiler au niveau physiologique à un épuisement métabolique des cellules sensorielles, en endommagement certaines cellules de la cochlée, dont les effets sont réversibles si les cellules ont le temps de se régénérer. La perte définitive est représentée par des dommages anatomiques critiques, ce qui signifie que ces cellules peuvent rester définitivement et irréversiblement endommagées.

Ces dommages dépendent de la distance à laquelle l'animal se situe par rapport à la source sonore, c'est pourquoi des seuils correspondant à ces risques ont été établis par plusieurs auteurs (Ridgway *et al.*, 1997, 2001 ; Finneran *et al.*, 2005, 2007 ; Erbe, 2011, Lurton, 2013) avec des applications concrètes dans de nombreux projets (Lurton, 2013 ; NMFS, 2014). Ces seuils sont notés « *TTS : Temporary Threshold Shift* » pour l'effet temporaire, et « *PTS : Permanent Threshold Shift* » pour l'effet permanent.

Les auteurs considèrent que la perte permanente d'audition est atteinte au-delà du seuil PTS, ce qui devrait se traduire chez le cétacé par une destruction des cellules du système auditif.

Perturbation, dérangement ou réponse neutre

Les bruits générés par les engins de chantier peuvent engendrer des modifications comportementales dans les différentes activités réalisées par les mammifères marins. La perturbation ou le dérangement sont constatés à partir de modifications comportementales, telles que :

- l'évitement,
- la modification de l'activité (navigation, alimentation, plongée...),
- la modification des rythmes de respiration,
- le stress,
- le changement d'habitat ou de trajectoire,
- les réactions neutres.

Masquage des sons

L'augmentation du bruit liée aux engins de chantier, mais également à l'augmentation additionnelle du bruit produit par le trafic maritime, peut générer des impacts sur la communication des cétacés ou la détection des engins en transit en augmentant le bruit ambiant de la zone et en réduisant le champ de communication des cétacés (Southall & Scholik-Schlomer, 2008, Clark *et al.*, 2009). Un de ces effets les plus importants est appelé le « masquage ». Un son peut en masquer un autre si les bandes fréquentielles sont identiques, et si le son masquant est d'une intensité supérieure au son masqué (dans ce cas l'émission du cétacé), (Richardson *et al.*, 1995 ; Aguilar, Soto *et al.*, 2006).

Sources de bruit émis par les opérations de dragage

Les figures 122 et 123 illustrent la localisation des différentes sources de bruit à bord des différents types de dragues les plus communément utilisées⁹³.

⁹³ WODA. Technical Guidance on Underwater Sound in Relation to Dredging, June 2013.

Figure 122 : Sources de bruit à bord d'une drague suceuse à désagrégateur en haut) et d'une drague à benne preneuse (en bas)

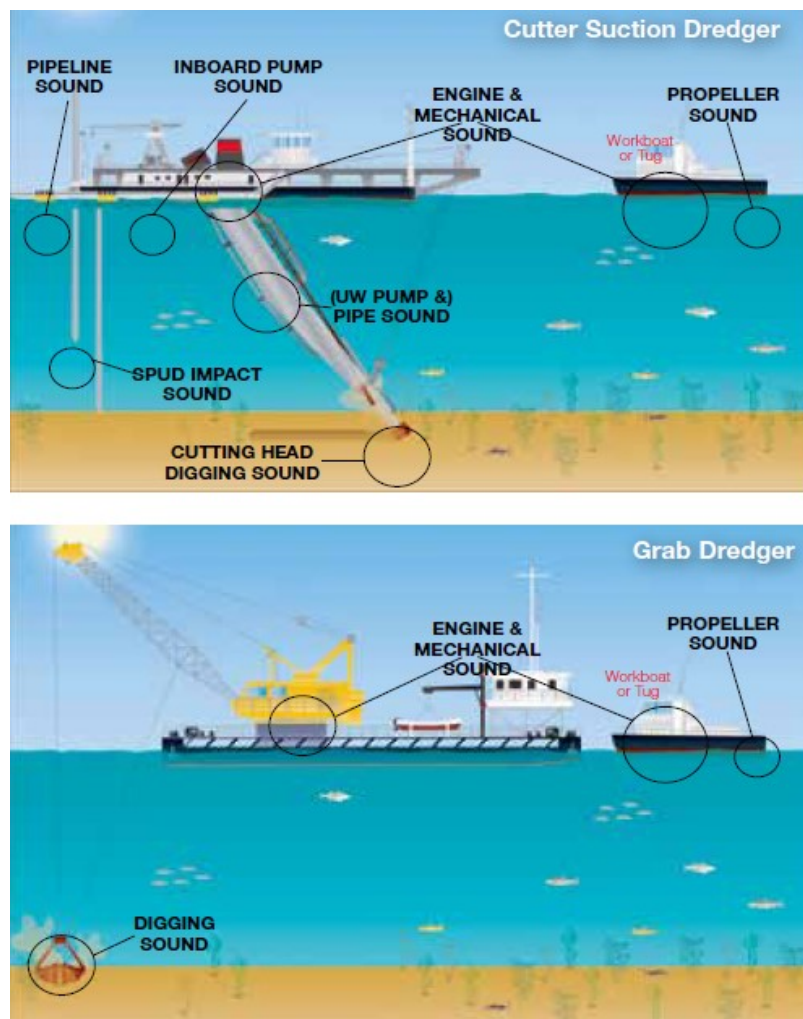
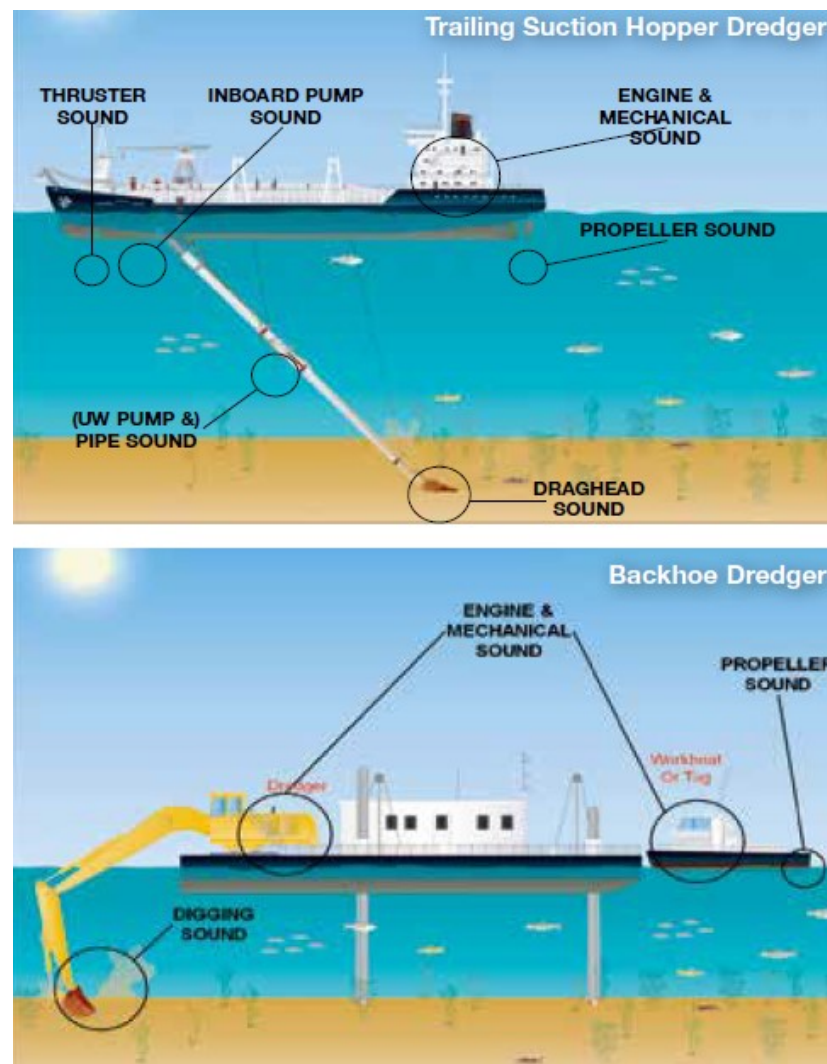


Figure 123 : Sources de bruit à bord d'une drague suceuse à élinde (en haut) et d'une drague avec pelle rétrocaveuse (en bas)



⁹⁴ Les mesures de bruit provoqué par les dragues utilisées communément, sont documentées dans des publications récentes telles que Thomsen et *al.* (2009), CEDA (2011), and WODA (2013). En général, le dragage produit un son continu à large bande avec l'énergie principale située au-dessous de 1 kHz. Les niveaux de pression acoustique peuvent varier considérablement, par exemple avec le type de drague, la phase opérationnelle ou les conditions environnementales.

Greene (1987) a mesuré le bruit émis par deux dragues suceuses à désagréateur. Le niveau de pression acoustique reçu était de 133 dB re 1 mPa and 140 dB re 1 mPa respectivement aux distances de 0,19 et 0,20 km des dragues (bande passante $\frac{1}{4}$ 20 kHz Hz-1). Les niveaux de bruit d'une drague à désagréateur utilisée à New York et dans le port de New Jersey pour le déroctage atteignaient un maximum de 149.3 dB re 1 mPa rms à une distance de 89 m de la drague. Les niveaux source calculés atteignaient 175 dB re 1 mPa à 1 m (bande passante $\frac{1}{4}$ 3 kHz Hz-20 ; Reine et *al.*, 2012b).

Le bruit produit par des dragues aspirantes à élinde traînantes a été mesuré dans de nombreuses circonstances et les niveaux sonores mesurés semblent plus élevés que ceux produits par les dragues à désagréateur.

Robinson et *al.* (2011) a mesuré les bruits émis par six dragues aspirantes, faisant état que les niveaux sonores au-dessous de 500 Hz étaient équivalents à ceux attendus pour un cargo croisant à des vitesses modestes (8-16 nœuds). Le niveau de pression acoustique maximal pour la source à large bande était 189.9 dB re 1 mPa à 1 m (calcul basé sur la bande d'octave 1/3 de 31.6 Hz à 39.8 kHz, comme mentionné par Robinson et *al.*, 2011).

Les niveaux source estimés dans la bande d'octave 1/3 au-dessus de 1 kHz étaient relativement élevés, résultant probablement du bruit des matériaux grossiers refoulés par la drague dans la conduite de refoulement.

En utilisant une approche identique, de Jong et *al.* (2012) ont trouvé des résultats très semblables à ceux de Robinson et *al.* (2011), mais les niveaux source dans la bande d'octave 1/3 ont montré clairement une chute en dessous de 1 kHz, en raison de la nature des matériaux dragués (sables et non graviers). Le bruit produit par les dragues mécaniques à bennes varie considérablement en fonction de la phase opérationnelle. Dickerson et *al.* (2001) a mesuré le niveau de pression acoustique à 0,15 km d'une drague à benne preneuse pendant le processus entier de dragage. Un niveau de pression acoustique maximal de 124 dB re 1 mPa a été enregistré à la fréquence maximale de 0.16 kHz, quand la benne touche le fond.

Les niveaux de bruit émanant d'une drague avec pelle rétrocaveuse opérant autour des Îles de Shetland, le Royaume-Uni, ont été enregistrés par Nedwell et *al.* (2008). En utilisant une échelle de 10 log (R/1 m), le niveau source calculé était de 163 dB re 1 mPa à 1 m (bande passante $\frac{1}{4}$ 20 kHz Hz-100). Par contre, Reine et *al.* (2012a) ont estimé le niveau source à 179 dB re 1 mPa à 1 m (bande passante $\frac{1}{4}$ 3 kHz Hz-20), mais l'échelle utilisée était différente [15 log (R/1 m)], ce qui rend les résultats difficilement comparables.

⁹⁴ Todd, V. L. G., Todd, I. B., Gardiner, J. C., Morrin, E. C. N., MacPherson, N. A., Di Marzio, N. A., and Thomsen, F. A review of impacts of marine dredging activities on marine mammals. ICES Journal of Marine Science Advance Access, November 4, 2014.

Impacts des bruits de dragage sur les mammifères marins

⁹⁵ Les mammifères marins, particulièrement les cétacés, sont des animaux qui utilisent le son pour détecter leurs proies, se diriger et communiquer. La connaissance des effets du bruit anthropique sur les mammifères marins a progressé pendant les deux dernières décennies, bien que beaucoup d'interrogations existent encore (Croll et *al.* 2001 ; Gerstein et *al.*, 2006 ; Southall et *al.*, 2007 ; Weilgart, 2007 ; Maître et *al.* 2007 ; OSPAR, 2009 ; Popov et *al.* 2011 ; Thomsen et *al.*, 2011 ; Di Iorio et Clark, 2012). Les effets étudiés se rapportent à des déplacements temporaires (TTS) ou permanents (PTS) du seuil auditif, ces derniers étant considérés comme une blessure du système auditif (Nachtigall et *al.*, 2003 ; Kastak et *al.*, 2005 ; Lucke et *al.*, 2009 ; Mooney et *al.*, 2009).

D'autres effets comprennent le masquage acoustique, qui pourrait altérer la durée, la fréquence ou le niveau sonore des signaux acoustiques. Le masquage des sons importants peuvent théoriquement avoir un impact sur le succès de la reproduction des individus de baleines et affecter les populations (Croll et *al.*, 2001 ; Clark et *al.*, 2009). Les changements de comportement dus à l'exposition au bruit peuvent se produire à de grandes distances de la source et peuvent être pénalisants biologiquement, puisqu'ils pourraient affecter les dépenses énergétiques ou limiter le temps passé à l'alimentation ou au repos (voir NRC, 2005). L'hypothèse a été faite que les impacts bruyants ont le potentiel de provoquer du stress (Maître et *al.*, 2007 ; Rolland et *al.*, 2012). Le stress peut réduire le comportement efficient de recherche de nourriture des mammifères marins ou augmenter leur susceptibilité à la maladie et aux effets des toxines (Geraci et Lounsbury, 2001 ; Reynolds et *al.* ; 2005 ; Perrin et *al.*, 2009).

⁹⁵ Todd, V. L. G., Todd, I. B., Gardiner, J. C., Morrin, E. C. N., MacPherson, N. A., Di Marzio, N. A., and Thomsen, F. A review of impacts of marine dredging activities on marine mammals. ICES Journal of Marine Science Advance Access, November 4, 2014.

La connaissance de la gamme d'audition des espèces de cétacés est encore partielle, mais il est généralement admis que les baleines et dauphins exploitent des bandes de fréquences semblables, la gamme d'audition pouvant s'étendre au-delà des fréquences utilisées pour les vocalisations (Southall et *al.*, 2007). Si les bruits anthropiques comme ceux produits pendant les opérations de dragage, coïncident avec les gammes d'audition des espèces, ils sont potentiellement de nature à affecter les individus et les populations de mammifères marins présents sur le site. En considérant le recouvrement entre les bruits de dragage et la gamme d'audition des mammifères marins, il est admis que tous les mammifères marins peuvent être affectés par le bruit provoqué par les engins de dragage, notamment les baleines qui communiquent aux fréquences très basses (Thompson et *al.*, 1979 ; Au et *al.*, 2000 ; Tervo et *al.*, 2012).

Les odontocètes (cétacés à dents, dauphins et marsouins) produisent une grande variété de sons pour la communication et l'écholocation : bande de fréquence étroite, fréquence modulée, sifflements (0.5-80 kHz) et clics sonores à large bande (0.25-220 kHz) (Au et *al.*, 2000 ; Gordon et Tyack, 2002). Les impacts dus au bruit des dragages concernent également les pinnipèdes, qui utilisent le son dans leurs relations sociales ou pour localiser leurs congénères (Schustermann et *al.*, 2001 ; Van Opzeeland et *al.*, 2010).

Si les activités de dragages ont lieu dans des secteurs de reproduction, le masquage des bruits biologiques importants pourrait diminuer les chances de reproduction des pinnipèdes.

La réaction des mammifères marins aux bruits émis par les dragages dépend des types de dragues utilisées et des phases opérationnelles, des conditions de propagation locales du son et de la sensibilité et de la bande passante d'audition de l'espèce concernée. Les niveaux sonores auxquels les mammifères marins sont exposés sont d'habitude au-dessous des seuils de blessure soupçonnés ou des déplacements permanents (PTS) du seuil auditif, (pour les critères d'exposition, voir Southall et *al.* 2007) ;

cependant, les déplacements temporaires (TTS) du seuil auditif ne peuvent pas être exclus si les mammifères marins sont exposés au bruit pendant des périodes prolongées [pour une étude récente sur les effets d'exposition à long terme des marsouins (*Phocoena phocoena*), voir Kastelein et al. (2012)].

Dans la littérature, les études de cas consacrées aux effets des activités de dragage en mer sur les espèces de mammifères marine spécifiques sont rares et la contribution particulière du dragage est le plus souvent difficile à caractériser.

Il est admis que les baleines boréales (*Balaena mysticetus*) sont affectées par le bruit industriel en général, mais les résultats des études consacrées à leurs réactions au bruit provoqué par le forage et le dragage dans la mer de Beaufort au Canada ont été peu concluants. Dans les années 1980, les baleines boréales ont été observées près des dragues extrayant du sable (Richardson et al., 1985, 1987, 1990). Une comparaison à long terme des données recueillies en mer de Beaufort suggère que moins d'animaux ont été observés après 1980, quand l'activité industrielle, en incluant le dragage, s'est développée. L'hypothèse fut émise que les effets cumulatifs des activités industrielles conduisirent les baleines à délaisser leurs habitats préférentiels ou à occuper d'autres zones en raison d'un changement dans la répartition de leurs proies (Richardson et al., 1987).

Etudiant les baleines grises (*Eschrichtius robustus*) dans une lagune de Californie, Bryant et al. (1984) concluent que les activités industrielles, incluant le dragage, avaient mené probablement à des changements à long terme significatifs dans la distribution des baleines. L'étude rapporte que les baleines grises étaient absentes presque complètement de la lagune pendant les nombreuses années où la navigation et les dragages étaient intenses et qu'elles sont seulement revenues quand ces activités ont cessé.

La navigation elle-même est potentiellement une cause importante du dérangement des cétacés (voir Southall, 2005 ; OSPAR, 2009 ; et

résultats récents dans Rolland et al., 2012), si bien que l'effet réel du dragage seul ne peut être déterminé. Plus récemment, Anderwald et al. (2013) ont fait état que le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) fréquentant les côtes de l'Irlande a évité les secteurs à forts trafics de navires (en incluant les dragues) pendant l'installation d'un pipeline du gaz. Les données recueillies ont indiqué que le nombre de bateaux de pêche a été aussi corrélé négativement avec la présence de ces cétacés, ce qui suggère que leur désertion pouvait être plus en lien avec le bruit des navires ou leur présence en général, plutôt qu'avec les activités de dragage.

En utilisant des techniques de surveillance acoustique passives, Diederichs et al. (2010) ont montré que les marsouins s'éloignaient à des distances de 600 m d'une drague hydraulique à élinde opérant à l'ouest de Sylt (Allemagne du Nord). Dans le Port d'Anchorage (Alaska), le déclin de la population de la baleine blanche ou beluga (*Delphinapterus leucas*) a fait l'objet d'une étude en relation avec des travaux de dragage. Les résultats ont été peu concluants, les bélugas étant souvent aperçus à proximité des dragues, vraisemblablement à cause d'un phénomène d'accoutumance au fil des années (Hoffman, 2010).

Plus récemment, Pirotta et al. (2013) ont noté que les populations du grand dauphin commun (*Tursiops truncatus*) déclinaient alors que l'intensité des dragages augmentait. Le port d'Aberdeen génère des mouvements importants de navires toute l'année et les dauphins sont ainsi habitués à un dérangement important. Les auteurs ont conclu, dans ce cas-là, que la désertion des dauphins était bien liée à l'activité de dragage et non à la circulation des navires en général.

Les études suggèrent jusqu'à présent que les effets des bruits émis par les dragues sur les pinnipèdes seraient limités. Entre 2002 et 2003, le suivi des dragages de Geraldton (Australie), rapporte que les otaries à fourrure de Nouvelle-Zélande (*Arctocephalus forsteri*) et les lions de mer australiens (*Neophoca cinerea*) n'ont montré aucun signe de réactions de dérangement, en dépit de la proximité des travaux de dragage (EPA, 2007). De même, le phoque moine des îles Hawaii (*Monachus schauinslandi*) n'a pas témoigné de réactions défavorables aux dragues mécaniques à benne autour de l'Île de Tern (Gilmartin, 2003). Anderwald et al. (2013) ont constaté que les phoques gris (*Halichoerus grypus*) avaient tendance à désertir les secteurs à fort trafic en Irlande, bien qu'il doive être noté que les observations ont été faites depuis une falaise, si bien que les animaux attirés par la nourriture potentielle à proximité des dragues, ont pu être manqués par les observateurs.

Gerstein et al. (2006) étudiant le comportement du lamantin d'Amérique du Nord (*Trichechus manatus*) sous l'effet de différents bruits sous-marins, montrent que les bruits émis par la cavitation des hélices des dragues, les têtes d'élinde et le déplacement des sédiments dans les conduites de refoulement immergées pourraient masquer le bruit d'autres bateaux, en augmentant la probabilité d'une collision avec un navire. Les réactions d'évitement des siréniens ont été aussi observées chez les lamantins de Floride (*T. manatus latirostris*) désertant les herbiers dont ils se nourrissent (*Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme*, *Halodule wrightii*) lorsque les bruits de fréquence basse augmentent (Miksis-Olds et al., 2007).

Les auteurs⁹⁶ concluent qu'il est difficile d'évaluer avec précision l'impact des bruits sous-marins provoqués par l'activité de dragage sur les mammifères marins, étant donné les effets propres aux autres activités industrielles qui se produisent concomitamment.

Ils estiment que la plupart des effets à court ou de moyen terme entraînent des réactions de comportement et le masquage des fréquences basses chez les baleines et les phoques. La perte d'audition temporaire est possible si les animaux évoluent à proximité des engins de dragage pendant une période prolongée, mais les blessures auditives sont improbables.

⁹⁶ Voir note 89



Nous contacter

Courriel : **geode@nantes.port.fr**

Téléphone contact : +33 (0)2 40 44 20 99

Site internet : **www.geode-port.com**