

Enjeux du Secteur Potentiellement EXploitable en Sable au large du Golfe du lion



✦ Volet « Physique et Ecologique »

Phase 2 - Diagnostic

Document réalisé par le CEFREM - UPVD



Union Européenne

*Ce projet est cofinancé par l'Union européenne.
L'Europe s'engage en Languedoc-Roussillon avec le Fonds européen de développement régional*



Cofinancement par Fond National d'Aménagement et de Développement du Territoire



Autofinancement de l'établissement public Agence des aires marines protégées



Cofinancement de la Région Languedoc-Roussillon dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région

Contributeurs

S. Berné (CEFREM, UPVD-CNRS, UMR5110) : coordination et rédaction de tous les chapitres

F. Bourrin et X. Durrieu de Madron (CEFREM, UPVD-CNRS, UMR5110) : colonne d'eau

Céline Labrune (Laboratoire Arago (LECOB-FRE3350)) : Substrats meubles

D. Bonhomme (GIS-Posidonie) : Substrats durs

Avec la collaboration de G. Agin et B. Hebert (CEFREM, UPVD-CNRS, UMR5110)

Remerciements à M.A. Bassetti pour la relecture du document final

Citation de ce rapport

Berné, S., Bonhomme, D., Bourrin, F., Durrieu de Madron, X., Labrune, C. 2013. Enjeux du secteur potentiellement exploitable du Golfe du Lion (ESPEXS) Volet Physique et écologique- Phase 2-Diagnostic. Convention UPVD-CNRS-AAMP 45119CS097. Rapport CEFREM, Université de Perpignan via Domitia, 63 pages

* Sommaire

I. Rappel sur le scenario d'extraction envisagé.....	6
II. L'impact de l'extraction des granulats marins en regard des spécificités du Golfe du Lion	8
2-1 - Impacts sur le milieu sédimentaire	9
2.1.1 – Impacts directs sur le compartiment sédimentaire par prélèvement et recouvrement	10
2.1.2 - Impacts indirects sur le compartiment sédimentaire.....	14
2.1.3- Restauration du milieu sédimentaire	14
2-2 – Impacts sur la colonne d'eau	16
2.2.1- Formation et évolution de panaches turbides de surface.....	16
2.2.2- Formation de panaches turbides près du fond	21
2-3 – Impacts sur le milieu biologique	23
• 2.3.1- Compartiment pélagique.....	23
2.3.2- Compartiment benthique.....	24
2.3.3- Avifaune	36
2.3.4- Mammifères marins	38
III. Synthèse des enjeux principaux sur la zone ESPEXS et recommandations	39
3.1- Caractériser le gisement.....	39
3.2- Déterminer les conditions du transport sédimentaire par charriage.....	40
3.3- Caractériser la nature et le comportement des panaches turbides.....	40
3.4- Caractériser et suivre l'évolution de la biodiversité associée aux substrats meubles et durs	41
3.5- Choisir une stratégie d'exploitation conciliant les impératifs de qualité du matériau et les enjeux écologiques	42
3.6- Déterminer les périodes de moindre impact écologique d'une exploitation	42
3.7- Améliorer les connaissances sur la faune pélagique et les oiseaux marins	43
3.8- Prendre en compte le devenir des sédiments prélevés après leur déchargement sur le littoral	43
IV. Recommandations pratiques pour l'établissement d'un "état initial" et des études préliminaires	44
4.1- Etablissement d'une cartographie en trois dimensions de la zone d'extraction et des zones potentiellement impactées par les panaches turbides	44
4.2- Réalisation de <i>scenarii</i> de propagation des panaches turbides	45
4.3- Caractérisation des propriétés physiques et chimiques de la colonne d'eau	45
4.4- Amélioration des connaissances sur la faune benthique.....	46
4.5- Amélioration des connaissances sur la faune pélagique et les oiseaux marins	48
V. Synthèse et conclusions	49
VI. Références	55
VII. LEXIQUE	58
VIII. ANNEXES	59



4 - ESPEXS phase 2, volet physique écologique



UPVD

* Introduction

Sur la base de l'état des connaissances dans les domaines physique et écologique (rapport de phase 1 du projet ESPEXS), ce document est une contribution à l'évaluation des enjeux pour ces domaines, dans le contexte spécifique du Golfe du Lion. Il tente également d'établir des recommandations concernant les connaissances à acquérir sur la zone dans l'hypothèse d'une exploitation de granulats.

Les besoins en granulats¹ sont croissants à l'échelle européenne, liés à une demande de plus en plus forte en matériaux pour les constructions, les infrastructures ou plus particulièrement dans notre cas, la protection contre l'érosion côtière par rechargement de plages. Les contraintes environnementales réduisent les possibilités d'utilisation des gisements terrestres traditionnellement exploités et nécessitent le développement du recyclage de matériaux ou l'usage de matériaux marins. Dans le Golfe du Lion, où les prélèvements sont faibles et surtout liés aux travaux portuaires (à l'exception de l'opération pilote de rechargement des plages de l'anse d'Aygues Mortes (Raynal and Certain, 2011), on ne dispose pas de l'expérience acquise à l'occasion de projets d'exploitation de grande ampleur, ni de séries temporelles pluri-annuelles qui permettraient d'évaluer l'effet de l'extraction sur les milieux et la restauration de ceux-ci après exploitation. C'est aux USA, en Europe (Grande-Bretagne, Pays-Bas, Italie, ...), et sur les façades françaises de l'Atlantique et de la Manche, que l'on dispose d'une expérience que nous avons tenté de transposer au contexte hydro-sédimentaire, géomorphologique et écologique spécifique du Golfe du Lion². Pour certains aspects, nous nous sommes appuyés également sur l'expérience acquise à l'occasion de projets européens liés à l'impact du chalutage des fonds marins. L'exemple de la Grande-Bretagne est intéressant; c'est en effet le pays européen où l'exploitation de granulats marins est la plus importante, oscillant annuellement entre 15 et 20 millions de tonnes. Ce pays a mis en place une sorte de taxe parafiscale ("*Tax Levy*") qui a permis de réaliser un grand nombre d'études techniques et scientifiques permettant l'optimisation de l'exploitation des granulats marins, ainsi que l'évaluation et la diminution de leur empreinte écologique.

¹ **Granulats** : matériaux sédimentaires de toute taille (sables, graviers, cailloutis) et de provenances diverses (roches massives, alluvions fluviales terrestres ou marines) recherchés par l'industrie.

² Tous les avis recueillis dans la bibliographie ne s'appliquent donc pas forcément au contexte particulier du Golfe du Lion où les profondeurs d'eau, les distances à la côte, le contexte hydrodynamique et sédimentaire et la faune marine sont différents de la plupart des sites ayant fait jusqu'à présent l'objet d'études d'impact.

1. Rappel sur le scénario d'extraction envisagé

La technique envisagée pour l'extraction des granulats de la zone ESPEXS est basée sur l'utilisation d'une drague aspiratrice en marche ou au point fixe, qui est la technique la plus couramment employée en France. Plus spécifiquement, et compte tenu de la profondeur d'eau (80-100 m) et de l'éloignement des côtes (environ 30 milles), il est envisagé d'utiliser une barge de type "JUMBO", dont la capacité serait d'au moins 20.000m³ (Cataliotti and Daniel, 2013). Le volume à draguer est évalué entre 2 et 2,5 millions de m³, qui seraient prélevés lors d'une campagne unique dont la durée est estimée à 3-4 mois (*ibid*).

Ces dragues aspiratrices (Figure 1) sont équipées :

- d'un système permettant l'extraction du matériel exploité : soit un bras latéral appelé élinde aspiratrice,
- d'un bassin de chargement pour stocker le matériel extrait,
- d'un système de surverse ou déverse, par sabords latéraux ou par puits central, qui permet l'évacuation du trop-plein d'eau/particules fines,
- d'un système de déchargement du matériel extrait : par bande transporteuse, par clapage ou par refoulement hydraulique.

L'élinde racle le fond et aspire, grâce à un système de pompage, un mélange d'eau et de sédiment appelé « tout-venant », qui remonte et se déverse dans le bassin de chargement du bateau. L'eau contenue dans le « tout-venant » s'évacue de la cale par le fond du navire (c'est la déverse) ou par débordement (c'est la surverse). Déverse ou surverse entraînent avec elles de fines particules (sables fins, silts et argiles) qui retournent à la mer, formant le "panache turbide" visible en surface.

Les dragages hydrauliques ont 2 modes de fonctionnement possibles : le dragage à élinde aspiratrice en marche ou en point fixe. Dans le premier cas, chaque passage va créer un sillon d'une profondeur de 0.10 à 0.30 m et de un à deux mètres de large. Dans le prélèvement au point fixe (maintenu par positionnement dynamique ou ancrage), des dépressions circulaires pouvant atteindre plusieurs mètres de profondeur et plusieurs centaines de mètres de largeur seront formées.

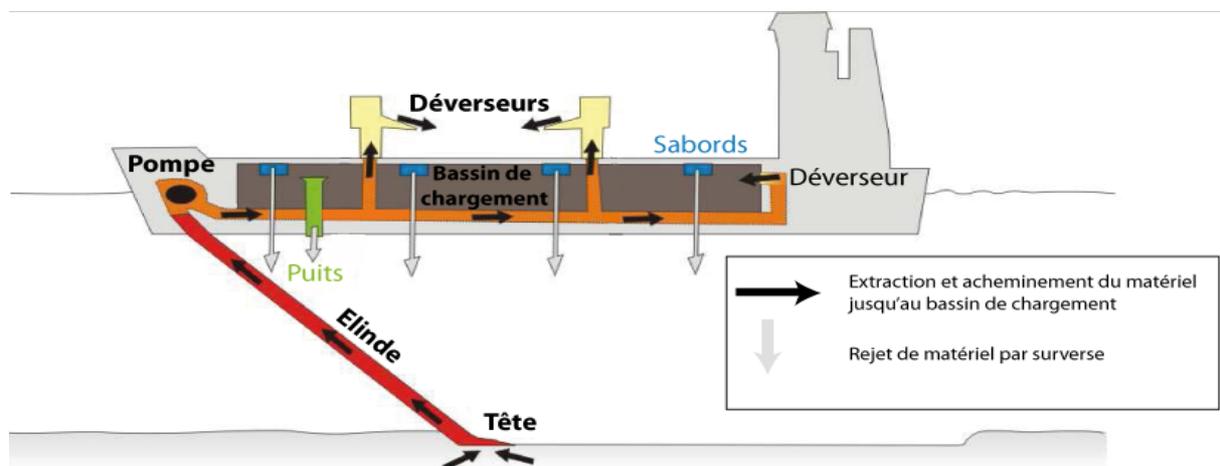


Figure 1 : Schéma du chargement de granulats marins extraits par une drague aspiratrice en marche et des deux principaux types de surverse (sabords ou puits) (modifié d'après Duclos, 2012).

Le contenu des cales est déchargé par voie hydraulique. Dans le cas d'une exploitation à terre, la cargaison est remobilisée sous forme de pulpe pour être refoulée par la pompe du navire dans des bassins aménagés à proximité des installations de traitement (ou un criblage mécanique peut être effectué pour éliminer la partie fine du sédiment). Dans le cas du rechargement de plage, la pulpe est pompée vers le prisme littoral. Dans le cas où une fraction du prélèvement est jugée sans intérêt commercial (en général la fraction fine), un criblage peut être réalisé au moment du prélèvement (c'est à dire sur site). Contrairement à ce qui est écrit dans de nombreux documents, le criblage en mer n'est pas interdit en France, mais son autorisation est laissée à l'appréciation des préfets (Augris et Simplet, Comm. Pers.), qui ne le permettent généralement pas dans le cas d'exploitations à proximité des côtes et où l'opération peut être réalisée après le débarquement (ce qui n'est pas le cas pour le rechargement de plage, voir chapitre 3). Signalons enfin que certaines nouvelles dragues comme le *Vasco de Gama* de la compagnie belge Jan de Nul, sont équipées d'un système "Zero Dump" qui permet de renvoyer les liquides de surverse près du fond (où ils sont utilisés pour le décapage des matériaux), afin de minimiser le panache turbide en surface. Une autre technique pour diminuer l'impact des panaches turbides est de minimiser, à l'aide d'une valve, la quantité d'air contenu, sous forme de bulles, dans les liquides rejetés en surface (Figure 2). En effet, ces bulles génèrent une circulation au sein du panache qui augmente fortement le maintien en suspension des particules sédimentaires.

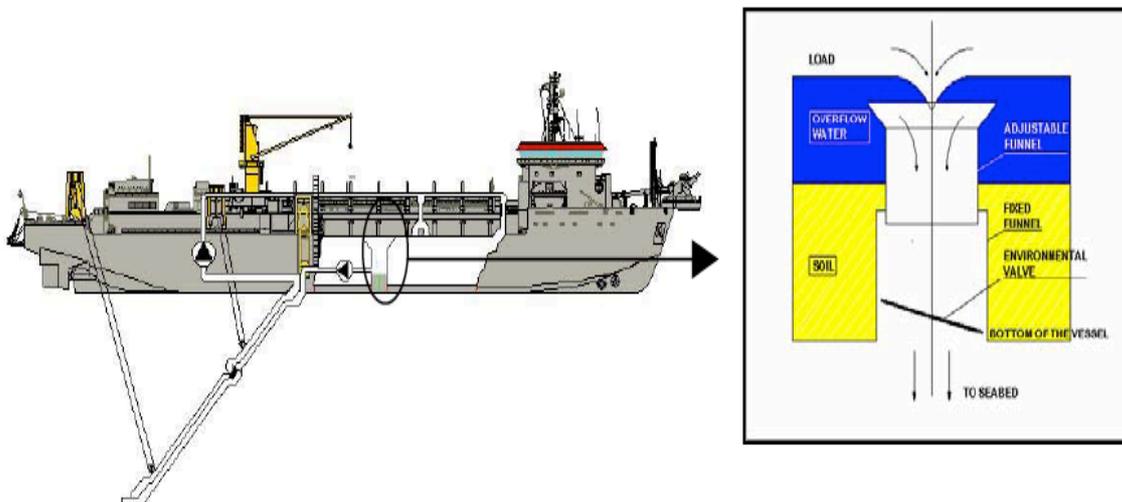


Figure 2 : Système de valve (appelée valve environnementale) permettant de diminuer la teneur en air des rejets de surverse (Heiremans, 2012).

II. L'impact de l'extraction des granulats marins en regard des spécificités du Golfe du Lion

Les extractions de granulats marins créent une perturbation sur le fond, c'est-à-dire « un évènement discret dans le temps qui désorganise les écosystèmes ou la structure des communautés, et induit des changements dans les ressources, dans la disponibilité du substrat ou de l'environnement physique ».

Les recommandations internationales (Rio de Janeiro en 1992 et Johannesburg en 2002) et la Directive Cadre européenne «Stratégie pour le Milieu Marin» (DCSMM) (2008/56/CE), formalisent la nécessaire bonne connaissance des impacts des activités d'extraction sur l'environnement marin dans un objectif de développement durable des régions concernées. Elles soulignent le manque d'études sur les impacts d'extractions de granulats en France (Desprez and Lafite, 2012; Duclos, 2012).

Dans le cadre de la DCSMM, une note a été rédigée par l'AAMP (Quemmerais-Amice, 2011) sur l'impact de l'exploitation des granulats marins dans la sous-région méditerranéenne, et recommande d'appliquer des approches similaires à celles développées pour les exploitations en Manche. En effet, les études les plus complètes et les plus récentes en France ont été menées en Manche orientale, et l'on trouvera, au fil du texte, nombreuses références à deux thèses récentes (Duclos, 2012; Lozach, 2011) qui présentent une bonne synthèse des différents impacts observés durant ou à la suite d'une exploitation de granulats en Manche orientale (Figure 3).

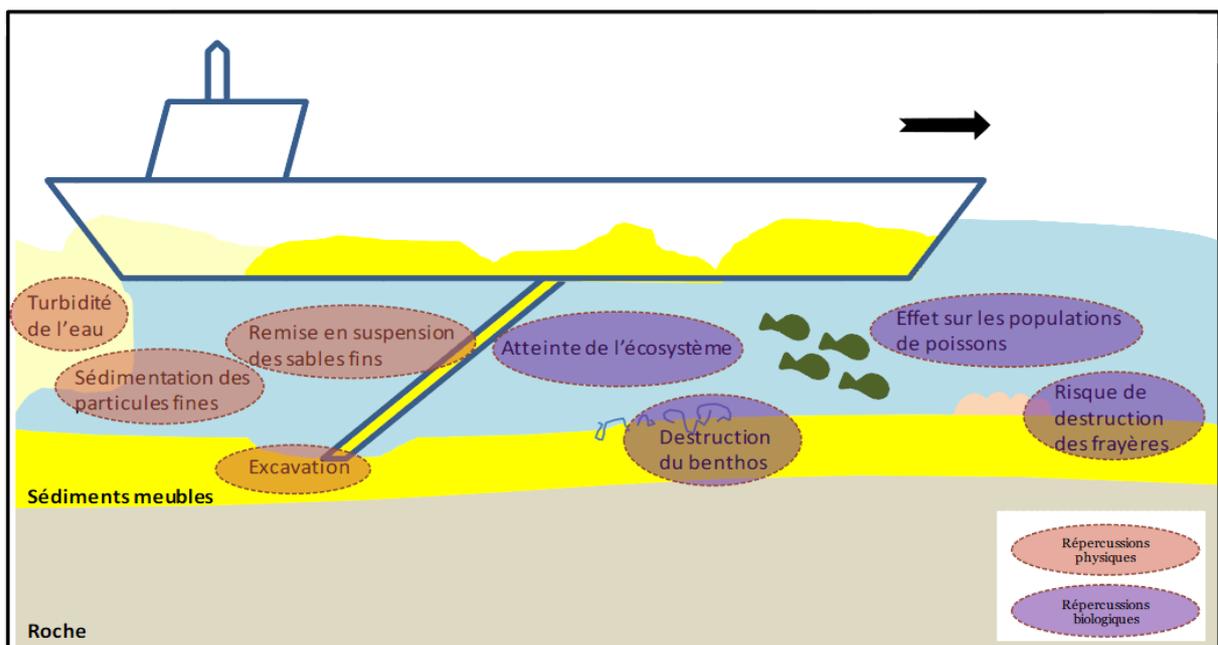


Figure 3 : Synthèse des impacts possibles de l'extraction de granulats marins par une drague aspiratrice (Lozach, 2011)

Dans la suite de ce document, nous avons séparé les impacts sur le milieu sédimentaire, la colonne d'eau et les organismes vivants (en dehors des ressources halieutiques). On notera que ces trois milieux sont bien sûr fortement interdépendants.

2-1 - Impacts sur le milieu sédimentaire

Ces impacts sont liés : (i) à l'extraction en elle-même, à savoir l'aspiration et l'acheminement du matériel extrait jusqu'au bassin de décantation de la drague, et (ii) aux rejets de la surverse ou déverse et du criblage (rejet en surface d'une fraction fine par passage dans un système de tamisage) s'il existe. D'un point de vue physique et sédimentaire, Duclos (2012) a synthétisé dans deux tableaux l'impact des extractions en Manche orientale. Le premier (Tableau 1) présente les impacts physiques directs et indirects de l'extraction et le deuxième (Tableau 2) montre les impacts directement liés aux matières en suspension dans la colonne d'eau ainsi que leurs conséquences. Nous examinerons successivement ces différents aspects.

Tableau 1 : Impacts sédimentaires directs et indirects dus à l'extraction de granulats marins (Duclos, 2012)

Type d'impacts	Causes	Nature de l'impact	Facteur forçants	
Direct	Mise en mouvement de la drague	Consommation de carburant et émissions de gazs	Temps de chargement Puissance de la pompe Dimension et poids de la drague	
	Extraction : aspiration et acheminement du matériel dragué	Bruit	Aspiration par l'élinde Pompe d'aspiration Acheminement du matériel dragué Chargement dans le bassin Type de moteur et hélice	
			Nature des sédiments Pompe d'aspiration Taille de l'élinde Stratégie des extractions : intensif ou étendu Cumul des extractions Temps de restauration	
	Extraction : aspiration du substrat	Modification morphologique (bathymétrie et pente)	Hétérogénéité verticale des sédiments	
		Modification sédimentaire	Hydrodynamisme naturel Modification morphologique	
		Modification hydrodynamique (courant et pente)	Modification hydrodynamique Modification sédimentaire	
	Extraction : aspiration et surverse	Remise en suspension	Modification de la dynamique sédimentaire	Nature des sédiments Type de surverse Type d'élinde Nature du criblage Caractéristiques hydrodynamiques Cap de la drague
	Indirect	Extraction : aspiration du substrat	Modification morphologique (bathymétrie et pente)	Modification hydrodynamique (courant et houle) Modification dynamique sédimentaire
			Modification sédimentaire	Modification dynamique sédimentaire Modification morphologique (bathymétrie et pente)
Extraction : aspiration et surverse		Modification morphologique (bathymétrie et pente)	Remise en suspension	
		Modification sédimentaire	Remise en suspension	
		Modification de la dynamique sédimentaire	Modification morphologique (bathymétrie et pente) Modification sédimentaire	

Tableau 2 : Impacts et conséquences liés à la remise en suspension des sédiments par l'extraction de granulats marins en Manche orientale (Duclos, 2012).

	Impacts	Conséquences
Matière en suspension	Réduction de la pénétration de la lumière	Réduction de la croissance des algues Réduction de la visibilité Réduction de la production primaire
	Augmentation des concentrations en matières en suspension	Impact visuel Décroissance du rendement d'oxygène Décroissance du rendement de reproduction Décroissance du rendement nourriture Diminution du frai Modification des routes de migration
	Augmentation du flux de nutriment	Augmentation des opportunités de nourriture Augmentation des taux de reproduction
Chute des particules	Augmentation du taux de sédimentation	Etouffement des organismes à mobilité réduite sur le fond Blocage des organismes filtreurs Etouffement de la communauté benthique Etouffement des communautés de substrat dur Envasement des trous de crabe et de homard
	Changement du type de sédiment	Modification de la granulométrie Modification du stock de sables pour le cycle annuel de rechargement des plages
	Modification du régime sédimentaire	Etouffement des sites archéologiques

2.1.1 - Impacts directs sur le compartiment sédimentaire par prélèvement et recouvrement

- Topographie et nature des fonds

Par définition, le prélèvement va modifier la topographie sous-marine en créant des excavations dont l'extension et la profondeur dépendront de la stratégie d'exploitation retenue. La cartographie multi-faisceau et l'imagerie acoustique au sonar latéral sont deux outils complémentaires permettant de bien mettre en évidence l'impact de ces extractions (Figures 4 et 5).

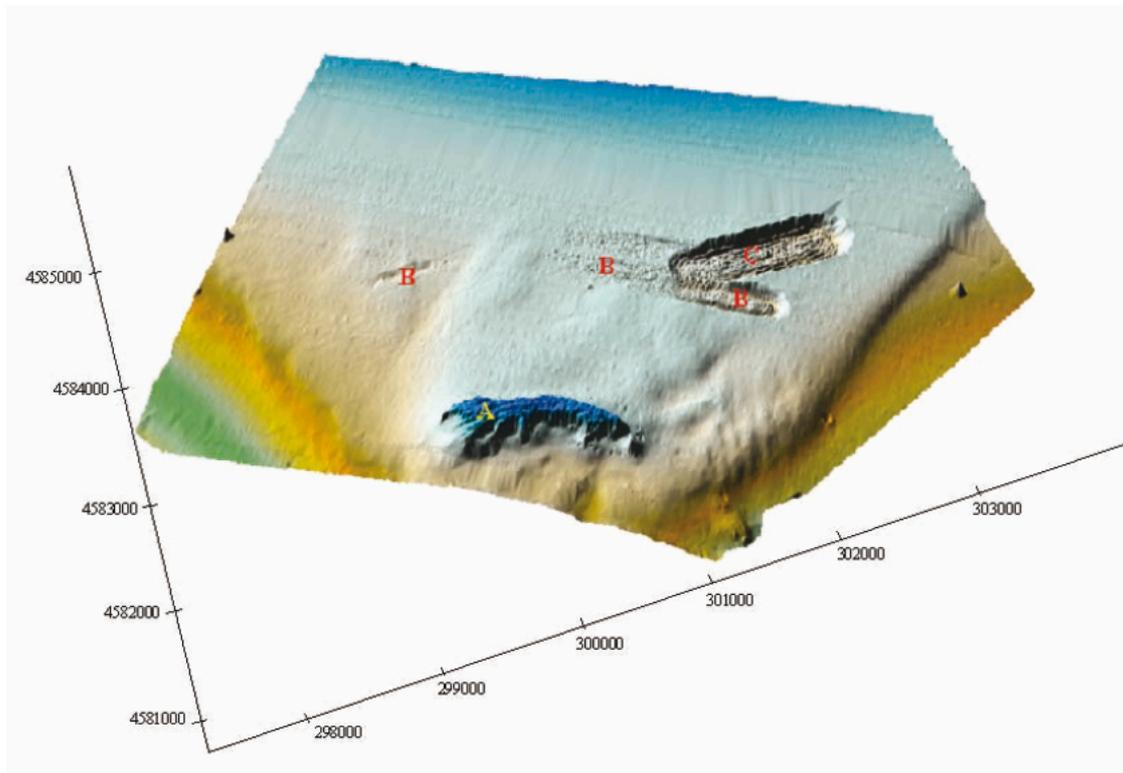


Figure 4 : Représentation 3D ombrée d'un levé bathymétrique dans une zone d'extraction de la région d'Anzio (mer Tyrrhénienne) (Nicoletti et al., 2006). Le code de couleur des profondeurs n'est pas donné par les auteurs. Les coordonnées sont probablement métriques. Notez les zones en dépression B et C, correspondant aux zones de prélèvement en 2001 et 2003, respectivement. A correspond à un haut fond rocheux jugé sensible au plan écologique.

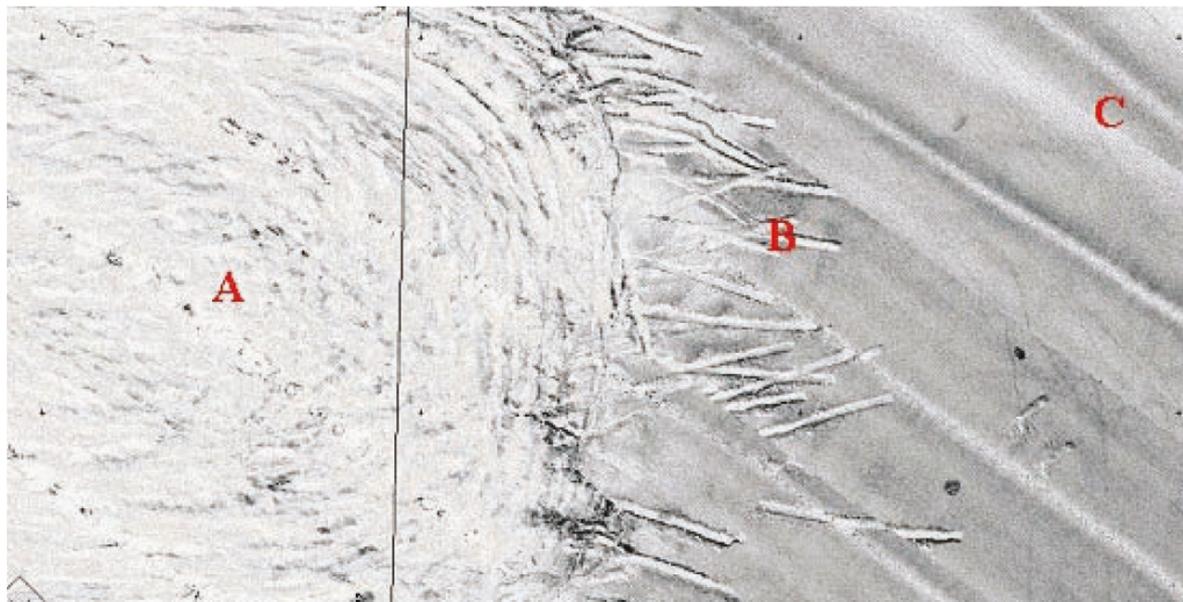


Figure 5 : Traces de dragages en mer Tyrrhénienne centrale (Nicoletti et al., 2006). L'échelle du document n'est pas indiquée par ces auteurs, mais on peut estimer à 2-3m la largeur des sillons creusés dans la zone B, moyennement impactée. A et B correspondent, respectivement, à des zones très et pas ou peu impactées.

Plusieurs études ont montré l'impact des différents types de dragues sur les fonds marins, et les caractéristiques des souilles ainsi produites (Figure 6). Bien sûr, des passages répétés augmenteront la profondeur des excavations, qui peuvent atteindre alors plusieurs mètres au lieu de quelques décimètres pour un passage simple.

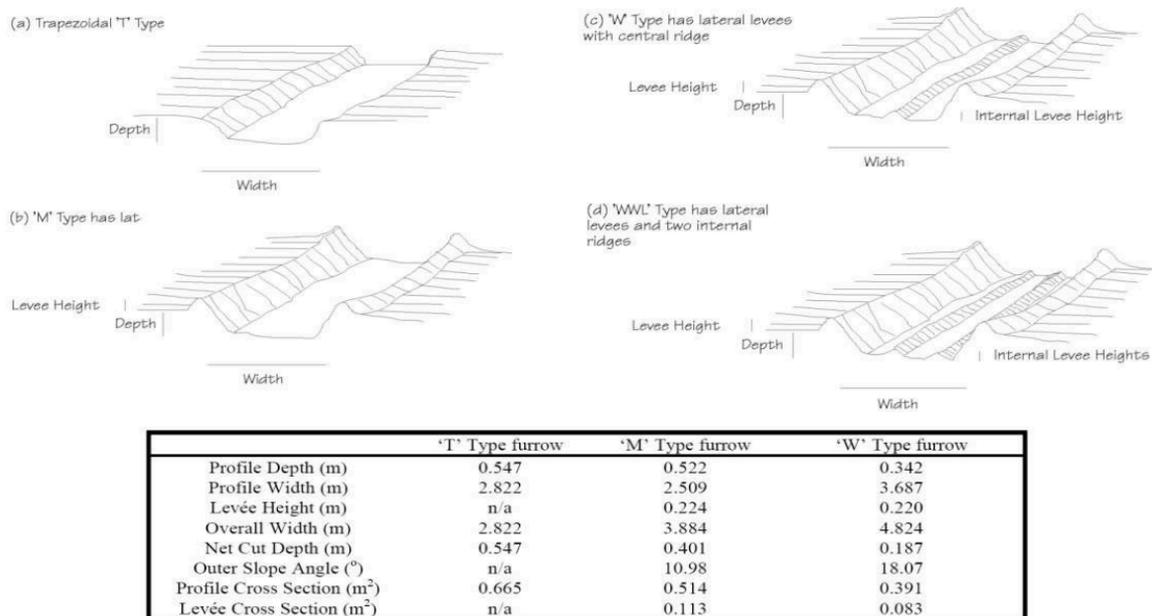


Figure 6 : Géométrie des sillons provoqués par différents types de dragues en marche, et caractéristiques de ces sillons (Davies and Hitchcock, 1992).

Dans le contexte du Golfe du Lion comme ailleurs, la réalisation de cartes bathymétriques et morpho-sédimentaires précises, permettant de définir un "état zéro" de la zone prélevée, serait particulièrement utile (voir recommandations de l'Ifremer <http://wwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Materiaux-marins/Protocoles/>).

Compte tenu des profondeurs d'eau relativement importantes, l'utilisation d'un sondeur multi-faisceau nous semble plus appropriée que celle d'un sondeur mono-faisceau. C'est d'ailleurs la technique utilisée sur les sites de la Mer Tyrrhénienne présentés par Nicoletti et al. (2006). L'utilisation simultanée d'une imagerie sonar latéral haute résolution fournira un complément d'information sur les aspects lithologiques et les habitats. La réalisation de levés séquentiels permettra d'évaluer de manière indépendante les volumes prélevés et de suivre la restauration du milieu, en particulier la possibilité que les dunes détectées en surface soient épisodiquement actives, et facilitent la restauration naturelle. Ces études serviront également de support aux travaux de suivi des populations benthiques.

- Nature des sédiments

L'extraction d'un niveau plus ou moins important de sédiment peut se traduire par la mise à l'affleurement de strates sous-jacentes, de nature sédimentaire différente. Il en résultera alors une modification des habitats. Dans la littérature, beaucoup d'exemples issus de la Manche ou de la Mer du Nord montrent que l'extraction de granulats conduit souvent à la mise à l'affleurement de strates plus grossières (Le Bot et al., 2010).

Ce n'est pas nécessairement le cas pour la zone ESPEXS, où les dépôts sableux situés sous les bancs et dunes sableuses seraient plus fins que ceux-ci, sur la base du seul prélèvement qui les ait atteint (le forage Promess PRGL2 décrit par Bassetti et al., 2008). Une bonne connaissance du gisement potentiel est nécessaire pour évaluer la modification lithologique qui résultera de son exploitation. La nouvelle couverture sédimentaire superficielle ainsi créée par le passage de la tête de l'élinde présentera des propriétés physiques (teneur en eau, porosité...), mécaniques (érodabilité, ...) et chimiques (teneur en oxygène, en éléments nutritifs,...) différentes de celles des dépôts originaux. Ces propriétés peuvent être moins favorables, mais aussi plus favorables, à la recolonisation du milieu par la faune benthique, selon les contextes. Un suivi de l'évolution du gisement et des caractéristiques sédimentologiques des sédiments affleurant après l'exploitation peut être réalisé facilement au moyen d'outils d'imagerie optique (vidéo) et de prélèvement sédimentaire (bennes, ou de préférence carottages préservant l'interface eau/sédiment), en complément des outils d'imagerie sismique et acoustique préconisés dans le paragraphe précédent.

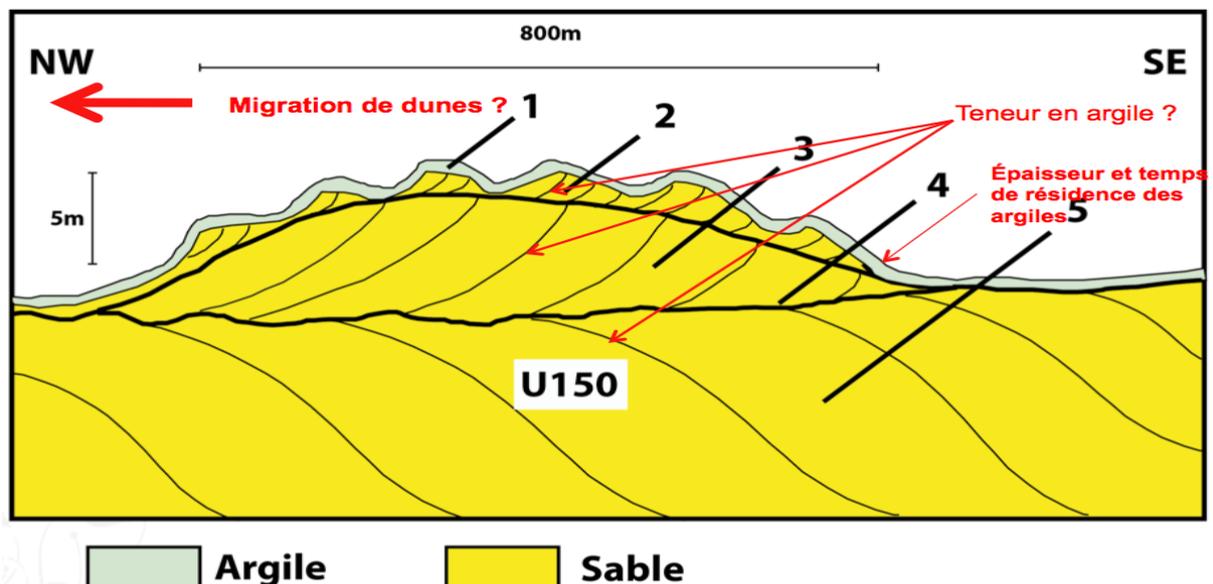


Figure 7 : Représentation simplifiée des enjeux "sédimentaires" sur la zone d'extraction possible (d'après Bassetti et al. 2006 et 2008). 1: drapage (saisonnier ?) de sédiments fins (2) dunes (probablement actives durant les événements exceptionnels, et migrant vers l'ouest). (3) bancs sableux reliques. (4) surface d'érosion constituée d'éléments hétérogènes et grossiers (5) sables littoraux fossiles, passant progressivement à des silts et argiles en profondeur

Les enjeux principaux sont liés à la quantité de sédiments fins susceptibles d'être mis en suspension (près du fond et en surface). Celle-ci dépendra de la nature et de l'épaisseur de la couche de sédiments fins qui nappent la surface, et de la teneur en fines des unités 2, 3, 4 et 5 de la figure 7. Une bonne connaissance du gisement qui serait exploité est donc indispensable, aussi bien du point de vue de la qualité du matériel qui servirait à recharger les plages que du point de vue de l'impact du dragage au large (et dans la zone de recharge-ment !). Sur la base du seul forage disponible, la granularité des sables littoraux (U150) est plus fine que celle des sédiments sus-jacents.

2.1.2 - Impacts indirects sur le compartiment sédimentaire

La présence de sillons ou d'excavations peut contribuer à une canalisation des écoulements, et une accélération locale de ceux-ci, en particulier dans les zones à marées où les sillons sont orientés dans le sens de l'ellipse de courants (Duclos, 2012). A l'inverse, les dépressions (surtout si elles sont profondes) peuvent être soumises à des courants moins forts que la zone adjacente, et favoriser le piégeage de sédiments fins à tendance anoxique (absence d'oxygène) (Hitchcock et al., 2002).

La plupart des études consultées sont en faveur de sillons de profondeur d'ordre métrique, plutôt que d'excavations plus profondes et plus localisées qui favoriseraient l'anoxie (Hitchcock et al., 2002; Lozach, 2011; Duclos, 2012). Pour minimiser la dispersion des panaches de surface, les études menées en Manche orientale suggèrent d'orienter les dragages dans l'axe du courant dominant plutôt que transversalement (Duclos, 2012). Dans le cas particulier de la zone ESPEXS, il est à noter que la géométrie du gisement pourrait contraindre l'orientation des profils (les bancs sableux reliques sont orientés NW-SE, par contre le prisme littoral fossile est d'extension plus vaste, et d'allongement général E-W). Une autre contrainte possible, non évaluée à ce stade, est liée aux conditions de mer qui pourraient imposer aux dragues de suivre des routes facilitant la tenue du navire. Le suivi hydrodynamique, morphologique et sédimentaire des zones exploitées, comme préconisé dans les sections 2.1.1 et 2.1.3, doit permettre d'évaluer cet impact.

2.1.3- Restauration du milieu sédimentaire

La restauration physique est considérée totale lorsque les empreintes de la drague ne sont plus détectables par les techniques d'imagerie et lorsque la composition des sédiments est redevenue celle qui précédait l'activité d'extraction (Boyd et al., 2004). Cela ne signifie pas qu'une modification de la nature lithologique des fonds ait nécessairement un impact négatif sur la faune benthique.

Les traces laissées par l'élinde pourront mettre plus ou moins de temps à disparaître et le retour aux conditions initiales ne sera pas toujours possible (MEEDDM, 2010).

Un rétablissement de la zone draguée peut se produire en quelques mois dans certains cas, par exemple seulement 8 mois ont été nécessaires pour restaurer des sillons de 0,3-0,5 m en Mer du Nord (van Moorsel et Waardenburg, 1993 *in* Duclos, 2012). *A contrario*, d'autres études ont montré des temps beaucoup plus longs (7 à 10 ans) ou une absence de restauration lorsque les conditions hydrodynamiques sont plus faibles ou si les stocks sédimentaires constituant l'interface ont été durablement épuisés (Boyd et al., 2004; Desprez et al., 2010; Limpenny et al., 2002).

Une synthèse bibliographique sur les temps de restauration a permis de proposer des temps moyens (Foden et al., 2009) par paysage sous-marin. Elle montre que, toutes choses égales par ailleurs, les milieux à haute énergie et forte sédimentation (les estuaires par exemple) se rétablissent plus rapidement que les environnements de sables grossiers soumis à des courants faibles. Une traduction simplifiée de la synthèse de Foden et al. (2009) est présentée dans le tableau 3.

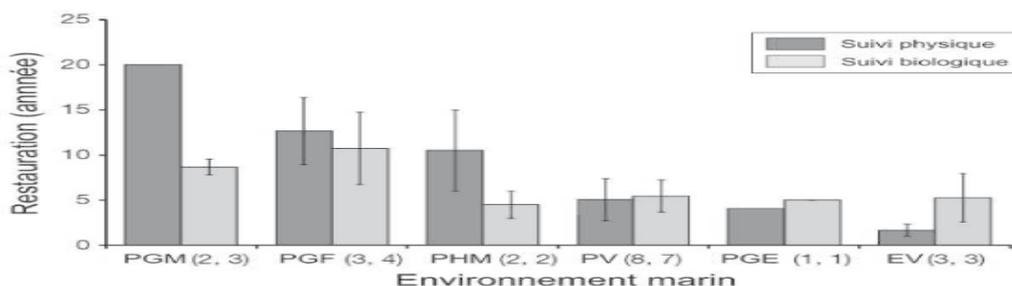
Tableau 3 : Caractérisation des différents "paysages" marins et temps de restauration moyens correspondant (Foden et al., 2009). On notera que les paysages correspondant à la zone ESPEXS n'ont pas fait l'objet d'étude. La tension de frottement exprime la contrainte physique appliquée par le courant au fond marin.

Environnement marin (profondeur)	Substratum	Tension de frottement (courants) (N/m ²)	Abbréviation
Estuaire (0-30m)	Principalement meubles, occasionnellement rocheux	Variable : modérée à forte	EV
Plateforme peu profonde (0 à limite d'influence de la houle)	Grossiers	Faible	PGF
		Modérée	PGM
	Hétérogènes	Elevée	PGE
		Modérée	PHM
Plateforme profonde (limite d'influence de la houle - 200m)	Sables à sablo-vaseux	Variable	PV
		Modérée	PPGM
	Grossiers	Elevée	PPGE
		Modérée	PPHM
Sables à sablo-vaseux	Faible	PPF	
	Variable : modérée à forte	PPV	

Tension de frottement :

Faible = 0 à 1.8 N/m²
 Modérée = 1.8 à 4.0 N/m²
 Elevée = > 4.0 N/m²

 Non étudié dans la littérature



Dans le contexte particulier de la zone ESPEXS, les conditions hydrodynamiques relativement faibles (par rapport aux zones à marée et de petit fond étudiées jusqu'à maintenant) ne prêchent pas en faveur d'une restauration rapide du milieu. Comme indiqué dans la section 2.1.2, l'existence ou non d'une migration épisodique des dunes sableuses est un facteur important, et inconnu, de la restauration sédimentaire et donc des habitats.

2-2 - Impacts sur la colonne d'eau

La formation de panaches turbides est un effet important, et partiellement visible, de l'extraction de granulats marins. Il existe en fait deux types de panaches produits par l'exploitation des granulats. Le **premier** est créé près du fond par la tête de l'élinde au moment du passage de celle-ci, alors que le **second** est généré en surface par la déverse ou surverse de l'eau, chargée en particules fines rejetée par la drague.

2.2.1- Formation et évolution de panaches turbides de surface

Les panaches de surface générés par les dragues diminuent la transmission de la lumière et affectent donc la photo-synthèse du phyto-plancton, et toute la chaîne trophique. L'apport de nutriments contenus dans les sédiments et l'eau interstitielle peut également modifier la chaîne trophique, avec des effets différents selon la période de l'année considérée. Ce panache de surface peut se redéposer dans la zone d'extraction, ou être entraîné sur de grandes distances et se redéposer dans des environnements très différents de son milieu d'origine. L'extension géographique et temporelle de la couche de matière en suspension près du fond (néphéloïde) ainsi créé dépendra du volume de matériau extrait, de sa teneur en éléments fins, mais aussi des conditions hydrodynamiques de la zone (courants, stratification des masses d'eau, ..). Plus précisément, de nombreuses études montrent que la fraction sableuse rejetée (volontairement ou involontairement) en surface se dépose assez rapidement (quelques minutes) et dans un périmètre restreint (300 à 600 m selon la profondeur d'eau) (Newell et al., 2004 in ICES, 2009). Il n'en va pas de même pour la fraction fine, qui peut s'étendre, en Mer du Nord ou en Manche, sur des distances de plusieurs kilomètres et former des panaches dont la persistance se comptera en journées. Les techniques de dragage utilisées peuvent aussi fortement influencer le temps de dissipation des panaches turbides, notamment en fonction de la teneur en bulles d'air des rejets.

En Manche orientale, Duclos (2012) a mesuré la quantité de sédiment rejetée en surface par surverse par une drague moderne (la "Charlemagne"). Les concentrations de matière en suspension atteignent 19 g/l au niveau de la drague, soit environ 6000 fois les valeurs naturelles dans cette zone, la quantité de sédiment rejeté (essentiellement des sables vaseux) étant d'environ 154 tonnes par heure.

Une étude directe des propriétés de ces panaches a été réalisée en Grande Bretagne dans la zone de l'île de Wight (Hitchcock et al., 2002). Elle montre que les concentrations des panaches peuvent atteindre en surface de très fortes valeurs (5,5 g/l à comparer à une valeur "naturelle" de 5 à 10 mg/l) à proximité de la drague. Les profils de mesures acoustiques montrent l'étalement du panache depuis la surface jusqu'au fond (Figure 8). Le suivi de l'évolution des panaches montre, dans le contexte de la zone étudiée par ces auteurs, une persistance d'un néphéloïde benthique de 3 à 4 mètres d'épaisseur à proximité du fond, à des distances supérieures à 800 m de la zone de dragage (Figure 9)

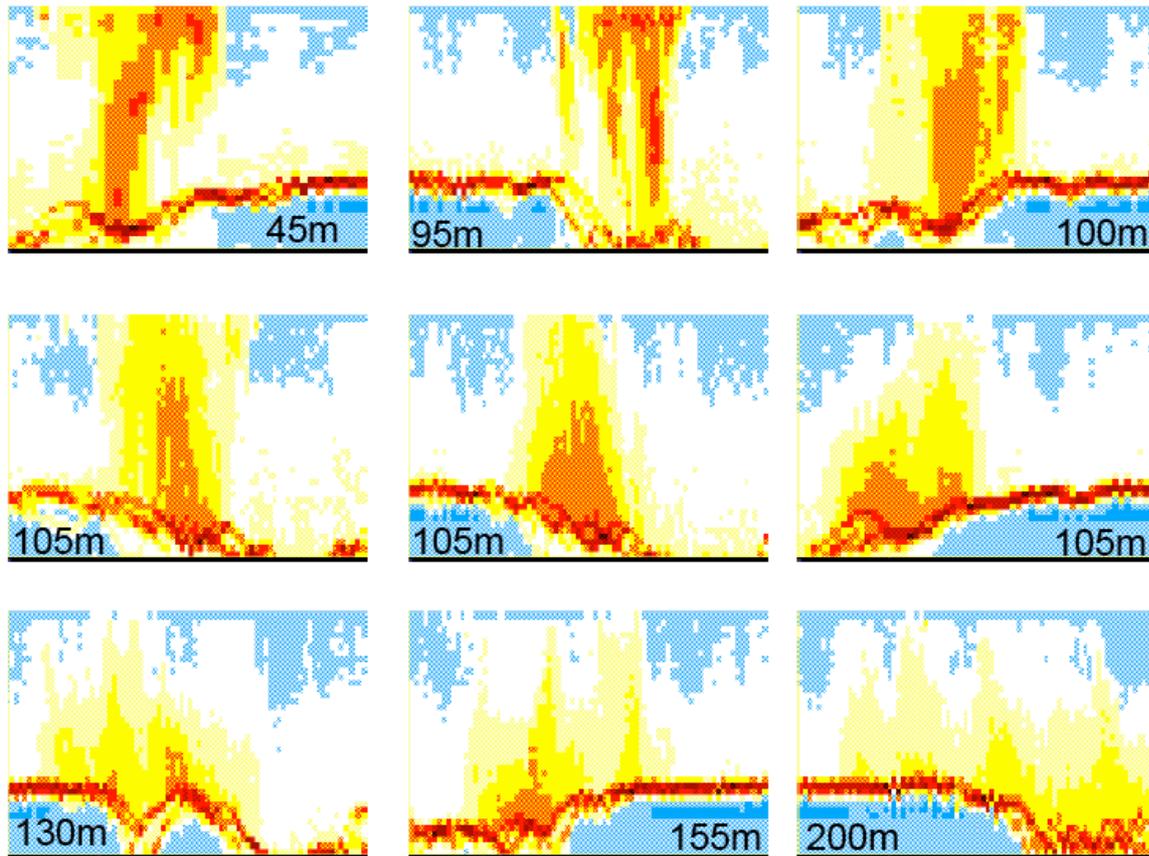


Figure 8 : Profils verticaux acoustiques doppler (ADCP large bande) montrant la concentration en sédiments le long de transects à différentes distances d'une drague travaillant au point fixe et n'utilisant pas la méthode du criblage (*screening*). Les fortes concentrations sont en rouge. (Hitchcock, 2002)

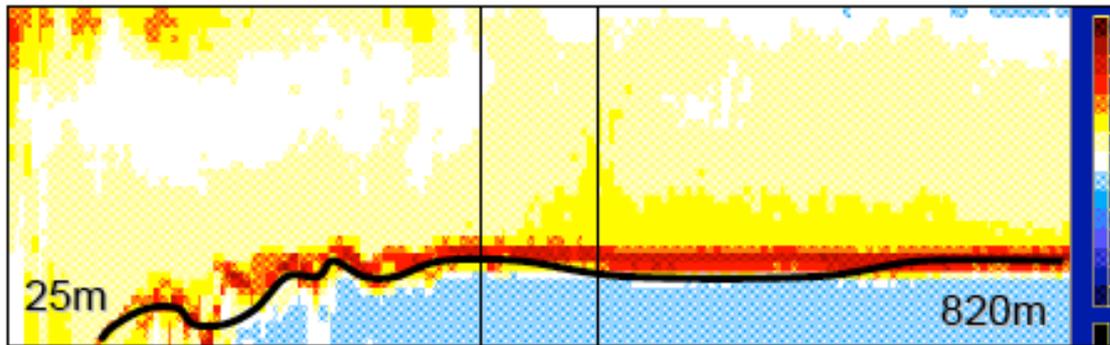


Figure 9 : Profil ADCP en aval d'une zone d'extraction en Manche montrant la persistance d'un panache près du fond (mais généré en surface) à une distance de 800 m du site d'exploitation (Hitchcock et al., 2002)

L'existence d'une thermocline estivale dans la zone ESPEXS, à une profondeur de l'ordre de 50 m, a été mentionnée dans le rapport de phase 1. Il a été démontré, dans le Golfe du Lion et ailleurs, que cette thermocline pouvait jouer un rôle dans la formation d'un "néphéloïde intermédiaire" présentant des concentrations plus élevées en particules fines (Aloisi et al., 1982). Il est probable qu'elle agisse de la même manière dans le cas d'un apport artificiel de sédiments fins en surface, et contribue à leur dispersion.

Re-dépôt des sédiments issus des panaches

Les sédiments rejetés par surverse ont vocation à être redéposés sur les fonds marins. Si la fraction sableuse de ces rejets se dépose à proximité de la zone d'extraction, nous avons vu que les sédiments fins du panache de surface, voire des néphéloïdes intermédiaire et de fond, pouvaient être entraînés sur de grande distance (plusieurs kilomètres). Dans le contexte très différent de la Manche orientale (influence dominante des courants de marée, faible profondeur d'eau,...), Duclos (2012) a cartographié les dépôts ainsi resédimentés. Pour ce qui concerne la fraction fine, elle a été détectée jusqu'à plus de 5 km de la zone d'extraction. Les caractéristiques volumétriques des dépôts de surverse étudiés par cet auteur sont précisées dans le tableau 4.

Pour la zone ESPEXS, les modèles de circulation moyenne sur un an suggèrent un entrainement des panaches au sein d'une gyre anti-cyclonique centrée sur le canyon de Lacaze-Duthiers (Figure 10). Les courants moyens annuels de surface dans la zone ESPEXS semblent relativement faibles et dirigés vers le sud. Ce type de résultat doit cependant être considéré avec prudence car il ne restitue pas la forte variabilité de la circulation dans la zone, qui ne pourra être appréhendée que par des simulations prenant en compte les différents situations météo-océaniques. En effet, c'est au cours des évènements météorologiques extrêmes (tempêtes de sud-est) que les courants de surface sont les plus importants et principalement dirigés vers le sud-ouest de la zone (Ulses et al., 2008).

Tableau 4 : Bilan annuel des volumes dragués et des volumes rejetés par surverse (avec l'épaisseur des dépôts ainsi induits) pour deux zones de la Manche orientale (Duclos, 2012). Ces valeurs sont données à titre indicatif, et correspondent à un contexte hydrodynamique et sédimentaire différent de celui de la zone ESPEXS

Années	Zone A				Zone B			
	Volume dragué (m3)	Volume surverse (m3)	Epaisseur des dépôts (mm)		Volume dragué (m3)	Volume surverse (m3)	Epaisseur des dépôts (mm)	
			Sable (dont fine)	Fine			Sable (dont fine)	Fine
2007-08	99607	6432	0.64 (0.12)	0.12				
2008-09	93341	2999	0.30 (0.06)	0.06	158818	6960	0.70 (0.13)	0.13
2009-10					279129	15210	1.60 (0.29)	0.29
2010-11					322925	10129	0.77 (0.14)	0.14

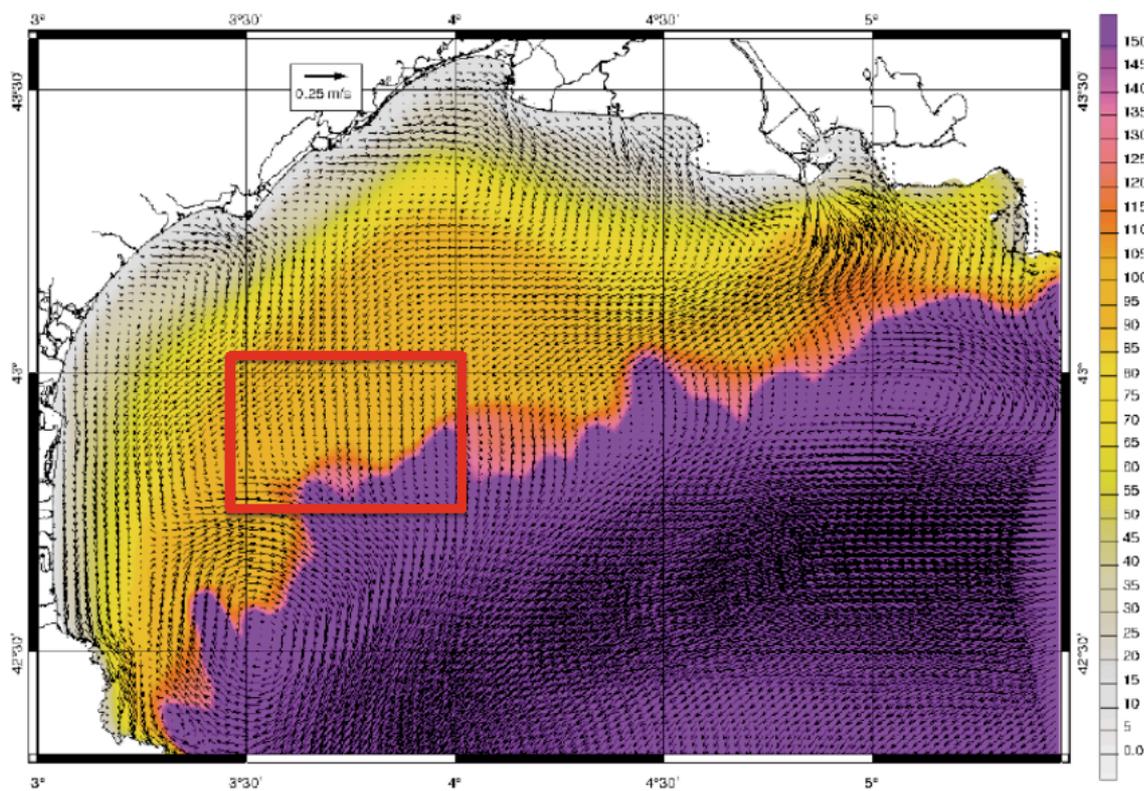


Figure 10 : Moyenne annuelle des courants de surface pour l'année 2010. Test aimablement réalisé par C. Estournel (Laboratoire d'Aérodologie de Toulouse, modèle Symphonie).

Dans le contexte météo-océanique de la zone ESPEXS, les panaches de surface se déplaceront préférentiellement vers l'ouest, avec une grande variabilité en lien avec le régime des vents. Les modèles numériques en trois dimensions disponibles sur la zone (SYMPHONIE, (Estournel et al., 2003); MARS 3D, (Lazure and Dumas, 2007)) devraient permettre d'établir des *scenarii* de propagation de ces panaches, en surface et dans la colonne d'eau, en fonction des conditions de l'environnement. Ces modèles pourraient sans doute également être utilisés pour prédire les zones affectées par la ré-sédimentation; ils devraient être validés par des mesures *in situ* des courants, propriétés physiques et chimiques de la colonne d'eau, comme décrit précédemment.

L'existence saisonnière d'une thermocline pourrait favoriser le déplacement des particules fines sur de longues distances, voire des phénomènes de concentration locale en sédiments fins. Une attention particulière devra également être apportée à l'effet des rejets en surface en période de "bloom planctonique" (printemps et automne) dont l'importance sur la chaîne trophique a été signalée pour la zone ESPEXS dans le rapport de phase 1. Le suivi aérien des panaches turbides est une pratique courante et relativement peu coûteuse lorsqu'on peut valoriser l'imagerie satellitaire (périodes sans nuages). Des mesures *in situ* dans la colonne d'eau sont un complément indispensable pour quantifier la nature de ces panaches; ils peuvent s'appuyer sur des campagnes à la mer (mesures directes et/ou indirectes des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau par bouteilles Niskin, profils de courant et intensité des matières en suspension à partir de profileurs acoustiques doppler, mesures de la taille des particules en suspension par granulométrie laser dans la colonne d'eau, etc...) mais aussi sur la mise en oeuvre d'engins autonomes de type « planeurs sous-marins ». Ces instruments appelés communément "*gliders*" équipés de capteurs physiques et optiques permettraient de suivre les propriétés des masses d'eau en continu dans la zone ESPEXS même en période de tempête où les navires ne peuvent s'aventurer, et suivre ainsi la dispersion des panaches turbides. La mesure directe, à bord, de la nature des rejets de surverse est également intéressante, et permet de quantifier les volumes sédimentaires rejetés, et la nature de ces rejets. L'impact des matières particulaires et dissoutes (nutriments) injectées en surface par ces rejets n'a jamais été étudié, à notre connaissance. Cet impact sera très différent selon la saison durant laquelle les dragages seront effectués, et la quantité de nutriments naturellement disponibles dans la colonne d'eau. En période d'été où la teneur en nutriments est faible dans la zone ESPEXS, les apports fournis par la resuspension seraient susceptibles de contribuer à une augmentation de la production biologique, alors que cela aurait peu d'impact en période hivernale lorsque la colonne d'eau est déjà enrichie en nutriments. Dans l'état des connaissances actuelles, la contamination par remise en suspension d'éléments ou composés toxiques contenus dans les sédiments ne semble pas être un enjeu important, compte tenu de la faible contamination de ceux-ci.

2.2.2- Formation de panaches turbides près du fond

En dehors de considérations générales évoquant la création d'un panache turbide près du fond par le passage des dragues, et mentionnant ses effets potentiels, nous n'avons pas trouvé dans la littérature d'évaluation quantitative de ce phénomène. Par contre, l'impact des chaluts de fond dans le Golfe du Lion a été étudié dans le cadre du projet européen Interpol (Durrieu de Madron et al., 2005). Ces auteurs ont mesuré les paramètres physiques et chimiques de la colonne d'eau après le passage de différents types de chaluts, dans trois zones d'étude dont la plus profonde, située par 90 m de profondeur, est éloignée d'environ dix milles (au Nord) de la zone ESPEXS. Ces auteurs montrent que les chaluts de fond induisent une augmentation importante de la quantité de matière en suspension dans les premiers mètres au dessus du fond (Figure 11). Si un à deux tiers des sédiments sont redéposés dans un délai d'une heure, environ un dixième demeure en suspension et alimente le néphéloïde de fond. Ces suspensions sont susceptibles d'être entraînées par le courant, dont la vitesse et direction moyenne sur un an (près du fond) sont représentées dans la figure 12. De la même manière, une quantité importante de nutriments contenus dans les sédiments et l'eau interstitielle est remise en suspension, en particulier des nitrates et nitrites. Le chalutage contribue également à la remise en suspension d'une quantité importante de matière particulaire (carbone organique) qui peut être en partie recyclée dans la chaîne trophique.

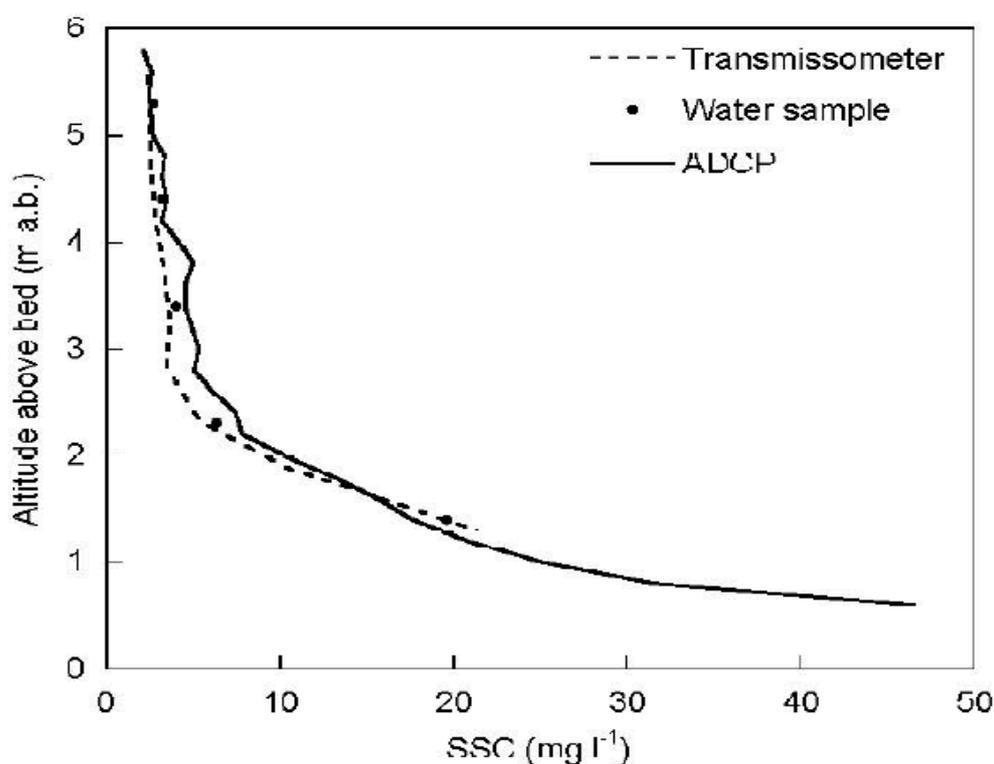


Figure 11 : Concentration de sédiment en suspension au dessus du fond après chalutage à 90m de profondeur au nord de la zone ESPEXS (Durrieu de Madron *et al.*, 2005)

En condition hivernale, les eaux étant déjà enrichies, il n'est pas constaté de changement significatif après chalutage. En revanche, en été, le Golfe du Lion étant pauvre en nutriments (surtout dans le domaine côtier), la remise en suspension sera susceptible de favoriser la production biologique (Durrieu de Madron *et al.*, 2005). Notons enfin que, bien que le chalutage représente une pression récurrente sur les sédiments du Golfe du Lion, il n'affecte que la partie supérieure du sédiment (jusqu'à 10 cm), contrairement au dragage de granulats.

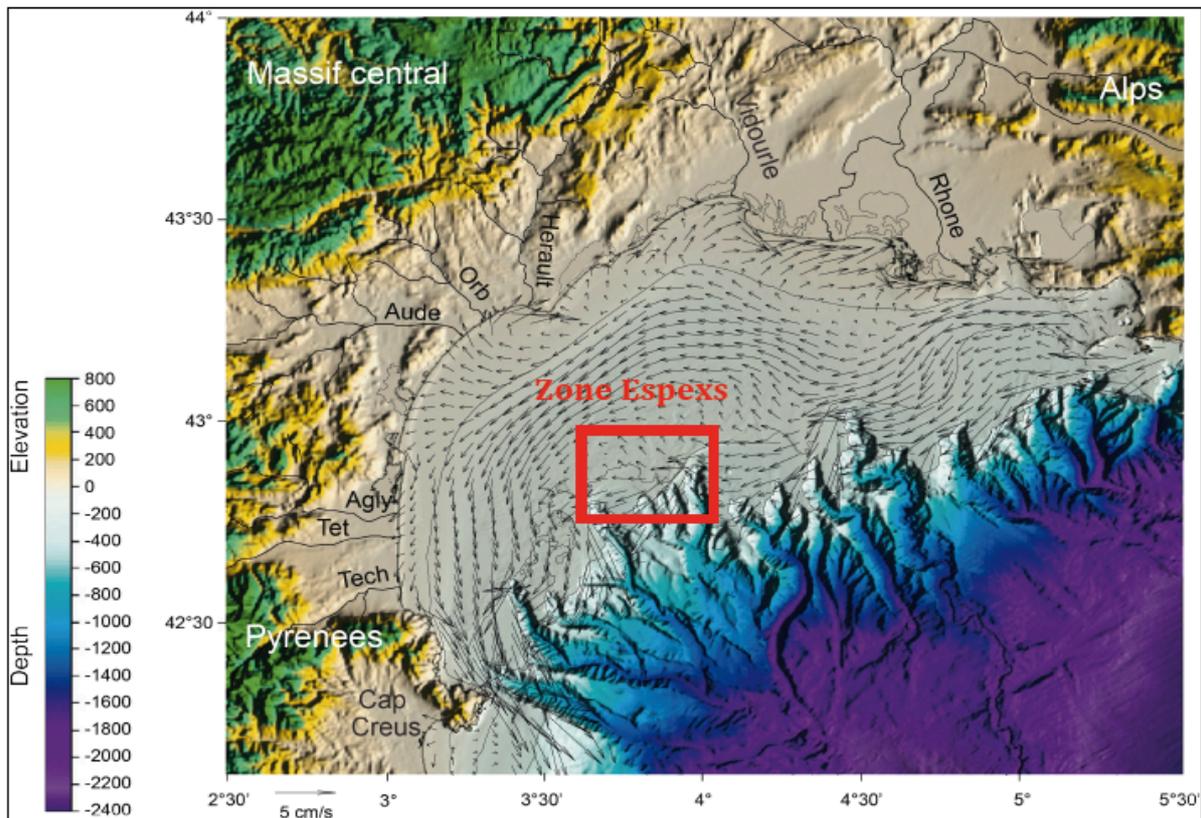


Figure 12 : Moyenne annuelle des vitesses et directions de courant près du fond dans la zone ESPEXS pour l'année 2004 (Durrieu de Madron *et al.*, 2008).

Il est difficile d'évaluer l'enjeu représenté par l'impact du panache de fond qui serait généré par une drague exploitant les sables de la zone ESPEXS car nous ne pouvons nous appuyer sur aucune étude quantitative. Si une stratégie d'étude de ce panache devait être envisagée, on pourrait s'appuyer sur la méthodologie développée à l'occasion du programme "Interpol". Comme pour les panaches de surface, on pourrait également s'appuyer sur les modèles numériques existant (ou les améliorer) pour réaliser des *scenarii* de propagation des panaches en fonction de différentes situations météo-océaniques.

2-3 – Impacts sur le milieu biologique

De nombreuses études ont inventorié les différentes perturbations générées par l'exploitation de granulats sur le milieu vivant, soit directement (par exemple prélèvement de la faune benthique, perturbation des mammifères marins), soit indirectement (par exemple étouffement d'organismes à mobilité réduites). Nous les examinerons successivement, pour les domaines pélagique et benthique.

• 2.3.1- Compartiment pélagique

Il existe très peu d'études directes consacrées à l'impact des dragages de sédiment sur le domaine pélagique dans le domaine superficiel (*surface et premiers mètres de la colonne d'eau*). La plupart des travaux évoquant le sujet (*i.e.* Nicoletti et al., 2006; Desprez, 2000; ICES, 2009) sont en fait basés sur des opinions ou des déductions et non sur un travail expérimental ou des mesures *in situ*, particulièrement difficiles et coûteuses à mener. Tous les auteurs s'accordent cependant à relever que l'impact principal du dragage dans ce compartiment concerne l'effet de la turbidité générée en surface par le panache de surverse/déverse. L'effet de ce panache concerne principalement le phytoplancton, par modification de la pénétration des ondes lumineuses et donc atténuation de la photosynthèse. A notre connaissance, aucune étude récente ne quantifie ce phénomène.

En dehors des poissons et des mammifères marins (qui seront évoqués plus loin), le compartiment pélagique comprend principalement le plancton, c'est à dire l'ensemble des organismes ou agrégats vivants incapables de se déplacer indépendamment du courant (par opposition au necton qui se déplace de manière autonome). On distingue classiquement deux types de planctons:

Le phytoplancton est constitué par des algues et des bactéries qui utilisent des pigments spécifiques pour la photosynthèse. Il est à la base de la chaîne trophique et contribue fortement à la fixation du dioxyde de carbone. Il sera affecté à la fois par la modification de transmission de la lumière (diminution de la photo-synthèse) et par la modification des propriétés chimiques de l'eau de mer (nutriments mais aussi contaminants éventuels).

Le zooplancton regroupe des animaux de petite taille et des stades larvaires de crustacés et vertébrés. Il sera affecté principalement par la modification des propriétés chimiques de l'eau de mer et la modification de la nature et quantité du phytoplancton (*cf supra*).

En l'absence d'étude de référence dans ce domaine, il est difficile de proposer des comparaisons. Rappelons simplement que la zone ESPEXS est une zone de relative forte productivité à l'occasion de "blooms" au printemps et, dans une moindre mesure, en automne (Rapport de phase 1).

Il importera d'évaluer l'impact de l'altération de la qualité des eaux sur la productivité du phytoplancton, ainsi que le risque de dispersion et de blooms de kystes de phytoplancton toxique, en complément des analyses physico-chimiques évoquées au paragraphe 2.2.1. Il a été également mentionné que, en période estivale, la stratification de la colonne d'eau induisait la mise en place de deux éco-systèmes différents, au dessus et en dessous de la thermocline. Dans l'hypothèse où l'extraction serait effectuée en été, il importerait donc de prendre en compte ce phénomène, et donc d'analyser l'ensemble de la colonne d'eau.

2.3.2- Compartiment benthique

En l'absence de végétaux aux profondeurs de la zone ESPEXS, on s'intéressera uniquement au zoo-benthos, qui regroupe les invertébrés vivant à la surface ou dans les premiers décimètres de sédiment. On distingue habituellement le benthos de substrat meuble (fonds vaseux, sableux ou graveleux) et le benthos de substrat dur (fonds rocheux, récifs, etc...). En fonction de la taille des organismes, on distingue souvent également le macro- (> 1mm), méio- (<1mm et >0,063mm) et micro- (<0,063mm) benthos. Les impacts directs de l'extraction affecteront la zone d'extraction, alors que sa périphérie sera affectée indirectement par les re-sédimentations en provenance des panaches turbides.

Nous considérerons successivement les substrats meubles et les substrats durs.

2.3.2.1- Les substrats meubles

Les impacts sur les substrats meubles seront à la fois directs et indirects. *Sur la zone d'extraction*, les dragages entraînent le prélèvement (et la destruction) partiel ou total de la communauté benthique de façon immédiate, et une modification du milieu *a posteriori*. *A proximité de la zone de dragage*, le dépôt de sédiments fins peut contribuer à l'étouffement ou à la modification des habitats³. Les perturbations s'exercent sur les populations avoisinantes par l'altération du substratum (granulométrie, instabilité du sédiment) et l'envasement du sédiment suite au re-dépôt des particules en suspension dans la colonne d'eau (Diaz et al., 2008). Les sédiments en suspension étoufferont les organismes filtreurs, alors que l'altération des caractéristiques du substratum engendrera une modification de la microfaune benthique, importante source de nourriture pour de nombreux organismes benthiques (Nicoletti, 2006).

³ Notons que l'impact sur la photosynthèse, souvent cité en particulier pour les études en Méditerranée en lien avec les herbiers de Posidonies, n'a pas lieu d'être pris en compte pour la zone Espexs en raison de la grande profondeur d'eau. Il devra éventuellement être considéré par contre dans la zone de rechargement

Après exploitation, la restauration du benthos se fait globalement en 3 phases :

- Phase 1 : recolonisation par les espèces opportunistes.
- Phase 2 : phase de transition, lorsque les espèces initiales ou non opportunistes recolonisent le milieu.
- Phase 3 : phase d'équilibre. La richesse spécifique, l'abondance et la biomasse sont restaurés.

La récupération biologique est l'établissement d'une communauté virtuellement non distinguable de son environnement ou des sites de référence non impactés, déterminés en utilisant des méthodes d'analyses statistiques prenant en compte les aspects structuraux de la communauté et, d'autre part, ses aspects fonctionnels (Cooper et al., 2008). Classiquement, on distingue les effets à court et à long terme de l'impact.

L'impact de l'extraction peut être évalué **à court terme** (de l'ordre d'un an) à partir de l'analyse de la perte en biomasse, en nombre d'espèces rencontrées et par le nombre d'individus. Cette perte peut varier, selon les sites ayant fait l'objet d'une étude, de 20 à plus de 85% ((Newell et al., 1998), tableau 5).

Tableau 5 : Influence à court terme du dragage sur les communautés benthiques, d'après les paramètres de biomasse, nombre d'individus et nombre d'espèces (modifié de Newell et al., 1998). Il est à noter que ces auteurs ne précisent pas l'intervalle de temps séparant la fin du dragage et la période de mesure de son impact.

Location	Type of Habitat	% reduction after dredging			Bibliography
		Species	Individuals	Biomass	
Goose Creek, Long Island, NY, USA	<i>Shallow lagoon mud</i>	26	79	63-79	Kaplan <i>et al.</i> , 1975
Klaver Bank, Dutch Sector, North Sea	<i>Sands-gravels</i>	30	72	82	Van Moorsel, 1994
Lowerstoft, Norfolk, UK	<i>Sands-gravels</i>	30	72	82	Newell and Seiderer, 1997a
Tampa Bay, Florida, USA	<i>Oyster shell</i>	40	65	90	Connor and Simon, 1979
Dieppe, France	<i>Sands-gravels</i>	50-70	70-80	80-90	Desprez, 1992
Moreton Bay, Queensland, Australia	<i>Sands</i>	51	46	-	Poiner and Kennedy, 1984
Hong Kong, Japan	<i>Sands</i>	60	60	-	Morton, 1996
Lowerstoft, Norfolk, UK	<i>Gravels</i>	62	94	90	Kenny and Rees, 1994
Chesapeake Bay, USA	<i>Coastal embayment muds-sands</i>	70	71	65	Pfitzenmeyer, 1970

Les effets **à long terme** (plusieurs années à dizaine d'années) de l'extraction de granulats (et de la restauration du milieu après la fin de l'exploitation de ceux-ci) ont fait l'objet de peu d'études, d'ailleurs en partie contradictoires du fait de la spécificité de chaque zone étudiée (Boyd et al., 2004; Desprez, 2000; Newell et al., 2004). Ils ont été conceptualisés sous différentes formes, qui reprennent plus ou moins l'approche de (Pearson and Rosenberg, 1978) (Figure 13).

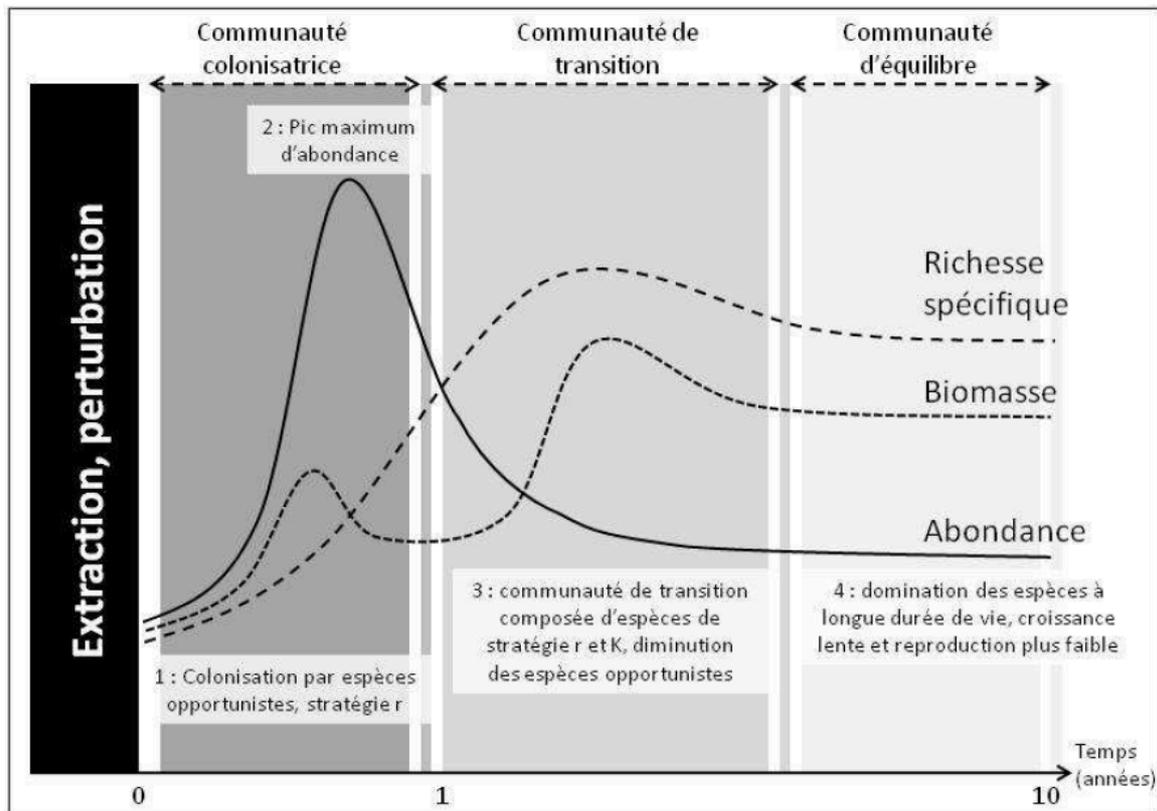


Figure 13 : Modèle conceptuel de l'évolution d'une communauté benthique après perturbation (Pearson et Rosenberg, 1978, in Quemmerais-Amice et al., 2011). Stratégie r : dans un environnement instable aux ressources imprévisibles, stratégie de développement des populations misant sur une forte fécondité, un grand nombre de jeunes, une croissance rapide mais présentant un taux de mortalité important ; Stratégie K : dans un environnement stable aux ressources prévisibles, stratégie de développement misant sur la survie des jeunes avec une fécondité plus faible, une croissance lente, des durées de vie plus longue.

Plus précisément, Newell et al. (2004), proposent 3 étapes de recolonisation après avoir étudié un site exploité au large des côtes sud de l'Angleterre (Figure 14). Précisons qu'il s'agit d'un site constitué de sédiments grossiers et soumis à un hydrodynamisme fort (courants de marée). Tout d'abord il y aura recouvrement de la diversité des espèces (environ 3 mois) puis un rétablissement de la densité de population (environ 6 mois) et enfin récupération de la biomasse (plusieurs années).

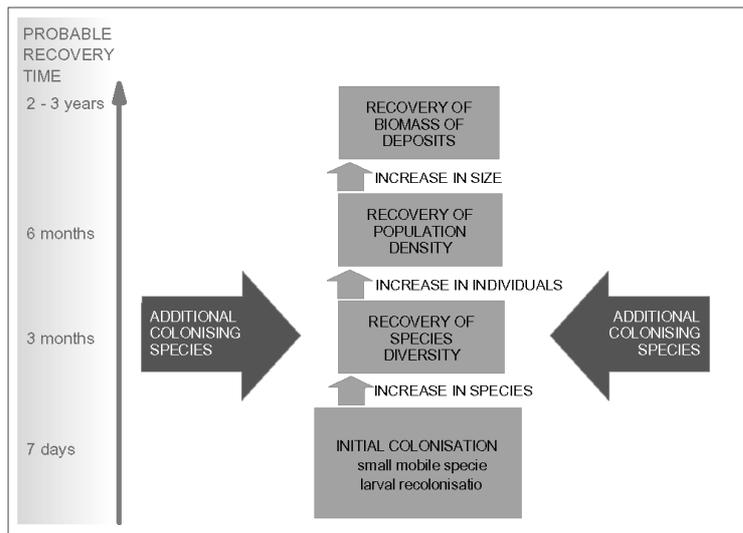


Figure 14 : Etapes de recolonisation des communautés benthiques avec une estimation du temps (Newell *et al.*, 2004)

Sur deux autres sites d'extraction de composition et d'hydrodynamisme similaires Cooper *et al.* (2007) ont comparé la rapidité de recouvrement des écosystèmes benthiques. Le site à faible intensité d'exploitation montre un rétablissement en moins de 12 mois alors que le site plus exploité peut mettre jusqu'à 7 ans pour retrouver un écosystème similaire à la situation initiale et stable. Dans les deux cas, après chaque perturbation, Cooper *et al.* (2007) ont constaté l'augmentation quasi immédiate des indices de biodiversité (ex : nombre d'espèces, abondance, biomasse) puis une oscillation de ces indices jusqu'à la stabilisation de l'écosystème. Il peut se produire un changement dans la composition des communautés. Certaines espèces vont profiter d'une situation de perturbation pour se développer (espèces opportunistes) car les conditions y seront plus favorables. Tout comme Cooper *et al.* (2007), Augris et Cressard (1984) voient une stabilisation de l'écosystème exploité après de multiples fluctuations des communautés. L'impact sur les espèces pélagiques est également notable. Un certain nombre d'indices d'évaluation des écosystèmes a été recensé par Cooper *et al.* (2008) (Tableau 6) et peut servir de guide à une étude d'impact. D'après ces auteurs, qui ont comparé 5 de ces indices à une zone d'extraction du Royaume Uni, les résultats obtenus indiquent des temps de recouvrement de l'écosystème sensiblement différents (Tableau 7).

Tableau 6 : Récapitulatif des différents indices d'évaluation d'écosystèmes marins (Cooper *et al.*, 2008).

Index	Name	Application Area	Objective	Reference
AZTI	The AZTI Marine Biotic Index	Europe	Response to disturbance	Borja <i>et al.</i> (2000)
BHQ	Benthic Habitat Quality	International	Response to disturbance	Nilsson and Rosenberg (1997)
BRI	Benthic Response Index	California Shelf	Objective index	Smith <i>et al.</i> (2001)
BTA	Biological Trait Analysis	Europe	Ecosystem functioning index	Bremner <i>et al.</i> (2003, 2006)
ITI	Infaunal Trophic Index	California	Response to organic enrichment	Maurer <i>et al.</i> (1999)
IQI	Infaunal Quality Index	Europe	Describe biological status	Borja <i>et al.</i> (2007)
MMI	Macrofauna Monitoring Index	New Zealand	Response to dredge material	Roberts <i>et al.</i> (1998)
Ps	Somatic Production	International		Brey, 2001; Cusson and Bourget, 2005
Rao's Q	Quadratic Entropy Coefficient	International	Ecosystem functioning index	Ricotta (2005) Botta-Dukat (2005)
Sensitivity	Sensitivity assessment	North Sea	Management plans	Hiddink <i>et al.</i> (2007)
SES	Sustainable Ecological Succession	Canada	Biodiversity recovery	Ellis (2003)
TD	Taxonomic Distinctness	Europe	Taxonomic index	Warwick and Clarke (1995)

Tableau 7 : Temps de rétablissement d'un écosystème selon les différents indices pris en compte (Cooper *et al.*, 2008) et en fonction de l'intensité de l'exploitation.

Index	Analysis Technique	Year of Recovery (Number of Years After Dredging)	
		Low Intensity Site	High Intensity Site*
Infaunal Trophic Index (ITI)	Univariate	≤2001 (≤5)	≤2001 (≤5)
Trophic Group Analysis (TGA)	Multivariate	≤2001 (≤5)	>2001 (>5)
Somatic Production (P _S)	Univariate	≤2001 (≤5)	≤2001 (≤5)
Taxonomic Distinctness (TD)	Uni/Multivariate	≤2001 (≤5)	≤2001 (≤5)
Rao's Quadratic Entropy (Q)	Uni/Multivariate	≤2001 (≤5)	>2001 (>5)
Abundance (N)	Univariate	2002 (6)	≤2001 (≤5)
Species Richness (S)	Univariate	2002 (6)	>2001 (>5)
Biological Traits Analysis (BTA)	Multivariate	2002 (6)	>2001 (>5)
Biomass (Ash Free Dry Weight)	Univariate	2003 (7)	≤2001 (≤5)
Multivariate N & S	Multivariate	2003 (7)	>2001 (>5)
Somatic Production (P _S)	Multivariate	2003 (7)	>2001 (>5)

Les analyses multivariées, permettant d'évaluer l'évolution des communautés benthiques sur la base des abondances spécifiques, apparaissent comme les plus pertinentes. En effet, elles traduisent mieux l'information initialement présente dans le jeu de données faunistiques que les méthodes univariées, mais elles sont plus difficiles à transposer en terme d'état écologique (*sensus* directive cadre européenne).

Importance du changement de lithologie dans le contrôle des temps de récupération biologique

Dans tous les cas, il a été montré que la modification du substrat sédimentaire (par changement de nature des sédiments portés à l'affleurement) jouait un rôle important dans le temps de récupération biologique (Figure 15). Pour cette raison, il est généralement proposé d'adopter des stratégies d'exploitation qui permettent le maintien, ou la reconstitution naturelle sous l'effet de l'hydrodynamique, des substrats présents avant

l'exploitation. Les environnements où le degré d'énergie est relativement faible et qui présentent des fonds grossiers avec une épifaune encroûtante abondante sont, selon plusieurs auteurs, particulièrement sensibles aux changements de la nature du substrat (Boyd et al., 2003; Desprez, 2000). Dans ces contextes où la restauration naturelle est difficile, des expériences de reconstitution artificielle de l'interface eau/sédiment originelle (par largage de graviers à partir d'une drague: *gravel seeding* ou "ré-ensemencement") ont été menées (Cooper et al., 2011). L'analyse statistique des faunes de la zone ainsi réensemencée et d'une zone témoin indique des taux de récupération biologique nettement améliorés (*ibid.*).

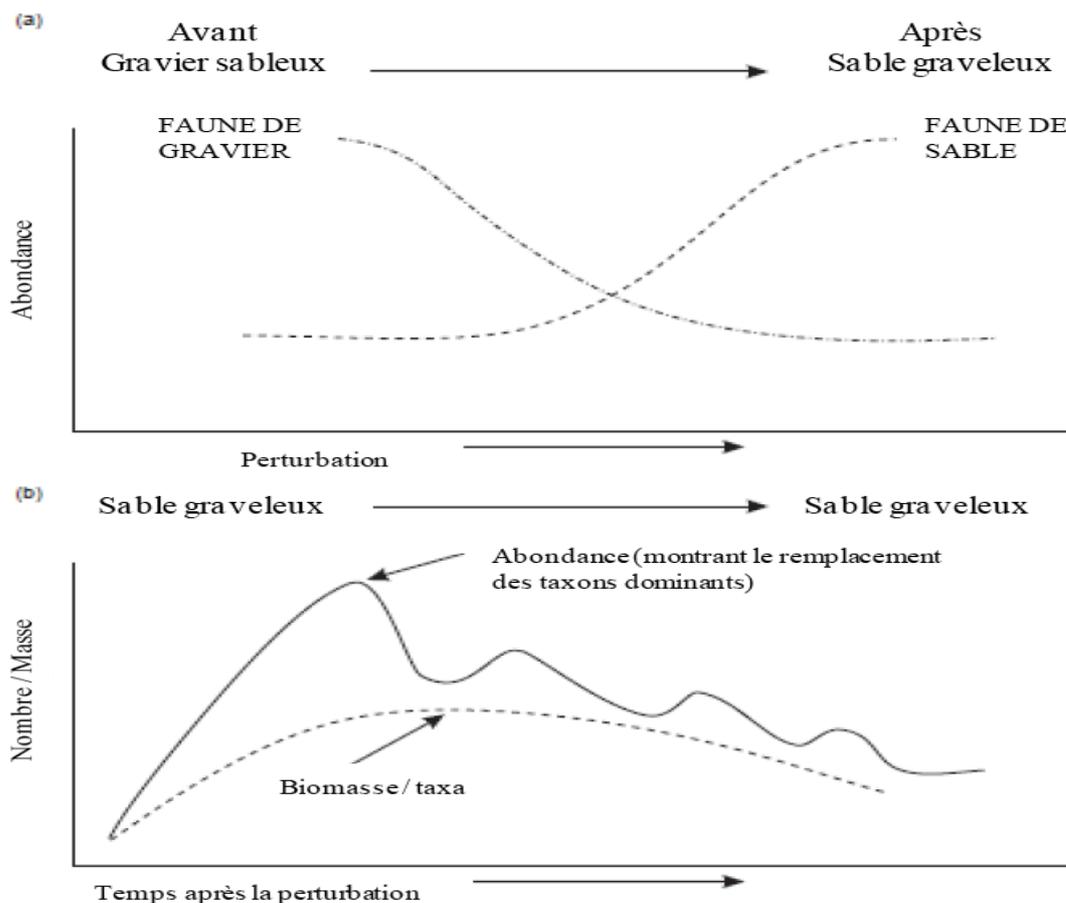


Figure 15 : Modèle empirique d'évolution de la faune benthique (a) à l'occasion d'un changement de la nature de substrat suite à l'extraction de granulats et (b) après la fin de l'exploitation des granulats dans le cas où la lithologie n'a pas été modifiée. Boyd et al., 2004 in Lozach, 2011.

Il faut insister ici sur la notion de spécificité de chaque site, qui rend impossible l'extrapolation des informations obtenues en un site de dragage. C'est d'autant plus vrai dans notre cas que la plupart des études portant sur l'évaluation du *temps de récupération biologique* **T_{bio}** ont été menées en Manche ou en Mer du Nord, où les conditions sédimentaires, océaniques et biologiques diffèrent fortement de celles de la zone ESPEXS. On peut néanmoins citer la synthèse récente de Foden et al. (2009) qui montre que ces temps de récupération varient en fonction des habitats (*marine landscapes*) considérés. Le passage en revue des études disponibles dans la littérature indique que **T_{bio}** peut

ainsi varier de moins d'un an dans des sables fins estuariens soumis à des courants de marée puissants, à plus de dix ans pour des sables grossiers et graviers soumis à des courants modérés (tableau 3 de ces auteurs). Il est intéressant de noter que les mêmes auteurs indiquent que l'impact de l'extraction de granulats serait du même ordre de grandeur que celui des chalutiers; bien sur, les zones affectées à la fois par une exploitation de granulats et par le chalutage de fond feraient l'objet d'un effet cumulatif sur la faune benthique (*ibid.*). Dans un contexte plus similaire à celui de la zone ESPEXS, Simoni et al. (2007) ont étudié l'impact sur le macro-zoobenthos pendant et après l'exploitation de sables reliques en Adriatique (profondeur d'eau d'environ 40m). Selon ces auteurs, la destruction de la faune benthique était importante, en particulier à deux des 4 stations ayant fait l'objet d'un suivi temporel. Après 30 mois, ces auteurs notent une recolonisation satisfaisante des sites d'études, par installation de larves ou migration d'adultes. Cette bonne récupération est attribuée au fait que la nature sédimentaire n'aurait pas changé, les tempêtes hivernales nivelant les fonds marins et empêchant l'accumulation de sédiments fins dans les dépressions.

Le benthos de substrat meuble est un bon indicateur de la qualité de l'environnement, les individus vivant à la limite entre le sédiment et l'eau étant influencés à la fois par la qualité des sédiments et de l'eau de mer. Dans la zone ESPEXS ou à proximité, les substrats meubles sont très dominants, et la faune benthique (à l'exception du micro-benthos, qui est inconnu) est décrite directement à partir d'un seul prélèvement. Nous avons signalé dans le rapport de phase 1 de substrats durs au niveau des "Pierres de Sète" ainsi que sur d'autres sables de plage cimentés au niveau du canyon Bourcart (en dehors de la zone ESPEXS) qu'il est probable que d'autres substrats durs existent dans la zone, mais ne soient pas identifiés à ce jour.

En définitive, toutes les études consultées indiquent que la récupération biologique est meilleure si la nature sédimentaire n'est pas modifiée par l'extraction (directement ou indirectement). Toutes choses égales par ailleurs, les sables grossiers soumis à des courants faibles présenteraient les temps de récupération les plus longs. La notion de spécificité de chaque site, et au sein des sites de chaque habitat, est importante et devra être prise en compte dans la zone ESPEXS. C'est en effet la combinaison des facteurs physiques, sédimentologiques et l'intensité et la stratégie d'exploitation qui contrôleraient le temps de récupération biologique. Des sites de référence, faisant l'objet d'études de la récupération biologique à long terme, existent en Manche, en Mer du Nord (études britanniques et françaises) et en Adriatique (études italiennes). Ils devraient guider la stratégie de suivi de la zone ESPEXS dans l'hypothèse où une exploitation serait décidée. On notera que nous disposons à ce stade d'un seul échantillon décrivant le macro-benthos de substrat meuble dans la zone ESPEXS, et d'aucun pour ce qui concerne la micro- et la méio-faune.

2.3.2.2- Les substrats durs

Il existe très peu d'études dans la littérature concernant l'impact du prélèvement de granulats sur les faunes (ou flores) de substrats durs situés à proximité des sites exploités. Par définition, ces impacts sont indirects et concernent principalement le dépôt de particules fines remises en suspension près du fond par le dragage et/ou rejetées depuis la surface par la drague aspiratrice.

Les impacts indirects d'une exploitation de granulats sur les communautés benthiques de substrats durs situés dans ou à proximité de la zone ESPEXS dépendront (1) de la quantité de sédiments fins redéposés, donc (2) de la distance de la zone d'exploitation à la zone de substrat dur, et (3) de la direction des courants et de la teneur en fines des panaches turbides. A ce stade, ces différents paramètres sont inconnus ou méconnus.

Ces communautés pourront être affectées soit par modification même de leur habitat (due à une sédimentation), soit par enfouissement des organismes, soit enfin par une modification de l'alimentation et/ou de la respiration, en particulier dans le cas des organismes filtreurs.

Les éléments concernant l'impact sur le substrat dur présentés ici sont basés sur les observations effectuées lors des 3 plongées (ROV et sous-marin) réalisées dans le cadre du programme MEDSEACAN, déjà largement présentées dans le rapport de phase 1, et qui sont simplement résumées ici.

Ces plongées ont mis en évidence des enjeux biologiques forts sur deux zones de substrats durs, l'une située dans la zone ESPEXS et qui était déjà connue (les "Pierres de Sète"), l'autre située à proximité de la zone, qui a été découverte à l'occasion de cette campagne (Figure 16) et présente une richesse biologique exceptionnelle.

A la lumière des connaissances acquises dans le cadre de la mission MEDSEACAN, la plongée sur substrats durs « tête de canyon de Bourcart » située à 350 m de profondeur apparaît comme une des rares plongées sur substrats durs autour de la zone APE2. La richesse biologique de ce secteur et la relative rareté (d'après les plongées MEDSEACAN) des zones de substrat dur dans cette tranche bathymétrique renforcent l'enjeu biologique de ce site.

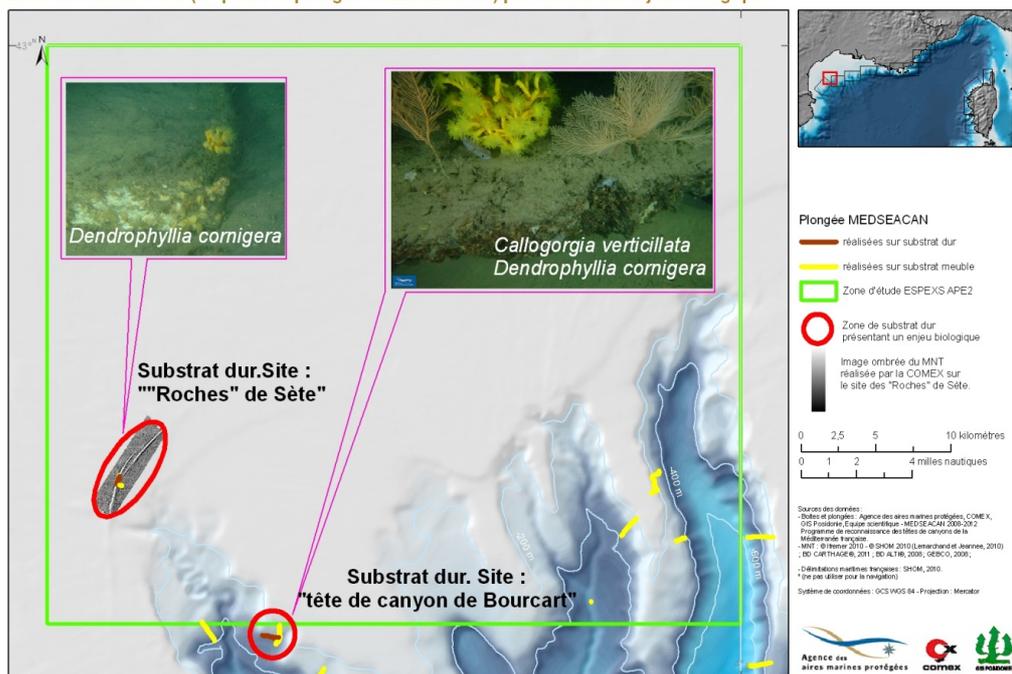


Figure 16 : Localisation des plongées MEDSEACAN et identification de deux zones de substrats durs présentant un enjeu biologique.

Le site « **tête du canyon de Bourcart** » localisé à 700 mètres de distance au sud de la limite de la zone APE2 (Plongée B1_BO_R2K_P01_20090615) « regorge de vie » (Fourt com. pers., 2012) (Figure 17). Ce site est particulièrement riche en anthozoaires (coraux) avec plusieurs espèces appartenant à l'ordre des Scleratinia (coraux durs, ex. :*Desmophyllum dianthus*), à l'ordre des Antipatharia (coraux noirs, ex. :*Leiopathes glaberrima*), ainsi que d'autres espèces d'anthozoaires comme *Callogorgia verticillata* (grandes gorgones) et *Madrepora oculata* (corail en zigzag).

Les crevettes, langoustes et céphalopodes sont également très présents sur ce site.

La présence de nombreux restes de palangres atteste que ce site est très fréquenté par les pêcheurs, ce qui confirme l'intérêt biologique de ce secteur jusqu'alors inconnu des scientifiques et constaté par simple vidéo.



Figure 17 : Photographie réalisée le 19/06/2009 à 353 m de profondeur (longitude : 3.722312 ; Latitude : 42.744129) dans le cadre du programme MEDSEACAN (Espèces identifiées : 1- *Dendrophyllia cornigera* (Espèce CITES annexe 2); 2-*Callogorgia verticillata*; et 3-un poisson de la famille des gadidae)

Répartition et intérêt à l'échelle de la Méditerranée française de quelques-unes des espèces observées sur le site « Tête du canyon de Bourcart »

Desmophyllum dianthus



Figure 18. Photo de *Desmophyllum dianthus* observée à 473 m de profondeur sur le site « tête de canyon de Bourcart »

Desmophyllum dianthus (Figure 18) est protégée au titre de la convention CITES (annexe 2) ainsi que toutes les autres espèces appartenant à cet ordre des Scleratinia. Cette espèce est rarement rencontrée dans la campagne MEDSEACAN cependant elle est présente sur ce site (elle n'a été observé que sur 5 des 43 canyons méditerranéens français

prospectés avec le même effort d'observation lors des campagnes MEDSEACAN/CORSEACAN).

Il s'agit d'un corail dur solitaire, la taille et la forme de chaque individu sont très variables, communément 6 à 8 cm de hauteur (Zibrowius, 1980 ; Tursi et al., 2004). Sa petite taille le rend donc vulnérable à des éventuelles sédimentations. Cette espèce sessile est souvent observée en épibionte⁴ sur *Madrepora oculata* ou *Lophelia pertusa*, voire des antipathaires et autres anthozoaires, mais colonise également des substrats rocheux ou bioconstruits (Tursi et al., 2004). La répartition géographique de cette espèce est très large en Méditerranée et sur l'ensemble de la planète (Hoeksema, 2012). Elle a été observée entre 8 et 2 460 m (Hoeksema, 2012).

***Madrepora oculata* :**



Figure 19. Photo de *Madrepora oculata* sur le site du canyon de Lacaze Duthiers à 257 m.

Madrepora oculata (Figure 19) est protégée au titre de la convention CITES (annexe 2). Cette espèce a été observée sur ce site alors qu'elle ne l'a été que sur seulement 10 des 43 canyons explorés dans le cadre des campagnes MEDSEACAN/CORSEACAN. Le canyon le plus proche à l'ouest de ce site où cette espèce a été observée est le canyon de Lacaze Duthier et à l'est le canyon de Couronne. Ces colonies peuvent atteindre 40 cm de haut (Riedl, 2010) et former d'imposants massifs. *Madrepora oculata* peut être observée sur les fonds rocheux accidentés dans des zones de courant (zone de *cascading*). Des massifs de coraux encore vivants, ont été observés sur des fonds vaseux mais vraisemblablement pas fixés (MED). Les signalisations relativement nombreuses à partir des dragages, s'étalent du détroit de Gibraltar à la Grèce (Zibrowius, 2003; Freiwald, 2009). Cette espèce a été rencontrée durant la campagne MEDSEACAN à partir de 196 m dans le canyon de Cassidaigne, et jusqu'à 535 m, mais elle a été observée par ailleurs jusqu'à 1000 m (Riedl, 2010). D'après la campagne MEDSEACAN, les principaux sites de concen-

⁴ Fixation d'un organisme sur un autre

tration de *Madrepora oculata* sur la façade française sont les canyons de Lacaze-Duthiers et de Cassidaigne. Avec *Lophelia pertusa*, elle forme des massifs dits de coraux blancs ou coraux profonds.

Leiopathes glaberrima

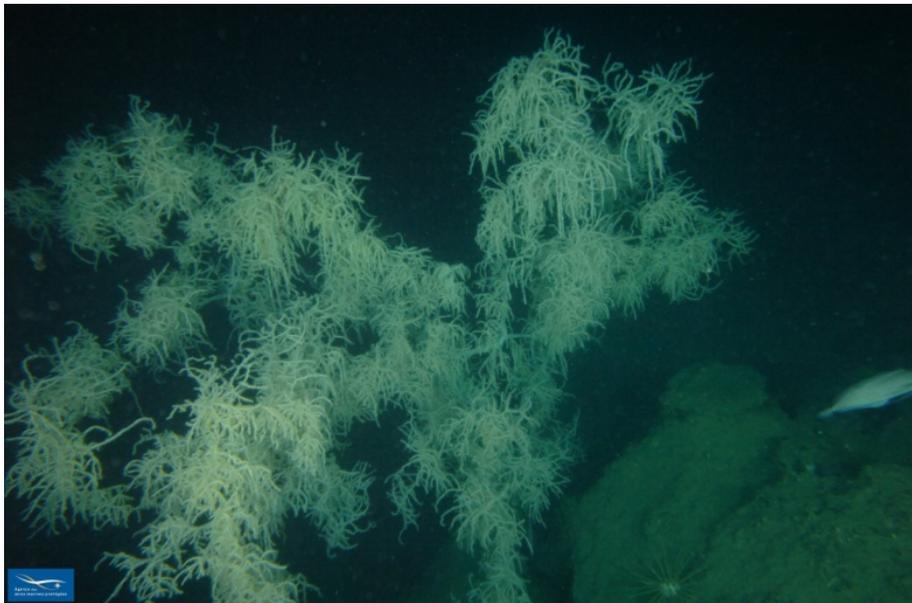


Figure 20 : Photo de *Leiopathes glaberrima* à 354 m sur le site « tête de Canyon de Bourcart

Cette espèce est protégée au titre de la convention CITES (annexe 2) ainsi que toutes les autres espèces appartenant à cet ordre des Antipatharia. Elle a été observée sur ce site (Figure 20) alors qu'elle ne l'est que sur seulement 12 des 43 canyons explorés dans le cadre des campagnes MEDSEACAN/CORSEACAN. Le canyon le plus proche de ce site où cette espèce a été observée dans le cadre de la campagne MESDEACAN est le canyon du Planier (vers Marseille). Sur ce site, elle présente des colonies de très grandes tailles. Cette espèce est un organisme filtreur sessile, elle est donc sensible de par son mode d'alimentation à la teneur des matières en suspension. Les colonies observées dans le cadre de la campagne MEDSEACAN pouvaient mesurer de l'ordre de 1 m de hauteur. Cette espèce a été observée en Méditerranée jusqu'à 790 m (Mastrototaro et al., 2010). La profondeur minimale d'observation est de 199 m dans le cadre de la campagne MEDSEACAN (sur le canyon de la Cassidaigne). Elle est observée exclusivement sur des substrats durs (MED). La rareté des substrats durs, jusqu'alors recensés, dans et aux alentours de la zone APE2, et son observation sur seulement 12 des 43 canyons prospectés donne à cette espèce un caractère exceptionnel dans la zone APE2. Elle est souvent associée aux coraux profonds *Madrepora oculata* et *Lophelia pertusa* (Tursi et al., 2004).

A partir des plongées MEDSEACAN, deux zones de substrats durs présentant une richesse biologique importante ont été identifiées dans la zone ESPEXS ou à proximité immédiate. Un complément d'investigation permettrait de confirmer s'il en existe d'autres et une exploration plus détaillée permettrait d'apprécier leur richesse biologique. Sur les deux zones de substrats durs identifiées jusqu'alors, la richesse biologique est importante, surtout sur le site « tête de Canyon de Bourcart ». Les plongées MEDSEACAN effectuées sur les têtes de Canyon de Méditerranée française ne révèlent que très peu de ces substrats durs ce qui leur confère un intérêt exceptionnel, puisqu'ils apparaissent à la fois rares et offrant une richesse biologique importante. Ces zones présentent des espèces protégées (CITES annexe 2, Barcelone annexe 3, voir rapport de phase 1) et rares à l'échelle des têtes de canyon de Méditerranée (d'après les plongées MEDSEACAN). Ces deux sites (« Roches de Sètes », « Tête de Bourcart») présentent donc un enjeu majeur, du point de vue du benthos de substrat dur.

2.3.3- Avifaune

Peu d'études sont disponibles sur cet aspect de l'impact de l'extraction de granulats. La plus complète nous semble être celle du *British Trust of Ornithology* (un pays où l'extraction annuelle de granulats marins varie de 15 à 20 millions de tonnes) (Cook and Burton, 2010). Selon ces auteurs, l'impact principal du dragage est lié aux panaches turbides, qui perturbent l'activité de pêche (*foraging*) de certaines espèces et vont contribuer à leur déplacement.

Pour chaque espèce des îles britanniques, ces auteurs ont établi un indice de vulnérabilité, qui est le résultat de l'association de l'exposition à un facteur impactant et de la sensibilité de l'espèce à ce facteur. Il en résulte une hiérarchisation de la vulnérabilité des différentes espèces (Tableau 8), qui peut être éventuellement cartographiée.

Tableau 8 : Exemples de vulnérabilité de certaines espèces d'oiseaux marins des îles britanniques à différentes perturbations liées au dragage des granulats marins (Thomsen et al., 2009). Le jaune pâle correspond à une vulnérabilité très faible, le rouge foncé à une vulnérabilité très forte.

	Direct						Indirect			
	Disturbance		Turbidity		Shipping		Deposition of Re-suspended Sediment		Impact on Benthos and Fish Communities	
	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
Elder Duck	3	3	4	3	4	3	4	5	3	2
Long-tailed Duck	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Common Scoter*	3	5	4	3	4	5	4	5	3	4
Velvet Scoter	3	5	3	3	3	5	3	5	3	4
Red-throated Diver*	5	4	5	3	5	4	5	3	5	3
Manx Shearwater	4	2	4	1	4	2	4	1	4	1
European Storm Petrel	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1
Northern Gannet	3	2	3	3	3	2	3	1	3	1
Great Cormorant (breeding)	2	4	2	3	4	4	2	3	2	2
Great Cormorant (Winter)	2	4	4	3	4	4	4	3	2	2
European Shag	2	4	2	3	2	4	2	3	2	3
Slavonian Grebe	4	3	4	3	4	3	4	3	4	1
Black-headed Gull	1	2	4	1	4	2	4	1	1	2
Mediterranean Gull	5	2	5	1	5	2	5	1	5	1
Lesser Black-backed Gull	3	2	5	1	5	2	5	1	3	1

Pour ce qui concerne la zone ESPEXS, rappelons que, dans le cadre du projet de réseau européen Natura 2000 en mer, les trois espèces de Puffins présentes dans le Golfe du Lion, ainsi que le Fou de Bassan, font l'objet, sur le plateau externe et les têtes de canyon du Golfe du Lion (y compris la zone ESPEXS), d'une directive Habitats (FR 9112036). Un programme dédié au puffin cendré a été initié en 2011 (<http://www.cefe.cnrs.fr/actualites-esp/programme-puffins>), dans le cadre du programme plus général PACOMM, déjà mentionné (AAMP, 2012).

Dans le cas de zone ESPEXS, il conviendrait tout d'abord d'acquérir une meilleure connaissance des espèces fréquentant la zone, ce qui permettrait dans un deuxième temps de mieux "cibler" les espèces les plus menacées et d'établir, à la manière des études britanniques, un indice de vulnérabilité des différentes espèces, en particulier celles faisant l'objet d'une directive « Habitats ». L'acquisition de ces connaissances pourrait être menée en lien avec le programme PACOMM. Cependant, des données ont été acquises dans les canyons adjacents (Lacaze-Duthiers) et peuvent servir de base pour les travaux futurs.

2.3.4- Mammifères marins

Le principal effet direct d'une extraction sur les mammifères marins est lié à la "pollution sonore" produite par les dragues. Selon une étude conduite en Grande-Bretagne à partir de la mesure du niveau de bruit de certaines dragues (entre 179 et 287 db 1 mP à 1m), Thompsen et al. (2009) ont évalué à plusieurs kilomètres la distance à laquelle le bruit des dragues serait perçu par les mammifères marins (Figure 21). On notera que de nombreuses espèces de poissons ont des audiogrammes qui les rendent également sensibles aux bruits émis par les dragues. Notons enfin que la propagation du son sera d'autant meilleure que la profondeur d'eau sera élevée.

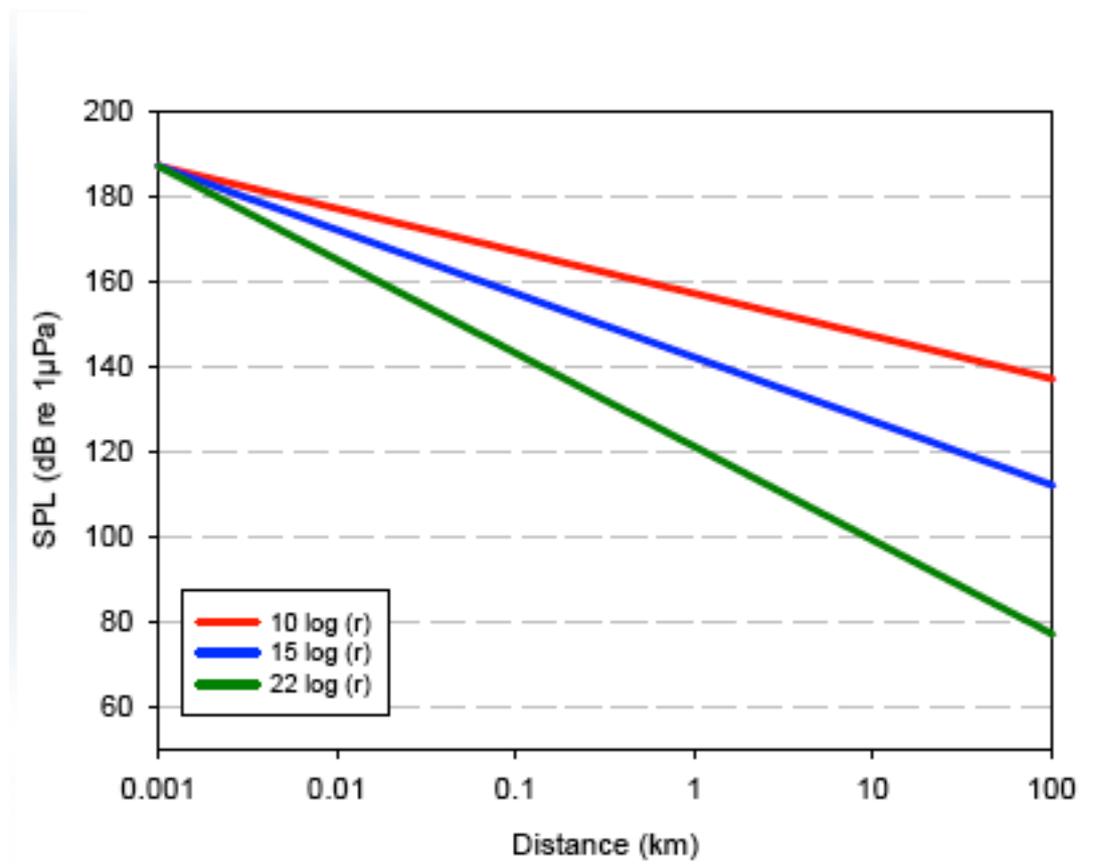


Figure 21 : Atténuation d'un signal émis par une drague en fonction de la distance à la source, en utilisant différentes formules pour l'atténuation du son. Le niveau sonore est encore supérieur à 120 db re 1mPa (nettement supérieur au bruit ambiant) entre 1 et 10 km (Thomsen et al., 2009).

Comme nous l'avons noté dans le rapport de phase 1, les eaux françaises de Méditerranée, et plus particulièrement la Zone de Protection Écologique (ZPE), abritent 7 espèces de cétacés permanentes, que sont le rorqual commun (Gannier, 1999), le grand dauphin, le dauphin bleu et blanc (Gannier, 1998), le dauphin de Risso, le globicéphale noir, le cachalot macrocéphale et assez rarement la baleine à bec de Cuvier (Martinez et al., 2011). Deux espèces sont considérées comme occasionnelles : le petit rorqual et le dauphin commun, et une espèce qualifiée d'erratique, la baleine à bosse (Martinez et al., 2011). Dans le cadre du projet de réseau euro-

péen Natura 2000 en mer, le Grand Dauphin fait l'objet, dans la partie occidentale du Golfe du Lion (y compris la zone ESPEXS), d'une directive Habitats (FR 9102011).

Pour ce qui concerne la zone ESPEXS, il serait intéressant, dans l'hypothèse d'une extraction, de connaître la signature acoustique de la drague qui sera employée, et de la comparer aux audiogrammes des mammifères marins qui fréquentent la zone, en particulier ceux faisant l'objet d'une directive Habitats. En l'absence de données spécifiques sur la zone ESPEXS, l'acquisition de connaissances sur les mammifères marins fréquentant la zone pourrait être menée en lien avec le programme PACOMM, mais aussi le programme international LIDO d'écoute de l'environnement marin coordonné par l'université technique de Barcelone.

(<http://listentothedeep.com/acoustics/index2.php?web=presentation&lang=en>).

III. Synthèse des enjeux principaux sur la zone ESPEXS et recommandations

Toutes les études s'accordent à souligner qu'il est difficile de formuler des règles générales sur l'impact de l'exploitation des granulats marins en raison du nombre de paramètres concernés et de leurs interactions. Cette complexité est illustrée par le schéma établi par Egis-eau (2010) dans son guide d'évaluation de l'impact de l'exploitation des granulats dans des zones Natura 2000 (Tableau A1 en annexe). Néanmoins, et pour simplifier, on peut considérer que la **modification des habitats** et la **génération de panaches turbides** sont les deux effets nuisibles principaux de l'exploitation des granulats, en général dans le monde, et potentiellement dans la zone ESPEXS. Ci-dessous sont identifiés les aspects qui nous paraissent les plus importants à prendre en considération dans l'hypothèse d'une exploitation de granulats dans la zone ESPEXS.

3.1- Caractériser le gisement

Aussi bien du point de vue de la valorisation des granulats (en termes de rechargement de plages) de la zone ESPEXS que de l'impact de l'exploitation sur l'environnement, il apparaît primordial de caractériser le gisement qui sera exploité. En effet, la zone sableuse potentiellement intéressante du point de vue de l'exploitation de granulats présente différentes unités sédimentaires juxtaposées et superposées dont les caractéristiques lithologiques (granularité de la fraction sableuse, teneur en fines) sont différentes. Ces caractéristiques conditionneront non seulement la qualité du matériel prélevé (du point de vue du rechargement des plages) mais aussi la teneur en éléments fins susceptibles d'être remis en suspension, près du fond et en surface. L'établissement d'un état zéro basé sur une cartographie morpho-sédimentaire en trois dimensions de la zone

exploitée et des alentours, suivi de levés séquentiels pendant et après l'exploitation, sont donc recommandés. Il conviendrait de déterminer si la zone sélectionnée pour l'instant est celle qui répond le mieux aux critères sédimentologiques du rechargement et aux critères environnementaux (sables de granularité adaptée, fraction silto-argileuse faible ou absente pour minimiser les panaches turbides).

3.2- Déterminer les conditions du transport sédimentaire par charriage

Toutes les études de la restauration écologique des zones ayant fait l'objet d'une exploitation de granulats marins indiquent que le recouvrement biologique est plus rapide dans les zones où la dynamique sédimentaire est suffisante pour permettre, grâce au transport sableux par charriage, le nivellement des excavations et la restauration naturelle des habitats. Cette dynamique sédimentaire empêche également la formation de conditions anoxiques dans les dépressions formées par l'exploitation. Il faut noter qu'aucune étude ne concerne des environnements aussi profonds (et sans courants de marée) que ceux de la zone ESPEXS. Celle-ci est constituée de sables qui sont considérés comme reliques, et donc *a priori* moins propices à une restauration naturelle. Cependant, des cartes récentes et des modèles numériques indiquent la présence de dunes, qui seraient susceptibles de se déplacer lors des fortes tempêtes de secteur Est-Sud-Est. **La question de savoir si les dunes sous-marines mises en évidence sur la zone sont actives** est donc importante au plan écologique. Dans l'affirmative, il serait utile de déterminer leur vitesse de migration, qui conditionnera le flux sédimentaire près du fond et la capacité de recouvrement naturel des habitats. Des levés séquentiels, accompagnés de mesures hydrodynamiques et de l'utilisation de modèles hydrodynamiques et morphosédimentaires, permettraient de caractériser et quantifier ce phénomène.

3.3- Caractériser la nature et le comportement des panaches turbides

L'évolution des panaches turbides de surface et de fond constitue un enjeu important, reconnu dans toutes les études, et qui peut avoir une influence bien au delà de la zone d'exploitation. Il s'avère donc important de pouvoir prédire leurs comportements, et, dans l'hypothèse d'une exploitation, de quantifier sa nature et son impact sur les domaines pélagique et benthique. Les stratégies employées en Grande-Bretagne et en France pour l'étude des panaches de surface pourraient être appliquées à la zone ESPEXS; pour ce qui concerne les panaches de fond, qui n'ont pas fait l'objet d'étude spécifique à notre connaissance, il importerait tout d'abord de savoir s'ils sont significatifs, et dans l'affirmative, d'envisager une stratégie d'étude similaire à celle employée pour l'étude de l'impact du chalutage. L'effet cumulatif des panaches de fond générés par le chalutage et le dragage devrait également être pris en considération. Une attention particulière devrait être portée aux Pierres de Sète et aux substrats durs de la tête du canyon Bourcart, sables de plages grésifiés recouverts d'une faune spécifique et riche, qui

risque d'être située sous l'emprise du nuage turbide lié aux panaches de surface et de fond (voir *infra*).

3.4- Caractériser et suivre l'évolution de la biodiversité associée aux substrats meubles et durs

Il a été mentionné dans le rapport de phase 1 que très peu de données étaient disponibles concernant la faune benthique de la zone ESPEXS.

S'agissant des **substrats meubles**, très majoritaires dans cette zone, une seule station est disponible et ne concerne que le macro-benthos. C'est donc par analogie avec des domaines physiographiques et sédimentaires équivalents (le détritique du large) que l'on peut évaluer la diversité et l'abondance des espèces. Bien que les faunes identifiées sur la base des connaissances très partielles dont nous disposons ne soient ni rares, ni protégées, elles constituent la base de l'alimentation de nombreux poissons, d'autant plus que certaines espèces, comme *Leptometra phalangium* peuvent atteindre des densités élevées (jusqu'à 50 ind.m⁻²). L'impact de leur destruction directe ou indirecte devrait être évalué. Des études détaillées et à long terme ont été réalisées en Grande-Bretagne, en France et en Italie sur les impacts directs et indirects de l'exploitation. Elles peuvent servir de modèle pour l'établissement d'une procédure de suivi de la bio-diversité (état zéro, suivi temporel durant la période d'exploitation et la période de restauration), mais aussi pour orienter la stratégie d'exploitation.

La richesse biologique des **substrats durs** a été mentionnée et devrait faire l'objet d'une attention particulière. D'une part, tous les substrats durs n'ont pas été identifiés dans la zone ESPEXS, voire en dehors dans les zones potentiellement influencées par l'activité d'exploitation, qui nécessiteraient également d'être cartographiées. D'autre part, les inventaires sont basés sur trois plongées (sous-marin ou ROV) qui ne couvrent qu'une très faible part de la zone concernée. Des investigations supplémentaires devraient être envisagées afin de caractériser la biodiversité associée à ces zones de substrats durs. Sur les Pierres de Sète (et encore plus dans le canyon Bourcart, à la périphérie de la zone ESPEXS), plusieurs espèces observées font l'objet d'un statut de réglementation ou de protection. Ces statuts étant établis au niveau des espèces, et les images vidéo acquises par le sous-marin ou le ROV ne permettant pas toujours d'identifier les organismes au niveau de l'espèce, il est probable qu'un inventaire plus détaillé avec des prélèvements permettrait d'en identifier et découvrir de nombreuses autres. L'utilisation d'autres technologies (stations d'observations fixes...) permettrait aussi d'identifier les espèces fuyantes qui n'ont pas été reconnues par plongée.

3.5- Choisir une stratégie d'exploitation conciliant les impératifs de qualité du matériau et les enjeux écologiques

Le choix parmi différentes stratégies de prélèvement n'est pas neutre d'un point de vue environnemental, chacune présentant des avantages et des inconvénients. La majorité des auteurs s'accorde à considérer que la pratique de prélèvements au point fixe, sur des zones de faible extension et de forte profondeur, présente plus de conséquences néfastes (voir la synthèse établie par Hitcock et al., 2002 en annexe). Notons néanmoins que l'avantage du dragage en marche est surtout avéré pour les exploitations de taille réduite (Lozach, 2011), ce qui ne sera pas le cas du projet concernant la zone ESPEXS.

Dans le contexte de la zone d'étude ESPEXS où le transport sédimentaire par charriage est probablement limité à quelques événements exceptionnels, on peut considérer *a priori* que la technique de prélèvement en marche selon des sillons allongés peu profonds serait malgré tout moins pénalisante pour l'environnement en minimisant les risques d'anoxie et d'obstacle pour le chalutage. Seule la définition précise du gisement permettra de définir la meilleure stratégie alliant impératifs économiques, techniques et écologiques. Le bénéfice d'une "jachère" entre les zones prélevées fait l'objet d'études en cours sur des durées longues, dont il conviendra de suivre les conclusions.

3.6- Déterminer les périodes de moindre impact écologique d'une exploitation

La "saisonnalité" de l'exploitation tiendra nécessairement compte des conditions météoro-océaniques pour des raisons économiques (et même de qualité du travail de prélèvement), d'autant plus que la zone ESPEXS est soumise à des conditions de mer particulièrement dures en raison de son éloignement de la côte (houles importantes pendant les épisodes de mistral et de tramontane comme de secteur Est-Sud-Est). D'un point de vue écologique, les données dont nous disposons conduisent à des conclusions assez contradictoires. D'une part, on peut considérer que la dispersion sera plus faible en période estivale, lorsque les courants dans toute la colonne d'eau sont les plus faibles. Cependant les eaux méditerranéennes étant stratifiées en période chaude, la surverse de l'exploitation en granulats enrichirait en matière organique et nutriments les couches superficielles de la colonne d'eau (au dessus de la thermocline). Ceci engendrerait un impact essentiellement local sur les communautés biologiques de surface. A l'inverse, une exploitation en hiver n'apporterait pas plus de nutriments en surface car la colonne d'eau est homogène. En revanche, l'hydrodynamisme de la zone étant plus important, le panache de surverse pourrait être transporté sur une zone beaucoup plus étendue par rapport à la zone d'extraction. L'impact des resuspensions serait donc plus large. Les conditions printanières et automnales, caractérisées par des blooms planctoniques, sont également spécifiques. Dans l'état actuel des connaissances, il nous semble impossible de formuler des recommandations sur les meilleures périodes de prélèvement; cet aspect devrait faire l'objet d'études (mesures et modélisations) du comportement de la colonne d'eau et de la chaîne trophique dans la zone d'étude.

3.7- Améliorer les connaissances sur la faune pélagique et les oiseaux marins

En dehors des ressources halieutiques considérées par ailleurs, la colonne d'eau est fréquentée par des mammifères marins et des tortues, dont la connaissance est essentiellement basée sur les échouements ou captures accidentelles. Les oiseaux marins, y compris des espèces faisant l'objet de directives « habitats » fréquentent également la zone. Une amélioration des connaissances des différentes espèces fréquentant la zone est donc recommandée, selon des modalités précises à définir en concertation avec les spécialistes des espèces concernées, qui sont esquissées dans le chapitre suivant.

3.8- Prendre en compte le devenir des sédiments prélevés après leur déchargement sur le littoral

Bien que ce rapport soit cantonné à l'étude de la zone ESPEXS au large, il nous paraît important d'indiquer qu'il faudra prendre également en compte le devenir des sédiments une fois qu'ils seront déchargés par les dragues devant les plages du Languedoc-Roussillon. Comme pour l'extraction au large, on peut distinguer un effet direct, lié au largage de gros volumes sédimentaires contribuant à la destruction par étouffement de la faune benthique, et un effet indirect, en lien principalement avec la génération d'un panache turbide dans la zone de rejet. Concernant ce dernier aspect, et contrairement à ce qui est écrit dans de nombreux documents, le criblage en mer n'est pas interdit en France, mais son autorisation est laissée à l'appréciation des préfets (Augris et Simplet, Comm. Pers.). Dans le contexte des exploitations des côtes atlantique et de la Manche/mer du Nord, où les sables sont généralement naturellement bien triés par les courants de marée, et où le criblage peut être réalisé à terre, le criblage en mer n'est généralement pas autorisé. Dans le scénario prévu pour l'utilisation des sables de la zone ESPEXS, le criblage à terre ne sera pas possible puisque les navires déchargeront directement au large des plages concernées. Une décision importante sera donc de choisir entre un criblage au large, qui augmentera d'autant le panache de surface, et un dépôt "en vrac" dans la zone littorale, le tri granulométrique s'effectuant alors naturellement à l'occasion des épisodes de forte houle, mais créant un panache de surface pouvant éventuellement s'ajouter aux panaches turbides des fleuves lors des épisodes de tempêtes "humides". Ce cumul de la turbidité devra être pris en considération pour son incidence négative sur toutes les espèces photosynthétiques et notamment sur l'herbier de Posidonie. ***Dans les deux cas, il nous paraît essentiel de choisir le gisement qui présenterait les caractéristiques granulométriques s'approchant le plus de celles requises pour le rechargement, et les teneurs en sédiments fins (argiles, silts) les plus faibles possibles (1 ou 2%).***

IV. Recommandations pratiques pour l'établissement d'un "état initial" et des études préliminaires

Sans connaître la position du site d'extraction et la stratégie d'exploitation envisagée, il n'est pas possible de proposer de manière détaillée des travaux pour le suivi d'une exploitation éventuelle de granulats ni de la restauration des milieux après la fin des travaux. Il est par contre possible de proposer des stratégies qui permettraient (a) d'établir un "état initial" sur la zone d'extraction et sa périphérie, (b) de combler certaines lacunes de connaissances mises en évidence dans le cadre de la phase 1 de cette étude, et (c) de mener, en anticipation d'une exploitation, des simulations qui permettraient d'en minimiser l'impact.

Notons que ces études devraient prendre en compte non seulement la zone de prélèvement mais également les secteurs susceptibles d'être affectés par les panaches de matière en suspension. Notons enfin qu'un protocole a été établi par l'Ifremer pour décrire les opérations qui devraient être réalisées, *a minima*, pour l'établissement d'un état de référence initial et les études de suivi d'un site d'exploitation de matériaux marins (Ifremer, 2011). Un protocole a également été établi dans le cadre du projet « Beach-med-ENV1 », définissant, sur la base de l'expérience italienne, une procédure pour les études d'impact en lien avec l'exploitation des granulats marins (Nicoletti et al., 2006). Ces documents pourraient servir de guides pour l'établissement d'un état initial, le suivi de l'exploitation et de la restauration de la zone ESPEXS lorsque les conditions de l'exploitation seront connues.

4.1- Etablissement d'une cartographie en trois dimensions de la zone d'extraction et des zones potentiellement impactées par les panaches turbides

Afin d'améliorer les connaissances relatives à la zone ESPEXS, il conviendrait de :

- déterminer la topographie fine (résolution <0,5m) des fonds marins servant de référence à toutes les études ultérieures (imagerie multi-faisceau),
- caractériser la lithologie des sédiments superficiels (imagerie acoustique multi-faisceau et sonar latéral), y compris dans les zones susceptibles d'être affectées par les rejets turbides au delà de la zone d'exploitation,
- caractériser la couverture sédimentaire fine et de sa mobilité à la suite d'événements exceptionnels (sondeur de sédiment, carottage d'interface type "Multi-tube Insu" ou Ifremer),

- caractériser la géométrie et de la lithologie (y compris teneur en sédiments fins) des différentes unités susceptibles d'être affectées par le prélèvement (*sismique de type "sparker", vibro-carottage⁵ de 5m*),
- déterminer la migration (éventuelle) des dunes transverses (*levés bathymétriques successifs*). Ces résultats permettront d'estimer la capacité de restauration du milieu par comblement des dépressions et restauration d'une lithologie similaire à la lithologie initiale,
- réaliser des mesures près du fond permettant d'évaluer la mobilité de la couche de vase éventuelle et/ou des dépôts sableux sous l'action des événements de haute énergie, (*mouillage d'un tripode « benthique » avec protection contre le chalutage mesurant le courant, les matières en suspension et la micro-topographie*),
- identifier de nouvelles zones de substrats durs (voir paragraphe 4.3) pouvant faire ultérieurement l'objet d'études in situ par **plongées ROV et/ou submersibles** (voir infra).

4.2- Réalisation de scénarii de propagation des panaches turbides

Nous avons vu au chapitre 3 que le comportement des panaches turbides, qui constituent l'effet indirect principal de l'extraction de granulats, était difficile à prédire compte tenu de la diversité des situations météo-océaniques. Il nous paraît important de réaliser, en anticipation d'une extraction (dans l'hypothèse où des rejets auraient lieu en surface) de réaliser des **tests de comportement de ces panaches**, en s'appuyant sur les **modèles hydrodynamiques 3D** disponibles dans le Golfe du Lion. Il importera de distinguer le comportement des panaches en surface, près du fond et dans la colonne d'eau, et de tenir compte des principales situations météo-océaniques qui prévalent dans la zone. Ces tests devraient être complétés, dans le cas d'une exploitation, par des **observations aéro-portées ou satellitaires**, calibrées par des **prélèvements** en surface et dans la colonne d'eau (voir *infra*).

4.3- Caractérisation des propriétés physiques et chimiques de la colonne d'eau

Améliorer les connaissances sur la nature et la variabilité de la matière en suspension (MES) et de la biomasse planctonique dans la colonne d'eau.

⁵ Le carottage à piston de type "Kullenberg", utilisé à plusieurs reprises dans la zone Espexs par les différentes équipes scientifiques, est considéré comme mal adapté à cet objectif, compte tenu de la nature très sableuse des dépôts.

Mesures de la température, salinité, turbidité (proxy de la charge de MES), fluorescence (proxy de la biomasse planctonique), de la taille et de la forme des particules à partir de profils hydrologiques (CTD + capteurs bio-optiques + granulomètres laser + caméra optique) effectués à partir de navires. Ces mesures devraient être complétées par des **prélèvements** (bouteilles « Niskin ») et analyses en laboratoire. Ces mesures permettraient de qualifier et de quantifier de manière précise les assemblages particuliers en suspension dans la colonne d'eau par beau temps.

Mesures satellitaires de couleur de l'eau (turbidité, fluorescence).

Mesure à partir de plateformes autonomes type « Glider » équipées de capteurs bio-optiques et physiques qui permettraient de compléter les mesures lors des périodes de tempête.

Un **Profileur acoustique de courant** installé sur un mouillage « benthique », **associé à des mesures micro-topographiques du fond par altimétrie acoustique** permettraient de caractériser le courant dans toute la colonne d'eau à partir du fond et de mesurer l'intensité des contraintes sur le fond et leur effet sur le transport par charriage.

Des **modélisations numériques** permettraient d'établir des **scenarii de production planctonique** en fonction des différentes conditions météo-océaniques et saisonnières.

4.4- Amélioration des connaissances sur la faune benthique

Substrats meubles :

Détermination de la macrofaune par l'établissement de prélèvements à la benne van Veen (**3 bennes par station**). Ces prélèvements feront l'objet **d'analyses sédimentaires⁶, de teneur en matière organique**, et d'abondance de la faune benthique évaluée par le biais **d'analyse statistique multivariée** de type MDS (MultiDimensional Scaling). En ce qui concerne les sédiments fins (c'est à dire ceux situés en dehors de la zone d'extraction mais sous l'influence des panaches turbides), la mise en œuvre de **profils d'imagerie sédimentaire (SPI)** est recommandée. Cette technique permet de caractériser *in situ* l'état et la qualité des sédiments du sous-sol et de l'interface eau-sédiment ainsi que de mesurer l'activité biologique des organismes. L'imagerie sédimentaire permet également d'évaluer rapidement la qualité écologique des sédiments benthiques cohésifs, y compris à de grandes profondeurs.

L'acquisition de données d'imagerie optique de la surface des fonds marins (par ROV ou submersible), également utile pour l'étude des substrats durs, viendra compléter, dans un domaine plus vaste, les mesures quantitatives ponctuelles réalisées. L'évaluation des **images du profil sédimentaire** est réalisable à ce jour pour les habitats envasés. Elle

⁶ En lien avec le volet « compartiment physique »

permet de caractériser *in situ* l'état et la qualité des sédiments du sous-sol et de l'interface eau-sédiment ainsi que de mesurer l'activité biologique des organismes. L'imagerie sédimentaire permet d'évaluer rapidement la qualité écologique des sédiments benthiques cohésifs, y compris à de grandes profondeurs. En ce qui concerne les grandes profondeurs où l'échantillonnage de la macrofaune benthique est techniquement difficile, le SPI semble être l'alternative idéale pour évaluer la qualité de ces habitats. Dans les habitats où les profils sédimentaires ne sont pas réalisables, il serait intéressant de développer de nouvelles techniques d'imagerie permettant d'obtenir des informations de même ordre.

Substrats durs :

*Pour appréhender la biodiversité des zones de substrats durs et leurs étendues géographiques il conviendra, tout d'abord, de **cartographier l'ensemble des zones de substrats durs** au sein de la zone ESPEXS mais également dans les secteurs susceptibles d'être affectés par les panaches de matière en suspension. Cet aspect rejoint les recommandations du paragraphe 4.1.

*Une fois l'ensemble de ces zones de substrats durs identifiées, une stratégie d'inventaire pourra être mise en place, en fonction des moyens alloués, pour **identifier la faune présente et apprécier sa répartition géographique**. La nature même des substrats durs rend tous les prélèvements par benne ou chalut impossible ou très destructeur de la faune fixée et du substrat lui-même. Une **prospection en ROV** couplée à des prélèvements est recommandée afin de faciliter les identifications. L'utilisation de nasses pouvant être soigneusement positionnées vers les zones de « roches » d'intérêt pourra contribuer à prélever des espèces fuyantes ne pouvant pas être filmées. La pertinence d'une caméra sur point fixe devra être évaluée et, si elle s'avère efficace, mise en œuvre pour tenter d'identifier les espèces fuyantes.

Afin d'optimiser les inventaires et de les rendre reproductibles pour évaluer la variabilité naturelle et celle d'un impact si l'exploitation des granulats est envisagé, il est recommandé que le ROV soit localisé en temps réel afin (i) de le diriger vers les points d'intérêts lors de la phase d'acquisition, (ii) de pouvoir à posteriori localiser les vidéos, photos, prélèvements réalisés à partir du ROV et (3) revenir avec le ROV sur un point d'intérêt. Le ROV devra être équipé d'un système permettant de transmettre la vidéo en temps réel à bord afin de pouvoir orienter son parcours en fonction de l'intérêt des zones explorées. Une vidéo haute définition enregistrant également en continu le parcours visité est recommandée ainsi qu'un appareil photo avec la meilleure résolution possible, ce qui facilitera les identifications. Il est recommandé que le ROV soit muni d'un bras articulé afin d'effectuer des prélèvements de spécimen pour faciliter leur identification lorsque l'imagerie ne suffit pas. La mise en place d'autres engins de prélèvements (aspirateur, épuisette...) pouvant être mis en œuvre avec le bras articulé du ROV augmentera les possibilités de prélèvements. La mise en place d'un système permettant

d'apprécier sur les images vidéo et photo la taille des organismes sera également un facteur important.

*Il est recommandé la mise en place d'un suivi, sur des stations fixes d'observation dans les zones de substrats durs, afin d'**évaluer la variabilité temporelle « naturelle » de la sédimentation**. Ceci contribuera à apprécier la capacité des organismes à supporter d'éventuelles modifications de sédimentation potentiellement induites par l'exploitation des granulats.

4.5- Amélioration des connaissances sur la faune pélagique et les oiseaux marins

Les connaissances sur la faune pélagique (en dehors des ressources halieutiques) dans la zone ESPEXS sont parcellaires, peu homogènes dans le temps et l'espace. Pour ce qui concerne les mammifères marins et les tortues, les connaissances principales sont liées aux échouages et/ou aux captures accidentelles par les pêcheurs. Dans tous les cas, la définition d'une stratégie d'étude devrait passer par une concertation avec les spécialistes des espèces concernées, les recommandations formulées ici étant de caractère très général.

Concernant les mammifères marins, une amélioration des connaissances pourrait s'appuyer sur le programme Pacomm en cours. Dans l'hypothèse de l'installation d'une station de mesures sur le fond, celle-ci pourrait être équipée de capteurs acoustiques permettant d'identifier les mammifères fréquentant la zone, en lien avec le programme international LIDO. Les pratiques utilisées à l'occasion des campagnes de sismique pétrolière pourraient aussi être transposées (embarquement d'observateurs à bord des dragues).

Concernant les oiseaux marins, et en particulier les espèces faisant l'objet de directives habitats (FR 9112036) comme les différentes variétés de puffins et les fous de Bassan, des observations directes et l'établissement d'un indice de vulnérabilité par espèce, à l'instar de ce qui a été réalisé au Royaume Uni.

Concernant les tortues marines, aucune observation directe n'est à notre connaissance, disponible sur la zone. Nous n'avons trouvé aucune étude de référence traitant de l'étude en mer de l'impact du dragage sur les tortues marines (il en existe par contre sur l'impact des rechargements sableux sur les plages). L'observation directe en mer nous paraissant très aléatoire, nous proposons une concertation avec les spécialistes des tortues marines (Centre d'Etudes et de Sauvegarde des Tortue Marines de Méditerranée) afin de définir la stratégie qui leur paraîtrait la mieux adaptée.

En définitive, et sur la base (a) des connaissances disponibles dans la zone ESPEXS et (b) des études menées par ailleurs, les trois principales inconnues que nous identifions ("*known unknowns*") sont :

(1) la teneur en sédiments fins (silts et argiles) qui conditionnera l'importance des panaches turbides , et des dommages environnementaux qui en résulteront,

(2) l'existence ou non dans la zone de prélèvement d'une dynamique sédimentaire par charriage suffisante pour permettre la restauration des habitats après l'exploitation, et prévenant le risque d'anoxie,

(3) la nature, la diversité et la quantité d'espèces benthiques situées dans la zone ESPEXS ou à proximité, qui seront directement (destruction) ou surtout indirectement (enfouissement) « impactées » .

Dans l'état actuel des connaissances de la zone ESPEXS, la remise en suspension d'éléments ou composés toxiques ne semble pas préoccupante, compte tenu du faible degré de contamination de cette zone située au large et composée de sédiments d'âge largement pré-industriel, ce qui ne devraient pas empêcher des analyses afin de vérifier la teneur des éléments présents et les quantités potentiellement relarguées.

V. Synthèse et conclusions

L'étude de l'impact de l'exploitation des granulats marins (y compris pour le rechargement des plages) a fait l'objet de très nombreuses études, notamment en Grande Bretagne, en France (spécialement en Manche) et en Italie. Dans l'hypothèse d'une exploitation de granulats marins dans le Golfe du Lion (qui serait la première exploitation d'envergure en Méditerranée française), il ne s'agit pas de redécouvrir des questions ou problèmes qui ont été identifiés dans d'autres contextes. Nous avons tenté dans ce document de montrer comment nous pourrions bénéficier de l'expérience acquise dans ces pays ou régions, expérience qui nécessite le recul (pluri-annuel) permettant d'évaluer les conditions de la restauration des milieux.

Sur la base des études réalisées dans des environnements différents, et des connaissances disponibles sur la zone ESPEXS, nous pouvons synthétiser, de manière qualitative, les impacts et conséquences principaux possibles d'une exploitation de granulats dans la zone (Tableau 9). Les études qui permettraient de préciser chacun d'entre eux, au moins pour l'établissement d'un état initial (et en abstraction de la stratégie d'exploitation, qui n'est pas connue à ce stade) sont recensées, de manière aussi exhaustive que possible, dans le Tableau 10.

Tableau 9 : Synthèse des principaux impacts et conséquences possibles de l'extraction de granulats dans la zone ESPEXS sur la base des connaissances disponibles (Modifié et adapté à la zone d'étude d'après Duclos, 2012)

	<i>IMPACT</i>	<i>CONSEQUENCES</i>	<i>REMARQUES</i>
<i>Extraction sur le fond</i>	Création de dépressions	Risques d'anoxie	Principalement dans le cas de dragage au point fixe
	Destruction de la faune benthique	Perte de biomasse, invasion d'espèces opportunistes	Impact sur la ressource halieutique
	Modification de la nature des fonds	Modification des habitats, espèces opportunistes	Impact sur la ressource halieutique
	Bruit	Perturbation des mammifères marins	Directive « Habitats » pour le Grand Dauphin (FR 9102011)
<i>Matière en suspension dans la colonne d'eau</i>	Réduction pénétration lumière	Diminution de la productivité primaire ? Diminution de la visibilité	Impact sur la ressource halieutique
	Turbidité de l'eau	Impact visuel Impact sur la biomasse planctonique Perturbation des activités de pêche des oiseaux marins	Important surtout en zone côtière Directive « Habitats » (FR 9112036) concernant les différentes variétés de puffins et les fous de Bassan
	Augmentation des nutriments	Modification de la chaine trophique (très variable selon la saison et les conditions météo-océaniques)	Possibilité de « blooms » toxiques ?
<i>Re-sédimentation des particules fines</i>	Chute de particules	Étouffement des organismes à mobilité réduite (substrats durs et meubles) Blocage des organismes filtreurs	Existence d'espèces protégées à proximité sur les substrats durs
	Changement de la nature des fonds	Modification des habitats	

Tableau 10: Inventaire des principales études recommandées, et des résultats escomptés, pour l'établissement d'un état initial et la préparation du suivi de l'impact de l'extraction et de la restauration post-exploitation d'un site de dragage dans la zone ESPEXS. On notera que certains aspects devraient être précisés avec les spécialistes du domaine concerné.

<i>Type de « livrable »</i>	<i>Utilisation</i>	<i>Outil/méthode</i>	<i>Périmètre</i>
Carte bathymétrique	<ul style="list-style-type: none"> - Document de référence pour toutes les études. - Détermination de la migration naturelle des dunes. - Suivi des modifications liées au prélèvement - Suivi de la restauration 	Sondeur multi-faisceau (bathymétrie et imagerie acoustique)	Zone d'extraction et périphérie immédiate
Carte de retro-diffusion acoustique	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluation qualitative de la lithologie et des habitats benthiques - Suivi de l'évolution et de la restauration - Optimisation du choix des sites de prélèvement et de prises de vues (ROV, submersibles) 	Sonar latéral haute fréquence	Zone d'extraction et périphérie
Paramètres hydrodynamiques près du fond	<ul style="list-style-type: none"> - effet des événements météo-océaniques sur le fond, - mesure des déplacements naturels des figures sédimentaires (dunes,...) 	<ul style="list-style-type: none"> Châssis instrumenté et protégé avec différents capteurs (liste non exhaustive): -courantographie doppler dans la colonne d'eau -turbidimètre (teneur en matière en suspension) -altimétrie (dynamique de la vase) -sonar rotatif (évaluation du charriage) 	Zone d'extraction et périphérie (à proximité d'un site sensible du point de vue des habitats)

Tableau 10 (suite) :

<i>Type de « livrable »</i>	<i>Utilisation</i>	<i>Outil/méthode</i>	<i>Périmètre</i>
Paramètres dans la colonne d'eau	-Caractérisation qualitative et quantitative du plancton et des nutriments	Profils hydrologiques à partir de navires (température, salinité, turbidité, fluorescence, granulométrie laser) Glider (mesures de turbidité », fluorescence) Prélèvements dans la colonne d'eau (bouteilles Niskin) Modélisation de la production planctonique	Zone d'extraction et périphérie
Nature sédimentaire en surface	- Caractérisation de la nature sédimentaire et de la dynamique de la couche de vase en surface -Quantification des volumes de sédiments fins potentiellement rejetés - Caractérisation biogéochimique des sédiments de surface -Teneurs en contaminants	Carottiers d'interface type "Insu" ou "Ifremer"	Zone d'extraction et périphérie
Nature sédimentaire en profondeur	Détermination de la teneur en "fines" du gisement	Vibro-carottier 5m	Zone d'extraction
Faune benthique (substrats meubles)	Caractérisation de la richesse spécifique, de l'abondance et de la biomasse de la faune benthique de substrats meubles. Identification des espèces protégées et des espèces commerciales	Prélèvements à la benne van Veen Mesures SPI dans les sédiments fins Analyse multi-variée de type MDS ROV	Zone d'extraction et périphérie
Faune benthique (substrats durs)	Caractérisation de la richesse spécifique, de l'abondance et de la biomasse de la faune benthique de substrats durs, identification des espèces protégées. Identification des espèces protégées et des espèces commerciales	ROV doté d'une imagerie haute définition + stratégie de prélèvement à définir en concertation avec des spécialistes	Zone périphérique

Tableau 10 (suite) :

Scenarii de propagation des panaches de surface	Détermination des zones impactées par les particules résédimentées	Modélisation hydrodynamique (et couplage avec un modèle sédimentaire)	Zone d'extraction, périphérie et ensemble du Golfe du Lion
Modèles hydro-sédimentaires	Prédiction du transport et dépôt des particules sédimentaires	Modèle sédimentaire	Zone d'extraction et périphérie
Mammifères marins	- Statistiques de fréquentation de la zone - Impact de l'activité de dragage sur les différentes espèces - Etablissement d'un indice de vulnérabilité par espèce	Observations directes Mesures acoustiques ? <i>Stratégie à définir en concertation avec des spécialistes dans ce domaine</i>	Zone d'extraction et périphérie
Oiseaux marins	- Statistiques de fréquentation de la zone - Impact de l'activité de dragage sur les différentes espèces - Établissement d'un indice de vulnérabilité par espèce	Observations directes <i>Stratégie à définir en concertation avec des spécialistes dans ce domaine</i>	Zone d'extraction et périphérie
Tortues marines	- Statistiques de fréquentation de la zone - Impact de l'activité de dragage sur les différentes espèces - Etablissement d'un indice de vulnérabilité par espèce	Observations directes <i>Stratégie à définir en concertation avec des spécialistes dans ce domaine</i>	Zone d'extraction et périphérie

Si la décision est prise d'engager une exploitation des granulats sur le meilleur site accessible dans le Golfe du Lion (qu'il soit ou non situé dans la zone ESPEXS), nous recommandons de préparer l'établissement d'un guide des bonnes pratiques d'exploitation, basé sur les expériences acquises et tenant compte des spécificités très fortes de la zone concernée. Cette recommandation générale a d'ailleurs été formulée par le secrétariat général à la mer (2006), et est en cours de mise en oeuvre sur la façade de la Manche orientale (région de Haute Normandie). À titre indicatif, on trouvera en annexe (tableau A2) une évaluation des différents critères de "bonne pratique", établie dans le cadre d'une étude récente (Lozach, 2011), et qui pourrait être adaptée à la zone ESPEXS. On notera dans ce tableau que toutes les études convergent pour indiquer que la **première recommandation est de choisir la ressource pour éviter le criblage et/ou limiter la surverse** (voir la synthèse bibliographique établie par Lozach, 2011, Tableau A2 en an-

nexe). A ce stade, il n'est pas certain que la zone ESPEXS réponde à cette recommandation.

L'établissement de telles pratiques représente des contraintes pour les exploitants (mise en place d'un comité scientifique, possibilité de réviser les concessions accordées, ...), mais elle présente aussi des avantages économiques et stratégiques si elle suscite une dynamique positive entre les utilisateurs du domaine maritime, les services de l'état et les scientifiques. Bien sûr, pour être vraiment efficaces et crédibles, les études scientifiques doivent demeurer indépendantes des sources de financement qui les alimentent.

Depuis 2003, cette dynamique positive s'est développée en région Haute Normandie, en particulier dans le cadre d'un Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) appelé SIEGMA (suivi des impacts de l'extraction des granulats marins) (Desprez et Lafite, 2012). Ce groupement s'est jusqu'à présent focalisé sur le suivi de l'impact de l'exploitation de deux gisements, situés au large de Dieppe et en Baie de Seine. On pourrait certainement transposer son approche, et bénéficier de son expérience, dans le contexte très différent du Golfe du Lion.

VI. Références

- AAMP, 2012. Programme d'acquisition de connaissances sur les oiseaux et les mammifères marins de France métropolitaine, 2011-2014, Point d'avancement avril 2012. . AAMP, 16 pp.
- Aloisi, J.C. et al., 1982. Origine et rôle du néphéloïde profond dans le transfert des particules au milieu marin. Application au Golfe du Lion. *Oceanologica Acta*, 5: 481-491.
- Augris, C. and Cressard, A., 1984. Les granulats marins. Rapports scientifiques et techniques, 51. CNEXO, Brest, 89 pp.
- Bassetti, M.A. et al., 2008. The 100-ka and rapid sea level changes recorded by prograding shelf sand bodies in the Gulf of Lions (western Mediterranean Sea). *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9(11).
- Bassetti, M.A. et al., 2006. Sand bodies at the shelf edge in the Gulf of Lions (Western Mediterranean): Deglacial history and modern processes. *Marine Geology*, 234: 93-109.
- Boyd, S.E. et al., 2004. Assessment of the re-habilitation of the seabed following marine aggregate dredging., CEFAS Lowestoft.
- Boyd, S.E., Limpenny, D.S., Rees, H.L., Cooper, K.M. and Campbell, S., 2003. Preliminary observations of the effects of dredging intensity on the re-colonisation of dredged sediments off the southeast coast of England (Area 222). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(1-2): 209-223.
- Cataliotti, D. and Daniel, B., 2013. ESPEXS: réunion de travail "scenarios d'extraction"- 14 janvier 2013. 3.
- Cook, A.S.C.P. and Burton, N.H.K., 2010. A review of the potential impacts of marine aggregate extraction on seabirds.
- Cooper, K. et al., 2007. Recovery of the seabed following marine aggregate dredging on the Hastings Shingle Bank off the southeast coast of England. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75(4): 547-558.
- Cooper, K., Ware, S., Vanstaen, K. and Barry, J., 2011. Gravel seeding – A suitable technique for restoring the seabed following marine aggregate dredging? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 91(1): 121-132.
- Cooper, K.M. et al., 2008. Assessment of ecosystem function following marine aggregate dredging. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366(1-2): 82-91.
- Davies, C.M. and Hitchcock, D.R., 1992. Improving the Exploitation of Marine Aggregates by a Study of the Impact of Marine Mining Equipment, MTD, UK.
- Desprez, M., 2000. Physical and biological impact of marine aggregate extraction along the French coast of the Eastern English Channel: short- and long-term post-dredging restoration. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 57(5): 1428-1438.
- Desprez, M. and Lafite, R., 2012. Suivi des impacts de l'extraction de granulats. PURH, Rouen-Le Havre, 43 pp.
- Desprez, M., Pearce, B. and Le Bot, S., 2010. The biological impact of overflowing sands around a marine aggregate extraction site: Dieppe (eastern English Channel). *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 67(2): 270-277.
- Diaz, F., Naudin, J.J., Courties, C., Rimmelin, P. and Oriol, L., 2008. Biogeochemical and ecological functioning of the low-salinity water lenses in the region of the Rhone River freshwater influence, NW Mediterranean Sea. *Continental Shelf Research*, 28: 1511-1526.
- Duclos, P.-A., 2012. Impacts morpho-sédimentaires de l'extraction de granulats marins - Application au bassin oriental de la Manche, Université de Rouen, 286 pp.
- Durrieu de Madron, X. et al., 2005. Trawling-induced resuspension and dispersal of muddy sediments and dissolved elements in the Gulf of Lion (NW Mediterranean). *Continental Shelf Research*, 25: 2387-2409.

- Durrieu de Madron, X., Wiberg, P.L. and Puig, P., 2008. Sediment dynamics in the Gulf of Lions: The impact of extreme events. *Continental Shelf Research*, 28: 1867-1876.
- EgisEau and Astérie, 2010. Guide d'évaluation des incidences des projets d'extraction de matériaux en mer sur les sites Natura 2000 - Revue des incidences liées à l'acquisition de données scientifiques.
- Estournel, C. et al., 2003. Observation and modeling of the winter coastal oceanic circulation in the Gulf of Lion under wind conditions influenced by the continental orography (FETCH experiment). *Journal of Geophysical Research*, 108(C3, 8059): 7-1-7-18.
- Foden, J., Rogers, S.I. and Jones, A.P., 2009. Recovery rates of UK seabed habitats after cessation of aggregate extraction. *Marine Ecology Progress Series*, 390: 15-26.
- Freiwald A., Beuck L., Rüggeberg A., Taviani M., Hebbeln D., 2009. The white coral community in the central Mediterranean Sea Revealed by ROV Surveys. *Oceanography*. Vol. 22 : 1.
- Gannier, A., 1998. Une estimation de l'abondance estivale du Dauphin bleu et blanc *Stenella coeruleoalba* (Meyen, 1833) dans le futur Sanctuaire Marin International de Méditerranée nord-occidentale. *Revue D'Ecologie (Terre Vie)*, 53: 255-272.
- Heiremans, C., 2012. Specialized alternative dredging methods, Jan de Nul.
- Hoeksema B., 2012. *Desmophyllum dianthus* (Esper, 1794). Accessed through: World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=135159>. Consulté le 22/10/12.
- Hitchcock, D.R., Newell, R.C. and Seiderer, L.J., 2002. Integrated report on the impact of marine aggregate dredging on physical and biological resources of the seabed.
- Lazure, P. and Dumas, F., 2007. An external-internal mode coupling for a 3D hydrodynamical model for applications at regional scale (MARS). *Advances in Water Ressources*, 31: 233-255.
- Limpenny, D.S., Boyd, S.E., Meadows, W.J., Rees, H.L. and Hewer, A.J., 2002. The utility of sidescan sonar techniques in the assessment of anthropogenic disturbance at aggregate extraction sites, Copenhagen.
- Lozach, S., 2011. Habitats benthiques marins du bassin oriental de la Manche : Enjeux écologiques dans le contexte d'extraction de granulats marins, Université Lille Nord de France, 308 pp.
- Martinez, L. et al., 2011. Mammifères marins. Document DCSMM.
- Mastrototaro F., D'Onghia G., Corriero G., Matarrese A., Maiorano P., Panetta P., Gherardi M., Longo C., Rosso A., Sciuto F., Sanfilippo R., Gravili C., Boero F., 2010. Biodiversity of the white coral bank off Santa Maria di Leuca (Mediterranean Sea): An update. *Deep-Sea Research II*. Vol. 57. pp : 412-430.
- MEEDDM, 2010. Guide d'évaluation des incidences des projets d'extraction de matériaux en mer sur les sites Natura 2000.
- Newell, R.C., Seiderer, L.J. and Hitchcock, D.R., 1998. The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the sea bed. *Oceanography and Marine Biology: an annual review*, 36: 51.
- Newell, R.C., Seiderer, L.J., Simpson, N.M. and Robinson, J.E., 2004. Impacts of Marine Aggregate Dredging on Benthic Macrofauna off the South Coast of the United Kingdom. *Journal of Coastal Research*: 115-125.
- Nicoletti, L., Paganelli, D. and Gabellini, M., 2006. Environmental aspects of relict sand dredging for beach nourishment: proposal for a monitoring protocol.
- Pearson, T.H. and Rosenberg, R., 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology: an annual review*, 16: 229-311.
- Quemmerais-Amice, F., 2011. Extraction sélective de matériaux, Contribution DCSMM.
- Raynal, O. and Certain, R., 2011. Plan de gestion des sédiments du Languedoc-Roussillon ; Les pratiques de gestion des sédiments dans le Languedoc-Roussillon (version provisoire). Rapport UPVD-CEFREM DREAL Languedoc-Roussillon.: 49p.

- Riedl R., 2010. Fauna e flora del Mediterraneo. Dalle alghe ai mammiferi una guida sistematica specie che vivono nel mar Mediterraneo. 777p.
- Simonini, R. et al., 2007. Recolonization and recovery dynamics of the macrozoobenthos after sand extraction in relict sand bottoms of the Northern Adriatic Sea. *Marine environmental research*, 64(5): 574-589.
- Thomsen, F., McCully, S., Wood, D., Pace, F. and White, P., 2009. A generic investigation into noise profiles of marine dredging in relation to the acoustic sensitivity of the marine fauna in UK waters with particular emphasis on aggregate dredging: Phase 1 Scoping and review of key issues.
- Tursi A., Mastrototaro F., Matarrese A., Maiorano P., D'Onghia G., 2004. Biodiversity of the white coral reefs in the Ionian sea (Central Mediterranean). *Chemistry and Ecology*. Vol. 20. pp : 107-116.
- Zibrowius H., 1980. Les Scléactiniaires de la Méditerranée et de l'Atlantiques nord-oriental. *Mémoires de l'Institut Océanographique Fondation Albert 1er., Prince de Monaco*. Vol. 11. pp : 1-230.
- Zibrowius H., 2003. La communauté des "coraux blancs", les faunes des canyons et des montagnes sous-marines de la Méditerranée profonde. *Projet pour la préparation d'un Plan d'Action Stratégique pour la Conservation de la Biodiversité dans la Région Méditerranéenne (SPA - BIO)*. CAR/ASP - Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées. 37p.

VII. LEXIQUE

CITES (convention) : Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (<http://www.cites.org/fra/>)

DCSMM : Directive Cadre sur le Milieu Marin (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-Directive-cadre-strategie-pour.html>)

ICES : International Council for the Exploration of the Sea (en français : CIESM : Conseil International pour l'Exploration de la Mer)

LIDO : programme d'écoute de l'environnement marin coordonné par l'université technique de Barcelone.

(<http://listentothedeep.com/acoustics/index2.php?web=presentation&lang=en>).

PACOMM : Programme d'Acquisition de Connaissances sur les Oiseaux et les Mammifères Marins en France métropolitaine (<http://www.aires-marines.fr/Videos/PACOMM-pour-connaître-les-oiseaux-et-les-mammifères-marins>)

PAMM : Plan d'action du milieu marin- sous-région méditerranéenne.

(<http://www.affaires-maritimes.mediterranee.equipement.gouv.fr/plan-d-action-pour-le-milieu-marin-r124.html>)

VIII. ANNEXES

TABLEAU A1: Incidences possibles de l'exploitation de granulats dans une approche écosystémique (EGIS-EAU, 2010)

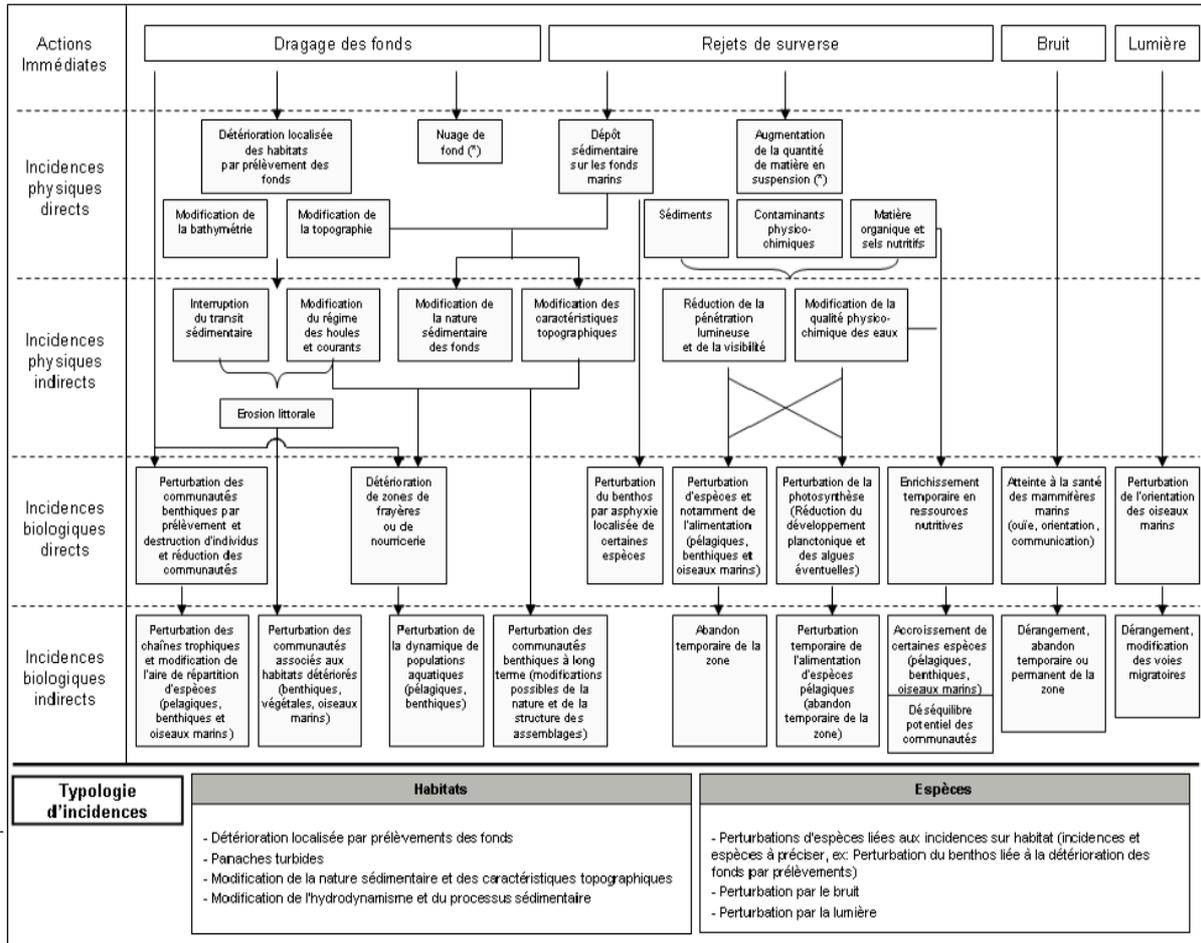


Tableau A2 : Recommandations pour de bonnes pratiques dans l'exploitation des granulats marins (Lozach, 2011). Le "score" désigne le nombre de citations du critère considéré, les valeurs les plus élevées correspondant aux aspects considérés comme les plus critiques. C'est une approche nécessairement subjective, et qui doit être adaptée à la spécificité de chaque site. Les références bibliographiques figurent dans la thèse de Lozach(2011).

Recommandations	Références bibliographiques	Scores	Remarques
A Choisir la ressource pour éviter le criblage et/ou limiter la surverse	3./4./5./6./7./11./13./14./16./24./	10	Il est recommandé de limiter, voire d'interdire, le criblage des sédiments sur site et de limiter le panache turbide pour éviter d'altérer trop profondément le substrat à l'intérieur et à l'extérieur du site d'exploitation.
B Avoir une bonne connaissance de l'environnement du site	1./2./3./4./5./6./7./14./21./22./	10	Il n'y a pas de localisation idéale d'une exploitation, c'est un compromis entre récupération rapide et impact minimum. Il faut donc connaître les caractéristiques physiques et biologiques du site pour en connaître la sensibilité aux extractions.
C Appliquer des fermetures saisonnières	4./5./6./7./11./14./17./24./	8	Il existe différentes propositions selon les enjeux écologiques : favoriser la ponte des harengs (fermeture hivernale), permettre la reproduction ou le transit de certaines espèces et favoriser le recrutement benthique (fermeture estivale). Cela peut également être pour limiter les conflits d'usages (comme la pêche).
D Dragage intensif vs dragage extensif	3./6./7./12./14./23./24./	7	Un dragage intensif permet de limiter le nombre et la surface des sites d'exploitation, et donc leur empreinte sur les fonds marins ; tandis qu'un dragage extensif sera sur de grandes surfaces mais avec des intensités de dragage plus faibles, plus favorables à la recolonisation.
E Limiter la profondeur de dragage	1./4./6./7./11./14./20./	7	Les dépressions moins profondes récupèrent plus rapidement.
F Appliquer des faibles intensités de dragage	1./4./7./13./16./23./	6	L'intensité de dragage fixe le point de départ de la recolonisation : le nombre d'organismes benthiques détruits augmente avec l'intensité de dragage et il y a plus de refuges non dragués entre les sillons préservant des organismes quand l'intensité est faible. Il y a moins d'effet sur la composition sédimentaire.
G Mesurer une ligne de base	1./2./5./13./15./	5	Les lignes de base (baseline) sont nécessaires pour évaluer les récupérations physique et biologique après cessation de dragage et donc connaître le niveau d'impact environnemental du site.
H Utilisation d'une boîte noire enregistrant l'activité de la drague	1./2./4./11./13./	5	Cela permet de surveiller l'activité de dragage et les intensités appliquées sur le fond (EMS : Electronic Monitoring System).
I Zonation spatiale	4./7./11./12./14./	5	Travailler avec des zones discrètes dans la concession de manière à concentrer l'activité sur une zone à la fois, pour les laisser récupérer des zones une fois les quotas atteints. Éviter les zones à forte valeur écologique.
J Etudier les modalités de réhabilitation des zones d'extraction	6./7./10./13./15./	5	Cette réhabilitation serait à la charge de l'exploitant, budgétisée au départ du projet. A terre, il existe un savoir-faire en la matière donc ces orientations pourraient être développées en mer.
K Mettre en place une approche régionale pour gérer les effets cumulés	4./5./6./14./	4	Optimiser les distances entre les sites de dragages et achever l'exploitation d'un site avant de commencer à un autre.
L Dragues aspiratrices en marche versus dragues statiques	13./14./19./	3	Pour des faibles intensités de dragage : les DAM perturbent une plus grande surface sur le fond mais la récupération est plus rapide, les DS ont un impact plus négatif, mais plus localisé.

Tableau A2 (suite) :

	Recommandations	Références bibliographiques	Scores	Remarques
M	Minimiser l'altération du substrat	1./12./18./	3	Le rétablissement d'une communauté benthique similaire à celle pré-dragage ne peut être atteinte que si la topographie et la composition sédimentaire originale sont récupérées. Il faut également que la stabilité du sédiment ne soit pas altérée.
N	Faire des zones d'exclusion	4./10./11./	3	Faire des zones tampons entre les zones de dragages comme refuges pour les organismes benthiques. Il peut également y avoir des zones d'exclusion pour les espèces importantes (type <i>Sabellaria spinulosa</i>).
O	Limiter la fréquence des dragages	1./5./	2	La fréquence de dragage détermine si l'habitat a le temps de récupérer avant d'être affecté par une autre perturbation.
P	Pratiquer la jachère	1./7./	2	Cela reste peu testé, mais l'environnement bénéficie de rotation des opérations de dragage entre les zones, cela améliore la récupération biologique.
Q	Partager l'expérience de gestion et les données environnementales	4./12./	2	Le but est de favoriser le développement des meilleures pratiques de dragage
R	Limiter les conflits d'usage	6./12./	2	
S	Favoriser l'installation des exploitations aux sites où les communautés benthiques sont habituées aux perturbations	20./	1	Les communautés seront alors naturellement résilientes et la récupération biologique se fera plus rapidement
T	Eviter les exploitations proches du littoral	6./	1	Il y a des risques pour l'érosion côtière
U	Faire un usage approprié des équipements de dragage	14./	1	La remise en suspension des sédiments peut être limitée en optimisant la vitesse des DAM, la position de la tête de l'élinde et la puissance de la pompe
V	Adapter les techniques de dragages en fonction des conditions hydrodynamiques	14./	1	Choisir l'orientation des dragues par rapport au sens du courant principal pour réduire le panache turbide
W	Améliorer les technologies de dragages et les pratiques de gestion	4./	1	Le but est d'assurer le développement durable de ces ressources minérales limitées