

PRE

SIONS

ET

MANCHE - MER DU NORD

IM

PACTS

PRESSIONS ET IMPACTS

MANCHE - MER DU NORD

JUIN 2012

PRESSIONS PHYSIQUES ET IMPACTS ASSOCIÉS

Pertes et dommages physiques

Modifications de la nature du fond et de la turbidité

Florence Cayocca
(Ifremer, Brest).



**On appelle communément « turbidité »
de l'eau l'obstruction à la pénétration
de la lumière.**

La turbidité résulte de la quantité de particules solides en suspension (dites « matières en suspension »), qu'elles soient minérales – sables, argiles, limons –, ou d'origine organique – phytoplancton ou zooplancton, matières organiques détritiques. Dans le cadre de cette synthèse, les modifications de la turbidité et de la nature du sédiment sont identifiées comme « dommages physiques » résultant de sources de pression anthropiques. Ces modifications traduisent, dans la colonne d'eau pour la turbidité et à la surface du fond pour la nature du sédiment, les effets de la remise en suspension des sédiments – c'est-à-dire leur érosion –, de leur transport, puis éventuellement leur dépôt. La nature du fond change si les sédiments qui se déposent en un point donné sont de composition et/ou de granulométrie différente de celles des sédiments en place, ou si l'érosion de sédiments de surface met à nu des sédiments sous-jacents de nature différente.

Les modifications de la nature du fond peuvent impacter les communautés benthiques par le biais d'une altération de leur habitat : les enrichissements en sable ou en vase, par exemple, conduisent à une adaptation des assemblages en fonction de la nouvelle composition du fond. En cela, ces processus relèvent du Descripteur 6 « Niveau d'intégrité des fonds marins » (Décision de la Commission du 1^{er} septembre 2010, 2010/477/UE). Parallèlement, *les modifications de la turbidité* peuvent avoir un impact indirect sur les communautés phytoplanctoniques et les communautés végétales benthiques, par le biais de l'altération de la propagation de la lumière, qui joue un rôle essentiel dans la fonction chlorophyllienne. Des niveaux de turbidité élevés peuvent également affecter les fonctions de filtration des coquillages sauvages ou cultivés, et par conséquent leur croissance, voire leur survie. Ces processus relèvent du Descripteur 1.6.3 « Conditions

physiques, hydrologiques et chimiques des habitats marins »
(Décision de la Commission du 1^{er} septembre 2010, 2010/477/UE).

Les modifications d'origine anthropique de la turbidité et de la nature du sédiment sont liées à des pressions s'exerçant sur le fond, ou à des pressions qui modifient les apports terrigènes. Elles ne peuvent donc être traitées indépendamment des sources qui les provoquent, reprises dans les contributions thématiques « Abrasion », « Extraction sélective de matériaux » et « Apports fluviaux en nutriments et matières organiques ». Elles peuvent également résulter d'activités conduisant à des « pertes physiques » provisoires ou permanentes, comme les rejets de dragage, les opérations de génie civil en mer – installations de structures pour la récupération de l'énergie en mer, enfouissement de câbles, constructions d'ouvrages, par exemple –, ou encore la mariculture dont la conchyliculture.

Peu de données permettent de quantifier les modifications d'origine anthropique étudiées ici, d'autant plus que la connaissance des conditions « naturelles », que ce soit pour la nature du fond ou la turbidité ambiante, est très parcellaire. Ce document se propose donc de rappeler les sources de pression – dont l'inventaire par sous-région marine est détaillé dans les contributions thématiques « Étouffement et colmatage » pour la conchyliculture, le dragage et la construction d'ouvrages, « Abrasion » et « Extraction sélective de matériaux » – et de présenter l'état des connaissances permettant d'estimer les pressions résultantes sur le fond et sur la colonne d'eau. L'analyse complète des impacts sur les habitats et les biocénoses associées est traitée dans le § « Impacts sur les habitats » de la contribution « Impacts cumulatifs des pertes et dommages physiques ».

1. SOURCES DE PRESSION DE TYPE « ABRASION » ET PRESSIONS ASSOCIÉES

1.1. PÊCHE AUX ARTS TRAÎNANTS

1.1.1. Mécanismes

La pêche aux arts traînants remanie les fonds sédimentaires en tractant derrière un bateau un chalut destiné à exploiter les espèces commerciales vivant à proximité du fond. La partie avant du chalut est constituée de plusieurs composants qui s'enfoncent plus ou moins dans le sédiment, afin de piéger dans le filet placé derrière les espèces convoitées. L'ampleur du remaniement dépend de la taille de l'engin tracté, de son poids, et de la vitesse à laquelle il est tracté. Ce remaniement, à l'image des activités d'extractions de granulats marins, peut induire des modifications morphologiques des fonds – en fonction de leur nature –, et une remise en suspension liée à l'action mécanique du chalut.

1.1.2. Pressions sur la nature du fond et la remise en suspension

Des images issues d'observations au sonar latéral illustrent l'effet des chalutages sur la morphologie du fond [1]. Selon les engins utilisés, leur mode de mise en œuvre et la nature du fond, l'enfoncement – et donc le remaniement – varie de 1 à quelques centimètres. La profondeur des sillons observés est généralement moindre du fait du dépôt rapide des particules les plus grossières. La dynamique des nuages turbides produits par ce remaniement des fonds a été analysée lors d'études ponctuelles [2] [3] [4]. Les flux ainsi remis en suspension varient d'une centaine de $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ pour les sédiments les plus grossiers à $800 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ pour les sédiments les plus fins [2], et les concentrations maximales dans le panache sont comprises entre 150 et $350 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ selon les expériences. À une distance du chalut de quelques centaines de mètres, la hauteur du panache est de l'ordre de 2 fois l'ouverture du chalut – quelques mètres –, sa largeur de l'ordre de la centaine de mètres, et sa concentration de l'ordre de quelques dizaines de $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ dans les premiers mètres au-dessus du fond. La masse totale en suspension diminue de manière exponentielle dans le temps ; selon la vitesse de chute des sédiments en suspension, l'excès de concentration dû au passage du chalut est indétectable après une période allant de quelques dizaines de minutes à plusieurs heures.

Les estimations des flux ainsi remis en suspension peuvent ensuite être combinées aux estimations de l'effort de pêche afin d'évaluer les masses totales remises en suspension dans une région donnée. Ce type d'estimation n'a pas été fait en Manche-mer du Nord.

1.2. MOUILLAGES

L'évitement des navires ancrés, en particulier dans les zones d'attente des ports, induit une remise en suspension des sédiments du fait du mouvement des chaînes de mouillage sur le fond. L'ordre de grandeur de la turbidité engendrée n'est pas connu.

1.3. INSTALLATIONS D'OUVRAGES EN MER

La construction d'ouvrages installés en mer (on entend par là sans lien direct avec le littoral) peut temporairement altérer le régime hydro-sédimentaire : enfouissement de câbles, construction de fondations pour des piles, qui remettent des sédiments en suspension. Ces effets sont à comparer à la variabilité saisonnière naturelle selon les sites.

L'installation de parcs de structures de récupération de l'énergie marine – éoliennes, hydroliennes – imposera d'examiner l'effet cumulé des structures, en particulier sur la circulation et la propagation des vagues. Au même titre que les installations conchylicoles par exemple, on peut effectivement anticiper que les modifications des conditions hydrodynamiques dans ces parcs auront un effet sur la remise en suspension des sédiments et leur dépôt, et *in fine* la nature des fonds.

Pour les parcs d'éoliennes « mono-pile », OSPAR [5] conclut, suite à l'observation de parcs au Royaume-Uni, à un affouillement¹ limité à une centaine de mètres autour de chaque pile, et une perturbation de la nature des fonds qui excède de quelques centaines de mètres l'emprise d'un parc éolien. Les sites d'essais destinés à tester divers démonstrateurs devront être opérationnels d'ici 2012 (Bréhat/Paimpol pour l'hydrolien, Saint-Brieuc pour l'éolien ancré).

2. SOURCES DE PRESSION DE TYPE « EXTRACTION SÉLECTIVE » ET PRESSIONS ASSOCIÉES

2.1. EXTRACTIONS DE GRANULATS

La contribution thématique « Extraction sélective de matériaux » recense les sites actifs d'extraction de granulats ainsi que ceux en cours d'instruction.

Les extractions de granulats (hors extractions dédiées aux rechargements de plage, traitées ci-dessous) concernent des sédiments sableux à graveleux, destinés à la construction. Elles ont lieu sur des gisements identifiés pour leur faible taux de sédiments fins, en général inférieur à 2 % pour la fraction inférieure à 63 mm. Les extractions se font le plus souvent par dragues aspiratrices en marche, qui creusent des sillons de quelques dizaines de centimètres de profondeur, et chargent dans la cale du navire un mélange d'eau et de sédiment de fond. Les fractions les plus fines sont remises en suspension sur le fond au moment du passage de l'élinde² (effet négligeable), tandis que la surverse des eaux chargées de sédiments fins crée un panache de surface – dans le cas d'un d'une surverse par sabords –, ou en subsurface – surverse par puits, c'est-à-dire en fond de cale.

Des campagnes de mesures ont montré que les concentrations du mélange rejeté par la drague sont de l'ordre de 20 g.l⁻¹ ; la dilution dans l'eau de mer conduit à des concentrations de 10 mg.l⁻¹ en surface après 30 minutes, et aux concentrations du milieu naturel après 2 heures [6]. Les particules les plus grossières du panache (supérieures à 100 mm) chutent en 10 minutes à 1 heure. La zone de dépôt de ces particules s'étend donc de l'intérieur du périmètre d'extraction à quelques centaines de mètres au-delà. Le panache des particules inférieures à 63 mm s'étend sur une plus grande surface. En supposant un taux de particules inférieures à 63 mm de 2 % sur le gisement, et une exploitation de 1 Mm³ sur un permis de 10 km², le dépôt induit serait de 2 mm. Ce dépôt se traduit par un affinement général de la granulométrie, particulièrement dans les sillons.

L'effet le plus persistant des extractions est l'abaissement du niveau bathymétrique. L'empreinte des sillons d'extraction varie généralement entre 30 et 60 cm de profondeur pour 2 à 3 mètres de large [7] [8]. Sur les sites très exploités, les sillons successifs se superposent et génèrent un surcreusement du substrat, pouvant atteindre plusieurs mètres [8]. Sur le site d'extraction expérimentale des « sables et graviers de la baie de Seine », exploitée par le GIE GMN³, les suivis réalisés après la première année d'exploitation (2007-2008) montrent qu'en fonction de la superposition des sillons d'extraction, l'approfondissement du fond observé varie entre 20 cm pour une intensité faible (< 1 h·ha⁻¹·an⁻¹) à 1 mètre pour une intensité faible à moyenne (1 à 5 h·ha⁻¹·an⁻¹, [9]). En moyenne sur la zone d'extraction, cet approfondissement atteint en général moins de 2 à 3 mètres à l'issue de l'exploitation, mais il s'agit d'un approfondissement très inégal, d'une part du fait du mode d'extraction (passage de l'élinde), d'autre part parce que c'est la zone du gisement la plus adaptée à la granulométrie recherchée qui sera la plus exploitée. Cette diminution du niveau bathymétrique, dans des zones peu profondes, peut modifier de manière significative la propagation des vagues ; dans le cas de sites proches de la côte, cette réduction de l'effet protecteur des hauts-fonds vis-à-vis de la houle est à considérer avec précaution.

L'intérêt d'opérations de nivellement à l'issue de l'exploitation d'un site est en cours d'examen.

¹ L'affouillement est le surcreusement qui apparaît autour d'une structure (pile de pont par exemple) construite sur un sol meuble, et soumise à l'action d'un courant et/ou de vagues. La dimension caractéristique horizontale de ce creusement est de l'ordre de 10 fois la dimension caractéristique de la structure (son diamètre, dans le cas d'une pile cylindrique).

² L'élinde est l'extrémité de la drague en contact avec le fond, et qui « aspire » le sédiment vers la cale du navire.

³ Groupement d'Intérêt Économique Granulats Marins de Normandie.

2.2. CAS PARTICULIER DES EXTRACTIONS DE MAËRL

La contribution thématique « Extraction sélective de matériaux » recense les sites d'extraction de maërl.

Les gisements de maërl exploités sont concentrés sur les bancs les plus vastes et les plus épais [10]. L'extraction peut concerner la totalité du banc, ce qui conduit à des creusements de plusieurs mètres.

Il n'existe pas de mesures concernant l'augmentation de turbidité due à l'extraction de maërl en particulier. En revanche, les habitats de maërl étant typiquement peu turbides [11], l'augmentation de turbidité due à l'extraction peut y être particulièrement impactante pour le maërl lui-même et pour la biocénose peuplant cet habitat.

2.3. CAS PARTICULIER DES EXTRACTIONS DE SABLE POUR RECHARGEMENT DE PLAGE

Les extractions de sable dédiées au rechargement de plage ont les mêmes conséquences sur le milieu, en termes de turbidité induite et de modification de la nature et de la morphologie des fonds, que les extractions vouées à des usages à terre.

Dans la mesure où le contexte hydrodynamique régional ne change pas, les zones où sont effectués les rechargements sont des zones perpétuellement soumises à une érosion naturelle qui tend à déplacer le sable vers le large sous l'effet des houles hivernales, et le long de la côte sous l'effet d'une éventuelle dérive littorale. Le sable utilisé pour le rechargement est donc voué à être de nouveau déplacé sous l'action de l'hydrodynamisme local. Dans la mesure où la granulométrie du sable de rechargement est choisie proche de la granulométrie naturelle de la plage, le procédé n'altère pas les flux naturels : il les entretient tout en évitant une érosion littorale nette.

3. SOURCES DE PRESSION DE TYPE « ÉTOUFFEMENT » ET PRESSIONS ASSOCIÉES

3.1. CONSTRUCTION D'OUVRAGES LITTORAUX

Les aménagements côtiers peuvent modifier les zones d'accumulation et de dépôt de sédiments fins ou sableux :

- ils peuvent induire une interception des dérives littorales sableuses liées aux vagues (digues, jetées), créant ainsi localement un « engraissement » tandis que l'aval de l'ouvrage subit une érosion liée à la déplétion des apports ;
- ils peuvent modifier les conditions de circulation, en particulier la propagation de la marée en zone estuarienne, entraînant un déplacement du maximum de turbidité, et constituer des pièges à sédimentation fine (exemple des aménagements portuaires).

L'ampleur de ces modifications dépend des conditions environnementales hydro-météorologiques et sédimentaires ainsi que des dimensions des ouvrages, mais les effets demeurent très littoraux à l'échelle des sous-régions. Ils peuvent être souhaités, lorsqu'il s'agit d'ouvrages de protection de plages par exemple, ou combattus, par exemple dans le cas de l'entretien des chenaux d'accès aux ports par dragage.

En Seine-Maritime, la mise en place de systèmes de protection de l'érosion des falaises a diminué la production de galets, qui provenaient de l'érosion des falaises crayeuses situées au sud. Le transit naturel de ces galets vers le nord diminue ainsi progressivement le volume du cordon de galets qui assure la protection des polders. Ce phénomène augmente la vulnérabilité de la zone côtière aux submersions marines.

3.2. AMÉNAGEMENTS FLUVIAUX, PRATIQUES CULTURALES DES BASSINS VERSANTS

Si l'étude de la dynamique sédimentaire des grands fleuves a permis, dans certains cas, d'évaluer des flux sédimentaires en amont de la zone d'action de la marée, la quantification de ces apports dans le milieu marin n'est pas précise. Des analyses de données tentent généralement d'établir des relations empiriques entre débits liquides et flux solides, relations sujettes à caution puisque la prise en compte des phénomènes d'hystérésis entre le lessivage des bassins versants et les apports sédimentaires dans le fleuve est délicate. On sait néanmoins que les aménagements fluviaux – barrages, aménagement des berges – ont modifié la nature et le volume des

apports terrigènes au cours du dernier siècle [12] en piégeant en particulier les apports de sédiments grossiers à l'amont des barrages. La quantification des déficits d'apports sédimentaires liés à ces aménagements est difficile à établir, entre autres du fait des incertitudes quant aux débits solides antérieurs à ces aménagements.

Par ailleurs, l'érosion sédimentaire des bassins versants et par conséquent les apports en sédiments fins dépendent de l'usage des terres dans ces bassins : type de culture, urbanisation, élevage sur les prairies inondables... On peut établir à l'échelle globale que les flux sédimentaires fluviaux ont été multipliés par un facteur de 2 à 10 au cours des 20 derniers siècles, du fait de la mise en culture de régions auparavant boisées [12]. Pour les époques récentes, la modulation des apports terrigènes liée à l'usage des bassins versants fait l'objet de recherches essentiellement en ce qui concerne les flux de nutriments, mais pas les flux de sédiments fins.

Les infrastructures portuaires, où les forçages hydrodynamiques sont par conception les plus faibles possibles, constituent des zones de piégeage privilégié. Les seules infrastructures portuaires de Rouen piègent de 15 à 30 % des apports de sédiments fins en période de crue, avec des dépôts maximaux de 1 à 4 m par an à l'entrée des bassins [13]. En aval du pont de Normandie, la construction des digues submersibles a provoqué une migration vers l'aval du bouchon vaseux (ce qui était l'effet recherché), le développement de bancs de part et d'autre de ces digues (construction d'une sorte de « delta »), tandis que la surface des vasières était réduite (la surface intertidale de l'estuaire est passée de 80 à 16 km² en 100 ans). Parallèlement, on observe un affinement de la nature du sédiment superficiel dans l'estuaire aval [14].

3.3. CONCHYLICULTURE ET PISCICULTURE : ZONES D'ACCUMULATION DE SÉDIMENTS FINS

Les sites conchylicoles sont recensés dans la contribution thématique « Étouffement et colmatage ».

Le long des façades Manche et Atlantique, la conchyliculture se répartit entre :

- l'ostréiculture sur « tables » surélevées (en zone intertidale) ;
- l'ostréiculture sur le fond (sans structure, essentiellement en zone subtidale) ;
- la mytiliculture sur bouchots.

La présence de structures (tables ou bouchots) induit une altération de la circulation et de la propagation des vagues. Selon l'orientation des structures par rapport aux courants dominants et à la direction de propagation des vagues, la nature du sédiment vierge, le niveau de turbidité ambiant, la densité des structures, un engorgement de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres peut être observé dans les parcs conchylicoles eux-mêmes, ou à leur abord immédiat. Cet impact reste néanmoins limité spatialement [15] [16].

La pisciculture marine est essentiellement présente sur les côtes des régions Nord et Bretagne [17]. Les cages immergées sont également responsables de taux de sédimentation accrus au droit des installations et alentour [18] [19], avec essentiellement des répercussions sur les flux de matière organique et les habitats benthiques que ces flux affectent.

3.4. DRAGAGES ET REJETS DE DRAGAGES

Les zones de rejets de dragages sont recensées dans la contribution thématique « Apport en substances dangereuses par le dragage et le clapage ».

Il faut distinguer deux catégories de dragage : les dragages d'approfondissement, qui sont des travaux initiaux et peuvent être assimilés aux travaux de construction d'ouvrages, et les dragages d'entretien. Les dragages d'approfondissement perturbent l'état d'équilibre des systèmes, en modifiant les conditions hydrodynamiques qui deviennent incompatibles avec la nouvelle morphologie. Suivant l'ampleur de ce dragage, l'adaptation du système à une nouvelle configuration peut se répercuter sur tout le fonctionnement hydro-sédimentaire de l'estuaire – en particulier dans le cas de changements morphologiques qui modifient la propagation de la marée ou le maintien de vasières intertidales, tels que les aménagements de l'estuaire de la Seine, et avoir des répercussions assez loin en aval et en amont.

Les dragages d'entretien n'ont pas cet effet de déstabilisation initiale. En revanche, pour les principales zones de clapage, liées à l'entretien des grands ports, ils induisent une modification locale de la bathymétrie et de la nature des fonds, et leur présence peut en cela affecter la dynamique sédimentaire d'une partie de l'estuaire et de la zone côtière par le biais des évolutions morphodynamiques qui modifient la propagation des vagues, et par le biais de la modification de la répartition des sédiments fins dans le système.

Les processus physiques lors des clapages sont schématiquement de deux ordres : d'une part la chute convective des matériaux – chute rapide en masse, les dépôts s'étalant ensuite sur le fond –, et d'autre part la dispersion de la fraction des matériaux qui se mélangent à l'eau lors de leur chute, et sont ensuite transportés dans la colonne d'eau. Cette phase en suspension crée, au cours du clapage, un nuage turbide qui peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur. La remise en suspension et la dispersion ultérieure des sédiments fraîchement déposés contribuent à augmenter la turbidité naturelle et peuvent générer un impact plus ou moins éloigné du site de clapage.

Des expériences de modélisation numérique suggèrent qu'à la suite d'une série de 4 clapages de 250 000 tonnes au cours de 2 mois en estuaire de Seine, la turbidité dépasse de $25 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ les valeurs naturelles 10 % du temps au cours de ces 2 mois, dans une zone d'un diamètre de 5 km [20]. Au cours de cette période, les dépôts restent essentiellement confinés dans un rayon de 300 m autour de la zone de clapage, et ne sont plus détectés au-delà d'un rayon de 3 km.

La zone de rejet de dragage du Kannick a ainsi subi une accrétion nette de 65 Mm^3 entre 1960 et 2003 (pour un volume clapé de l'ordre de 90 Mm^3), qui s'est traduite par un exhaussement des fonds de plus de 5 m sur plusieurs kilomètres carrés.

4. CONCLUSION

La présentation par sources de pression occulte le fait que si certaines évolutions de la turbidité ou de la nature du fond observées sont plus ou moins clairement liées à une ou des activités anthropiques, on ne peut cependant pas toujours lier de manière univoque une évolution à une activité. On peut par exemple mentionner que la remontée du niveau bathymétrique des laminaires semble être un indicateur d'une augmentation de la turbidité côtière [21], sans toutefois pouvoir aujourd'hui en expliquer les causes.

De même, la modification de la nature des fonds en des zones particulières d'emprise généralement très localisée peut souvent être liée à des activités anthropiques comme des exploitations conchylicoles, des extractions, des constructions d'ouvrage, ou des rejets de dragage.

Il est en revanche délicat de distinguer, à l'échelle d'une sous-région, la part des éventuels changements observés due à des évolutions naturelles – colmatage de baie lié à une asymétrie flot/jusant, érosion côtière due à une exposition continue aux vagues, de la part imputable à des activités anthropiques – pêche, modification des apports fluviaux. Peu de mesures permettent en effet d'estimer rigoureusement les flux solides d'origine fluviale, et le déficit d'apports dû aux aménagements, ou d'estimer les masses remises en suspension par les courants et les vagues, et celles remises en suspension par les chalutages.

Il est important de noter qu'à l'échelle d'une sous-région, hormis pour les activités de pêche qui concernent de grandes étendues, et les constructions de grands aménagements qui peuvent modifier la dynamique des grands estuaires, les pressions de diverses sources sont le plus souvent localisées, et la magnitude des effets – augmentation temporaire de la turbidité, changement de la nature des fonds – relativement faible. La localisation de la pression et la saison durant laquelle elle est présente sont en revanche déterminantes, puisqu'une modification d'origine anthropique sur la turbidité ou la nature des fonds, même faible, peut avoir des répercussions importantes si elle concerne un écosystème sensible, et/ou si elle a lieu à une période de l'année où la turbidité naturelle est très faible, notamment la période estivale.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Ferré B., 2004. Comparaison de l'effet des tempêtes et du chalutage sur la resuspension et le transport de matières particulaires dans le Golfe du Lion. PhD Thesis, Univ. Perpignan, 256 pp.
- [2] Durrieu de Madron X., Ferrea B., Le Corre G., Grenz C., Conan P., Pujo-Pay M., Buscaila R., Bodiou O., 2005. Trawling-induced resuspension and dispersal of muddy sediments and dissolved elements in the Gulf of Lion (NW Mediterranean), *Continental Shelf Research* 25 (2005) 2387-2409.
- [3] Dellapenna T.M., Allison M.A., Gill G.A., Lehman R.D., Warnken K.W., 2006. The impact of shrimp trawling and associated sediment resuspensions in mud dominated, shallow estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 69 (2006) 519-530.
- [4] Ferré B., Durrieu de Madron X., Estournel C., Ulses C., Le Corre G., 2008. Impact of natural (waves and currents) and anthropogenic (trawl) resuspension on the export of particulate matter to the open ocean, Application to the Gulf of Lion (NW Mediterranean). *Continental Shelf Research* 28 (2008) 2071-2091.
- [5] OSPAR, 2006. Review of the Current State of Knowledge on the Environmental Impacts of the Location, Operation and Removal/Disposal of Offshore Wind-Farms. Publication number : 278-2006.
- [6] Duclos P.A., Le Bot S., Rivoalen H., Lafite R., 2010. Étude de l'impact morpho-sédimentaire et de la dynamique du panache turbide créé par une extraction de granulats, Assemblée Générale GIS SIEGMA.
- [7] Toupin A., 2004. L'extraction de granulats marins. Impacts environnementaux, synthèse bibliographique critique. Les fascicules de l'industrie minière (ed.) : 188 p.
- [8] Hill J.M., Marzialetti S., Pearce B., 2011. Recovery of Seabed Resources Following marine Aggregate Extraction. *Marine Aggregate Levy Sustainability Fund Science Monograph Series n°2*, Newell R. C., Measures J. (eds.). 44 p.
- [9] GIS SIEGMA, 2010. L'extraction expérimentale « des sables et graviers de la baie de Seine » - Rapport annuel de synthèse des suivis scientifiques, 2^{ème} année de suivi (A2) 2008-2009 : 203 p.
- [10] Grall J., 2003. Fiche de synthèse sur les biocénoses : Les bancs de maërl, REBENT 2003.
- [11] Grall J., Guillaumont B. et Bajjouk T., 2009. Fiche de synthèse d'habitat : « Maërl ». Ifremer, REBENT. *NATURA*, 2000, 1-9.
- [12] Milliman et Syvitsky, 1992. Geomorphic/Tectonic Control of Sediment Discharge to the Ocean : The Importance of Small Mountainous Rivers. *The Journal of Geology*, Vol. 100, No. 5 (Sep., 1992), pp. 525-544.
- [13] Guézennec L., 1999. Hydrodynamique et transport en suspension du matériel particulaire fin dans la zone fluviale d'un estuaire macrotidal : l'exemple de l'estuaire de la Seine (France).
- [14] Delsinne N., 2005. Évolution pluri-millénaire à pluri-annuelle du prisme sédimentaire d'embouchure de la Seine. Facteurs de contrôle naturels et d'origine anthropique. Thèse de doctorat, Caen.
- [15] Cayocca F., Bassoullet P., Le Hir P., Jestin H., Cann P., 2008. Sedimentary processes in a shellfish farming environment, Mont Saint Michel Bay, France. *Proceedings in Marine Science* 9, Pages 431-446.
- [16] Kervella Y., Germain G., Gaurier B., Cayocca F., Lesueur P. 2010. Caractérisation numérique et expérimentale des perturbations engendrées par la présence de tables ostréicoles. XI^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Les sables d'Olonne, 22 – 25 juin 2010. 10 p.
- [17] AGRESTE, 2011. Recensement 2008 de la salmoniculture et de la pisciculture marine et des élevages d'esturgeons. *Agreste les Dossiers n°11*, 148 p.
- [18] Diaz-Almela E., Marba N., Alvarez E., Santiago R., Holmer M., Grau A., 2008. Benthic input rates predict seagrass (*Posidonia oceanica*) fish farm-induced decline. *Marine Pollution Bulletin*, 56(7), 1332-1332-1342. doi : 10.1016/j.marpolbul.2008.03.022.
- [19] Sanz-Lazaro C., Belando M.D., Marin-Guirao L., Navarrete-Mier F. et Marin A., 2011. Relationship between sedimentation rates and benthic impact on maërl beds derived from fish farming in the Mediterranean. *Marine Environmental Research*, 71 (1), 22-22-30. doi : 10.1016/j.marenvres.2010.09.005.
- [20] SOGREAH, 2010. Dragages d'entretien du chenal d'accès au port de Rouen et immersions des produits de dragage. Document d'évaluation des incidences au regard de la conservation des sites Natura 2000. Rapport final n°171 1949 : 138 p.
- [21] Derrien-Courtel S., Le Gal A., 2009. Suivi stationnel des roches subtidales, Résultats de la surveillance du Benthos, REBENT, Edition 2009.