

RIM 2022 (article complet pour relecture mais non encore mis au forme au format imposé)

GRANULATS MARINS : 40 ANS D'ETUDES POUR EVITER TOUT IMPACT SUR LE TRAIT DE COTE

Luc HAMM, Artelia, luc.hamm@arteliagroup.com

Amélie ROCHE, Cerema, Amelie.Roche@cerema.fr

Laëtitia PAPORE, Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG), lpapore@gsm-granulats.fr

Agnès GARÇON, UNPG, agarcon@charier.fr

Anaïs GUERIN, UNPG, Anais.Guerin@roullier.com

Résumé : Cet article présente les principaux résultats d'une étude de synthèse faisant le point sur les connaissances et pratiques actuelles concernant les possibles effets des extractions de granulats marins sur l'évolution du trait de côte des façades Mer du Nord, Manche et Atlantique de la France métropolitaine. Une synthèse des connaissances sur l'évolution des littoraux des provinces sédimentaires sur lesquelles des concessions sont implantées est d'abord exposée. A ce jour, aucune étude ne démontre en France un recul du trait de côte directement imputable aux seules extractions de granulats en mer. Un historique des études réalisées depuis 40 ans en France et en Europe pour préciser les possibles effets d'une concession et les moyens de les éviter est ensuite résumé et permet d'expliquer le constat précédent par l'application de bonnes pratiques d'implantation de ces concessions. Le développement de la modélisation numérique hydrosédimentaire a permis plus récemment de mettre en œuvre une méthodologie robuste pour évaluer les possibles effets des nouvelles demandes. Sa co-construction avec les organismes de contrôle permet d'envisager maintenant l'édition d'un guide national des bonnes pratiques qui est en cours de rédaction.

Mots-clefs : sable, érosion du littoral, modélisation hydrosédimentaire, extraction de granulats

Abstract : This article presents the main results of a synthesis study on the current knowledge and practices concerning the possible effects of marine aggregate extraction on the evolution of the coastline of the North Sea, Channel and Atlantic coasts of mainland France. A synthesis of the knowledge on the evolution of the sedimentary provinces coastlines where concessions are located is first presented. To date, no study in France has demonstrated a retreat of the coastline directly attributable to offshore aggregate extraction alone. A history of studies carried out over the last 40 years in France and in Europe to specify the possible effects of a concession and the means to avoid them is then summarized and allows us to explain the previous observation by the application of good practices in the implementation of these concessions. The development of numerical hydrosedimentary modelling has more recently made it possible to implement a robust methodology to assess the possible effects of new requests. Its co-construction with the control organizations allows us to consider the publication of national guidelines of good practices which is currently being drafted.

Keywords : sand, coastal erosion, hydrosedimentary modelling, aggregate extraction

Introduction

L'actualité de ces dernières années révèle deux phénomènes concomitants :

- d'une part, la tension palpable sur la ressource en sable, deuxième matière la plus consommée dans le monde, juste après l'eau, et plus largement les « granulats » utilisés dans la construction (UNEP, 2019).
- et d'autre part, la prise de conscience sociétale de la nécessité de protéger l'environnement et limiter l'exploitation de ressources non-renouvelables pour les générations futures.

La France métropolitaine possède de grandes ressources en granulats marins, aujourd'hui exploitées en complément des granulats terrestres. Les projets (extraction de sables coquilliers en baie de Lannion ou permis exclusif d'exploration dans le golfe de Gascogne par exemple) génèrent cependant des inquiétudes parmi la société civile française et l'exploitation de cette ressource est ressentie comme une des causes de l'érosion du littoral en France. Ces phénomènes d'érosion ou de « recul du trait de côte » sont de plus en plus suivis par les populations locales qui voient une urbanisation littorale, fortement développée au plus proche de la mer, menacée à chaque tempête : les stocks sédimentaires ne semblent plus suffire pour réalimenter les plages et protéger les enjeux côtiers.

L'exploitation des granulats marins en France fait cependant l'objet d'une réglementation stricte et encadrée à laquelle la profession s'est conformée et adaptée au gré de ses évolutions. Elle s'est notamment engagée depuis 2012 dans les discussions portant sur la « Stratégie nationale de gestion durable des granulats marins et terrestres et des matériaux et substances de carrières » et a participé au groupe de travail sur les granulats marins (GTGM) qui a rédigé un guide méthodologique pour l'élaboration des Documents d'Orientation pour une Gestion Durable des Granulats Marins (DOGGM) publié en novembre 2016 par le ministère en charge de l'Environnement. À la lecture de ce guide, il apparaissait que le sujet de l'impact de l'activité d'exploitation de granulats en mer sur l'érosion du trait de côte méritait un focus. L'Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG), au travers de sa commission granulats marins, a souhaité mettre à la disposition de tous un document scientifique, technique et pédagogique qui fait le point sur le lien entre extractions de granulats marins et évolution du trait de côte. Pour se faire, l'UNPG a confié à Artelia et au Cerema le soin de mener à bien la rédaction de cette étude (Artelia et al., 2021). Le rapport en résultant est organisé en quatre chapitres :

- Evolution du trait de côte : présentation générale du sujet,
- Synthèse des connaissances sur certaines provinces sédimentaires des façades de la Mer du Nord, de la Manche et de l'Atlantique,
- Synthèse des connaissances scientifiques sur les différents processus hydrosédimentaires pouvant amener un impact,
- Retours d'expérience en France.

Il est complété en annexe par une partie traitant de la réglementation française.

La communication fera la synthèse du contenu de cette étude et de ses principales conclusions en insistant plus particulièrement sur la méthodologie mise en œuvre afin d'éviter tout impact sur le trait de côte (séquence ERC : Éviter-Réduire-Compenser).

L'approche nationale

Depuis 2012, la France s'est dotée d'une Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte (MEDDTL, 2012), dont l'ambition est de favoriser l'adaptation et l'anticipation des phénomènes d'érosion côtière, pour décider de choix appropriés et ne pas subir les évolutions à venir dans un contexte de changement climatique. La mise en œuvre de cette stratégie nationale s'appuie à ce jour sur un programme d'actions qui a placé le développement et le partage des connaissances comme enjeux prioritaires afin de bien comprendre ces phénomènes complexes. Dans ce cadre, le Cerema a produit un inventaire des ouvrages et aménagements littoraux (Cerema et MTES, 2018), un indicateur national de l'érosion côtière (Cerema et MTES, 2017) et coordonné l'actualisation du « Catalogue sédimentologique des côtes françaises » sous la forme de 17 fascicules et atlas cartographiques (collection « Dynamiques et évolution du littoral ») qui ont permis de dresser un panorama des

phénomènes d'érosion et des facteurs d'évolution du trait de côte sur les provinces sédimentaires du littoral métropolitain et ultramarin (Cerema, 2021).

Le « trait de côte » correspond à l'interface entre la terre, la mer et l'atmosphère. Il évolue naturellement et continuellement en fonction de sa nature intrinsèque (type de côte, disposition et résistance des roches, topographie de l'arrière-pays...) et sous l'effet de facteurs atmosphériques (vents, dépressions, précipitations, etc.) et hydrodynamiques (niveau marin, vagues, courants associés, débits des fleuves). Son équilibre dépend des flux sédimentaires et s'exprime par le bilan établi entre, d'une part, les apports marins et fluviaux et la production biogène (maërl, sable coquillier), et d'autre part les pertes en mer et à terre (extractions, dragages, ouvrages bloquant le transit sédimentaire...). Ce bilan s'évalue au sein d'une « cellule hydrosédimentaire », compartiment littoral regroupant la majorité des échanges sédimentaires de manière globalement indépendante des compartiments adjacents.

L'érosion côtière est un phénomène naturel qui peut être exacerbé par les activités anthropiques limitant les échanges sédimentaires voire réduisant les apports à la côte. Les extractions de granulats marins sont ainsi des actions perturbatrices du milieu marin au même titre que d'autres activités ou que la construction d'ouvrages côtiers ou de barrages fluviaux.

Ces impacts, connus de longue date, sont pris en considération dans la réglementation française en vigueur qui encadre ces activités pour en limiter les impacts. À ce jour, aucune étude ne démontre en France un recul du trait de côte directement imputable aux seules extractions de granulats en mer.

Synthèse des connaissances par province sédimentaire : l'exemple de la baie de Seine

Une synthèse des connaissances sur les liens entre extractions de granulats marins et recul du trait de côte a été produite pour chacune des 5 provinces sédimentaires métropolitaines concernées par ces activités. Il est présenté ici à titre d'exemple le cas de la province comprise entre le cap d'Antifer et le cap de la Hague. Les informations sont issues du fascicule n°3 de la collection « Dynamiques et évolution du littoral » (Cerema, 2019) correspondant à cette province qui s'étend sur environ 435 km et est constituée de quatre unités morphosédimentaires :

- la pointe de Caux, entre le cap d'Antifer et le cap de la Hève, correspond à une côte à falaise à large platier rocheux et cordon de galets ;
- la baie de Seine, s'étendant sur près de 280 km entre le cap de la Hève et Saint-Vaast-la-Hougue, est caractérisée par une alternance de côtes à falaises avec platier rocheux, de côtes d'accumulation sableuse avec un système dunaire peu développé et de côtes d'accumulation sablo-vaseuse correspondant aux estuaires et à la baie des Veys ;
- les côtes est et nord du Cotentin (de Saint-Vaast-la-Hougue à la pointe de Barfleur et de la pointe de Barfleur au cap de la Hague) sont deux unités au tracé d'ensemble très découpé et caractérisées par une alternance d'anses étroites et fermées, de longues plages sableuses et de caps rocheux très résistants (côtes rocheuses accores).

Le trait de côte de la province correspond sur près des deux tiers de son linéaire à des côtes d'accumulation sableuses et vaseuses, et sur un tiers à des côtes rocheuses à falaise. Cependant, avec près de 254 km cumulés d'ouvrages et aménagements côtiers recensés (Cerema et MTES, 2018), plus de la moitié du linéaire littoral est impactée par des aménagements. Les dix cellules hydrosédimentaires de la province ont des limites soit naturelles, soit d'origine anthropique en lien avec les jetées portuaires majeures. À ce titre, certaines limites mal définies pourraient être encore discutées. D'une manière générale, le littoral de la province est relativement stable ou en léger recul (vitesses moyennes généralement inférieures à 0,5 m/an) mais quelques secteurs ponctuels présentent des évolutions plus marquées, notamment en accréation (Cerema et MTES, 2017).

D'un point de vue historique, l'aménagement de cette province est marqué dès le XVIII^e siècle par le développement portuaire du fait de la proximité des îles Anglo-Normandes et de la Grande-Bretagne et également avec l'essor des traversées transatlantiques. Aujourd'hui, dix-huit ports sont répartis le long des côtes de cette province. Au cours du XIX^e siècle et jusqu'au début XX^e siècle, les petits bourgs et villages littoraux s'étendent en liaison avec le tourisme balnéaire (bains et casinos comme Trouville-sur-Mer, Deauville, Arromanches-les-Bains...). Le développement résidentiel et économique des villes

côtières se poursuit au XXe siècle. Ainsi, le littoral de la province est fortement anthropisé notamment du fait des infrastructures portuaires (Grand port maritime du Havre, Caen-Ouistreham, Cherbourg, Ouveville...) et des très nombreux ouvrages de protection sur les côtes d'accumulation.

Pour ce qui concerne les granulats marins, les ressources de matériaux potentiellement extractibles dans l'ensemble de la Manche sont estimées, suivant la méthode géostatistique, à 149 milliards de m³ dans la ZEE dont près de 117 milliards de m³ dans les paléovallées (Augris *et al.*, 2006 ; MEEM et MINEFI, 2016). Les ressources minérales marines actuellement exploitées en Manche orientale sont localisées par 20 à 45 m de fond et sont constituées de sédiments grossiers (sables et graviers siliceux). Elles sont exploitées sur une profondeur maximale de 2,50 m pour la concession dite « Baie de Seine » et sur une épaisseur moyenne de 1 à 5 m pour les autres gisements.

Les premières demandes d'extraction de granulats marins en baie de Seine datent de la fin des années 1980. En 2022, 3 concessions pour 4 sites d'extractions de granulats marins sont autorisées et en activité sur la province. Elles représentent un volume autorisé maximal annuel d'environ 3,5 Mm³. Cependant, ce volume est très supérieur aux volumes extraits réellement qui ne répondent qu'aux stricts besoins des marchés. Les volumes maximaux autorisés sont prévus pour permettre de répondre ponctuellement à des pics de demande sur la durée de la concession et servent de référence pour toutes les évaluations des niveaux d'impact.

Face à une demande soudaine et à la multiplication des projets à la fin des années 1980, une Commission inter-régionale de concertation pour la gestion de la baie de Seine (CICGBDS) a été créée en 1993. Elle a conduit à la mise en place d'une exploitation expérimentale en 1996 sur le périmètre du permis initialement accordé en 1989 qui a, par la suite, été suivie par le GIS SIEGMA (Groupement d'intérêt scientifique « Suivis des impacts de l'extraction de granulats marins ») entre 2006 et 2012. La synthèse produite par le GIS SIEGMA (Desprez *et al.*, 2012) présente les résultats des suivis effectués sur les sites ateliers de Dieppe et de la baie de Seine entre 2003 et 2012. Geslain (2014) a produit une synthèse sur l'évaluation et le suivi de l'impact des extractions de granulats marins sur les écosystèmes et la biodiversité ; la thèse de doctorat de Duclos (2012) analyse les impacts morpho-sédimentaires de l'extraction de granulats marins dans le bassin oriental de la Manche (sites de Dieppe et de la baie de Seine). Les résultats des suivis montrent généralement un impact spatio-temporel limité au site de la concession et une recolonisation dans les années qui suivent la fin de l'exploitation, permettant un retour aux conditions initiales, dont la durée dépend de la pression d'extraction et les conditions hydrosédimentaires du secteur. Ces études sont détaillées dans la synthèse du GIS SIEGMA (Desprez et Lafite, 2014), pour le site atelier de la baie de Seine entre 2003 et 2012 (Claveleau, 2007) ; elles montrent l'intérêt de suivis de longue durée et de retours d'expérience.

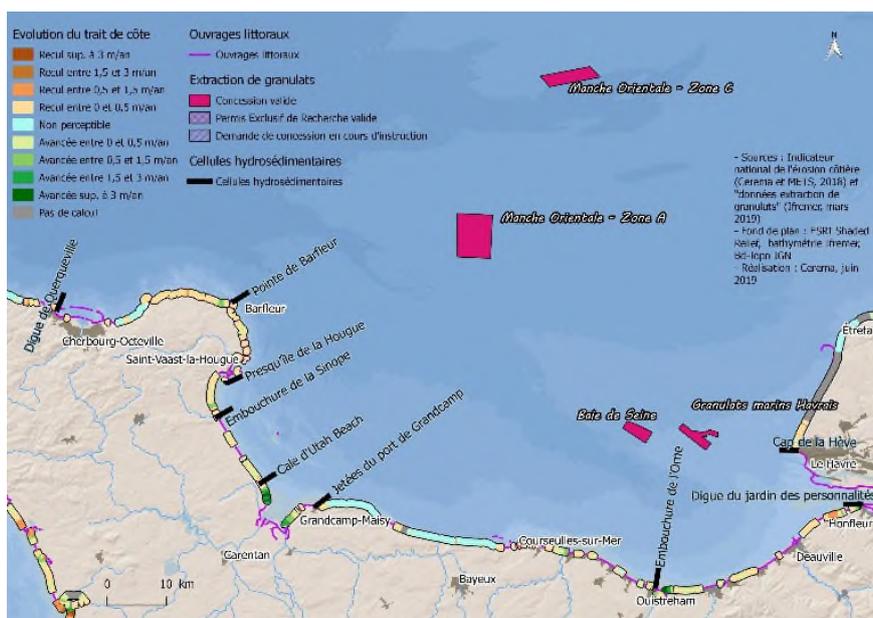


Figure 1 : Localisation des sites d'extraction de granulats marins, limites de cellules hydrosédimentaires connues et évolution du trait de côte entre le cap d'Antifer et le cap de la Hague

Pour ce qui concerne l'impact sur l'évolution du trait de côte, celui-ci n'est pas établi dans la bibliographie scientifique consultée, ni dans les différents suivis réalisés. Par ailleurs, la confrontation spatiale aux variations de l'indicateur national de l'érosion côtière ne permet pas de conclure à un lien évident entre l'activité et l'évolution du littoral.

Synthèse des connaissances scientifiques

Les différents processus hydrosédimentaires pouvant amener un impact des extractions de granulats sur le trait de côte ont fait l'objet d'études en France et au Royaume-Uni, dans les années 1970/80 (Price *et al.*, 1978 ; Migniot et Viguier, 1980 ; Viguier *et al.*, 1984). Celles-ci ont cerné correctement les principaux processus physiques pouvant intervenir, qui comprennent (Cayocca et du Gardin, 2003):

- une modification de la propagation de la houle à l'approche de la côte susceptible de modifier le régime et l'intensité du transit littoral et donc les évolutions du trait de côte : par réfraction avec une modulation des hauteurs et des directions ; par réduction du déferlement (arasement des bancs et barres),
- un piégeage par la souille d'extraction du transport sédimentaire induit par la houle : par interception directe du transit littoral dans la zone de déferlement ; par érosion régressive des petits fonds et de la plage (transport de la côte vers le large) ; par piégeage du transport en dehors de la zone de déferlement dans le sens de la remontée des sédiments du large vers le littoral,
- une modification de la morphodynamique des barres et bancs lorsque les courants jouent un rôle important.

Des critères simples ont alors été mis en place pour éviter ces impacts, en termes de profondeur, de distance à la côte et de géométrie de la souille, à savoir :

- 1) Placer la souille d'extraction au large de la zone de déferlement, au-delà de la profondeur de fermeture morphodynamique,
- 2) Eviter de creuser les souilles perpendiculairement au littoral,
- 3) Limiter la profondeur de la souille pour que l'écart de célérité des vagues entre les fonds naturels et le fond de la souille reste acceptable.

Ils ont permis de positionner correctement les concessions exploitées en France ces trente dernières années en évitant tout impact direct sur le littoral et en réduisant au minimum les impacts indirects. Cela conduit aujourd'hui au constat d'une absence d'impact avéré des sites existants sur le littoral.

Plus récemment, la prise en compte des effets du changement climatique a stimulé les études de long terme mettant en évidence l'importance du transport résiduel des sédiments du large vers la côte dans l'alimentation en sables de certains littoraux. Ce processus est maintenant pris en compte dans l'estimation des impacts.

Les progrès en mesures de terrain (agitation, bathymétrie, géomorphologie) et en modélisation mathématique réalisés depuis 20 ans (courants, agitation, transport des sédiments) ont permis d'affiner l'estimation des impacts des nouveaux projets, au cas par cas, grâce à des simulations numériques hydrosédimentaires calées sur des mesures de terrain (Latteux, 2008).

Une méthodologie robuste, au niveau de l'état de l'art, transposable, répondant notamment aux exigences formulées par les organismes techniques de contrôle a ainsi été co-construite par itération avec le BRGM et le Cerema, mise au point en Loire-Atlantique sur les sites du Pilier et de Cairnstrath et appliquée dans un autre contexte régional (la Manche) avec succès sur les sites des Granulats Marins Havrais et de Baie de Seine.

Celle-ci comprend deux types d'étude :

- la première porte sur l'impact indirect d'une concession sur la propagation des vagues jusqu'à la côte et les modifications d'agitation et de transit littoral qui en résultent ;

- la seconde porte sur l'impact de la concession sur les transports sédimentaires côtiers, induits par les courants de marée et l'agitation susceptibles d'alimenter le littoral en sédiments.

Leur mise en œuvre repose sur la collecte et la mise en forme de données de terrain, la mise en place et la validation de modélisations numériques, leur exploitation sur différents scénarios (état actuel, états futurs) et l'analyse comparative des résultats pour évaluer l'impact des projets.

La propagation des vagues et leur déferlement à la côte

La propagation des vagues en zone côtière repose sur deux principes physiques, une condition cinématique (loi de Descartes) et une condition énergétique qui sont induites par l'interaction entre les vagues et la bathymétrie. Plus précisément, la célérité locale des vagues, c'est-à-dire leur vitesse de propagation vers la côte, se réduit à mesure que la hauteur d'eau diminue. Ainsi, lorsqu'une crête de vague parcourt des fonds marins de profondeurs différentes, une différence de célérité va se développer conduisant à des changements locaux de direction des vagues qui vont déformer la crête suivant la loi de réfraction de Descartes mise au point en optique (c'est la condition cinématique). Ces déformations vont engendrer alors une nouvelle répartition de l'énergie des vagues et de leur hauteur. Celle-ci va s'épanouir dans les baies et se concentrer sur les caps.

Dans un second temps, l'interaction avec le fond va générer en plus une levée des vagues à l'approche des côtes conduisant généralement à leur déferlement. Ce processus conduit à une perte d'énergie par turbulence mais aussi à la création de courants littoraux par transfert de quantité de mouvement.

Dans un troisième temps, la puissance de ces courants, renforcés par la turbulence des vagues, va être en mesure de transporter les sédiments meubles (sables, graviers et galets) disponibles sur les plages et dans la zone littorale. Ce transit littoral, modulé le long de la côte par la géométrie du trait de côte, constitue un forçage dynamique susceptible de causer l'érosion (ou l'accrétion) des plages sur le long terme.

La modélisation numérique de l'ensemble de ces processus physiques permet de simuler à l'avance différents scénarios de configuration bathymétrique : d'abord sur la situation actuelle puis sur différentes configurations géométriques d'exploitation. Ces différentes configurations bathymétriques vont influencer sur la propagation des vagues et *in fine* sur le transit littoral. La comparaison des résultats obtenus sur les différents scénarios va donc permettre d'apprécier l'effet de la future exploitation sur l'évolution du trait de côte et de rechercher des scénarios de moindre impact.

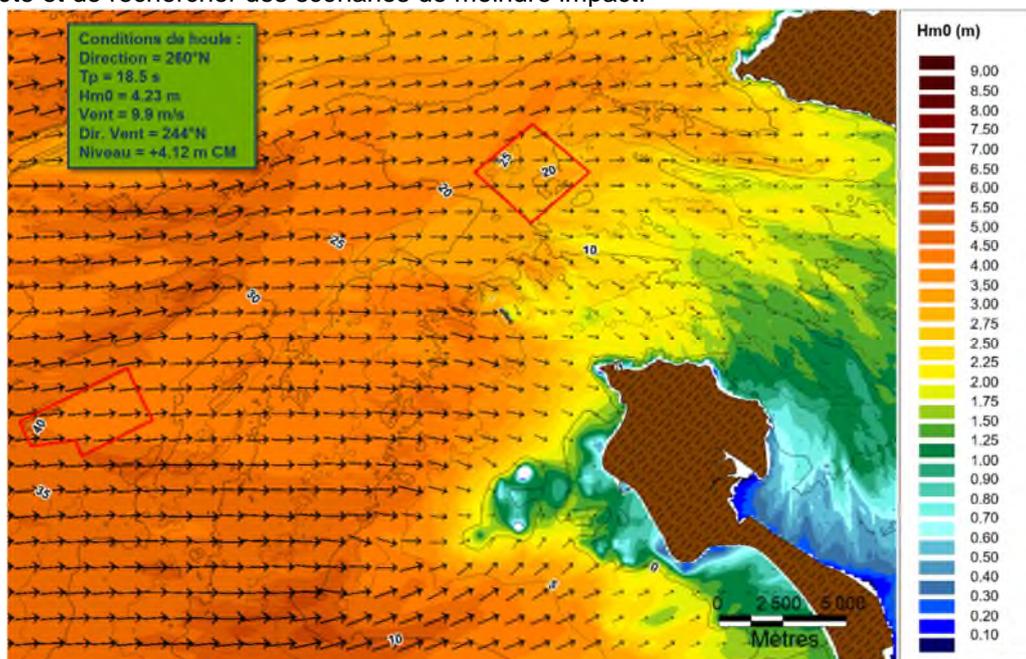


Figure 2 : Propagation d'une houle d'ouest au niveau des concessions de Cairnstrath (projet) et du Pilier (encadrés rouges, respectivement à l'ouest et au nord de l'île de Noirmoutier) – état 2015

La figure 1 présente un exemple de simulation de propagation des vagues au large de l'embouchure de la Loire et de l'île de Noirmoutier comprenant le projet de concession de Cairnstrath situé à l'ouest de l'île par fonds de 30 à 36 m ainsi que la concession du Pilier quasiment en fin d'exploitation par des fonds de 16 à 18 m, sur une situation bathymétrique de 2015. Les flèches représentent la direction principale locale des vagues. L'effet de la souille existante du Pilier est visible sur sa face nord-est : l'augmentation importante des profondeurs à cet endroit du site conduit à une déviation de la direction de propagation des vagues par effet de réfraction.

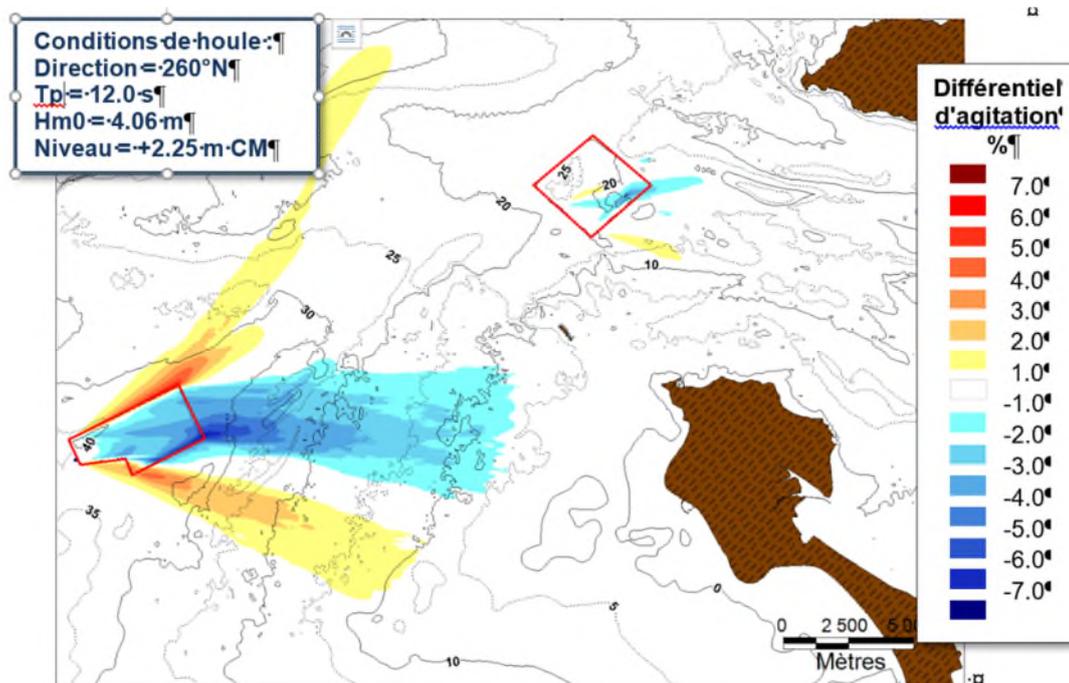


Figure 3 : Impact d'un scénario d'extraction sur la hauteur significative des vagues au niveau des concessions de Cairnstrath (projet) et du Pilier (encadrés rouges, respectivement à l'ouest et au nord de l'île de Noirmoutier)

Un scénario d'extraction pour le site de Cairnstrath (approfondissement de 5 m sur l'ensemble du site), complété par une fin d'exploitation du site du Pilier a ensuite été simulé. La figure 2 présente l'impact de ces extractions sur la hauteur significative des vagues pour la même condition de houle que précédemment : on observe une réduction de l'agitation à l'aval de la concession ainsi qu'une augmentation sur ses flancs nord et sud. Ces effets s'estompent avec la distance et l'écart devient inférieur à 1% par fonds de 5 à 10 m sans atteindre la côte. Un impact sur les directions de propagation des vagues a pu être également observé.

Ces deux simulations permettent donc de connaître les conditions d'agitation tout le long du littoral de Noirmoutier. L'étape suivante consiste à utiliser ces résultats pour calculer le transit littoral en différents points représentatifs du littoral. La figure 3 fournit la position de ces points et le tableau 1 rassemble les résultats obtenus sur le littoral nord qui est le plus sensible du fait de la présence du port de l'Herbaudière qui bloque le transit littoral s'établissant d'ouest en est (GEOS et DHI, 2007). On observe que l'impact de la concession est très faible au point P01 et négligeable sur les autres points.



Figure 4 : Position des points de contrôle du transit littoral sur le littoral nord de Noirmoutier

	TRANSIT LITTORAL ANNUEL (m3/an)				
	P01	P02	P05	P06	P09
Etat de référence	5655	1750	1517	9175	7800
Etat final d'exploitation	5595	1750	1519	9203	7823
Différence	-60	0	3	29	23

Tableau 1 : Calcul du transit littoral aux points de contrôle (formule du CERC)

Les transports sédimentaires côtiers

Une modélisation des transports hydrosédimentaires sous l'action de la houle et des courants a été mise en place. Elle repose sur un modèle hydrodynamique 3D validé sur des mesures de terrain de niveau d'eau, courant et agitation sur le site de la Lambarde. Ce modèle a été complété par un modèle de transport des sédiments sableux sous l'action combinée de l'agitation et des courants (formule globale de Soulsby). Les calculs ont porté sur une année hydrologique complète représentative d'octobre 1998 à septembre 1999. Ils ont d'abord permis de mettre en évidence le circuit complexe des flux sableux sur la zone (Figure 5). On observe ainsi que les deux flux principaux (océanique et fluvial) se subdivisent dans l'estuaire externe de la Loire.

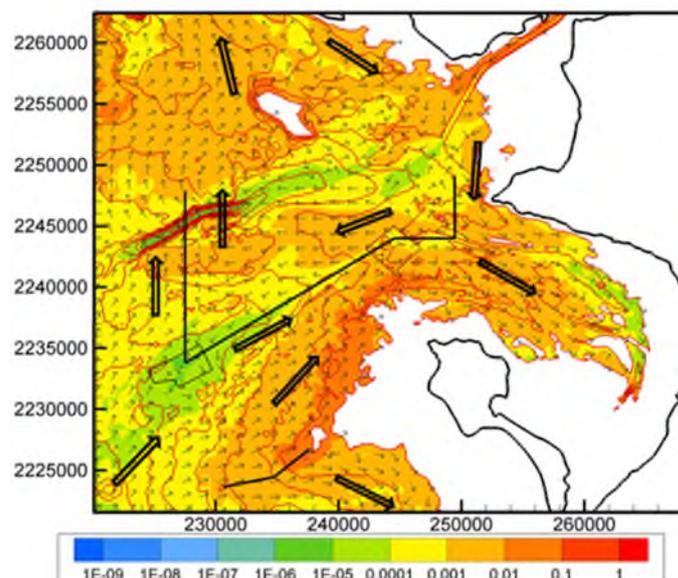


Figure 5 – Transport solide résiduel (en kg/ms) pour un sable de 0,7 mm au niveau des concessions de Cairnstrath (projet) et du Piliers (encadrés gris, respectivement à l'ouest et au nord de l'île de Noirmoutier) - état actuel

Le flux océanique entrant par le sud-ouest se divise en trois branches :

- le flux le plus au sud vient rencontrer l'île de Noirmoutier et redescend la côte ouest de l'île ;
- le flux remontant la paléo-vallée rencontre celui rejeté par la Loire et une partie est déviée vers le nord ;
- enfin un flux central se dirige vers la baie de Bourgneuf en traversant les concessions de Cairnstrath et du Pilier.

Le flux ligérien, pour sa part, se divise en deux parties : l'une dirigée au sud vers la baie de Bourgneuf et l'autre vers l'estuaire externe qui rencontre le flux océanique l'obligeant à un mouvement giratoire.

L'impact du projet de concession sur le transport des sables a ensuite été cartographié. Il est cohérent avec l'impact sur l'agitation, à savoir une réduction dans l'ombre des concessions et une augmentation de part et d'autre.

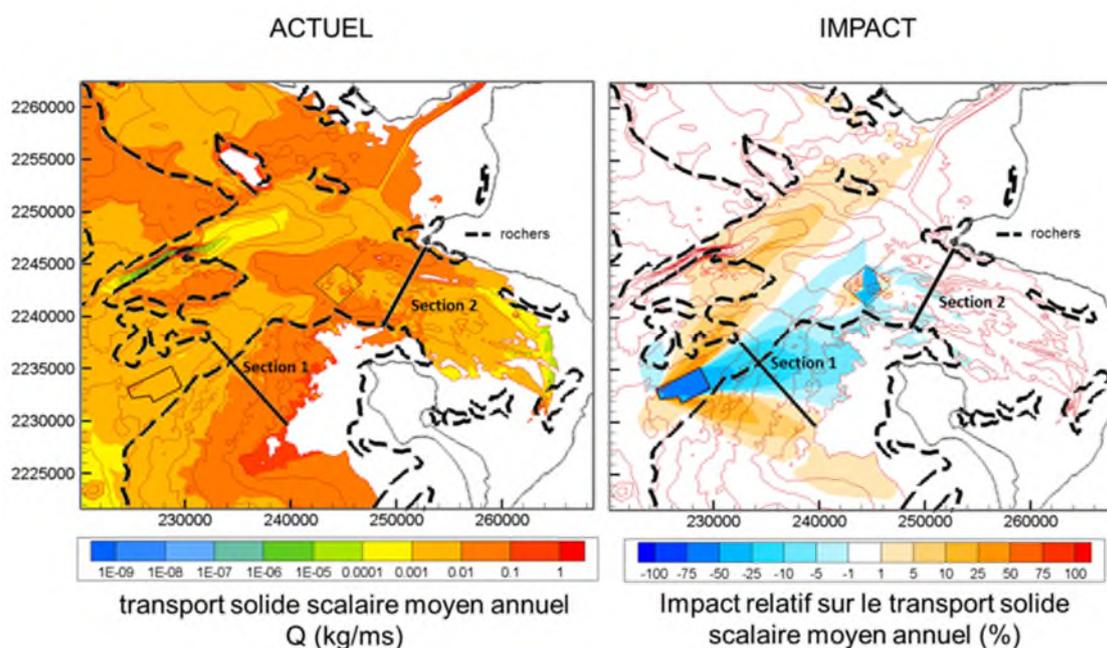


Figure 6 – Transport solide moyen annuel pour le diamètre de 0,7mm au niveau des concessions de Cairnstrath (projet) et du Pilier (encadrés gris, respectivement à l'ouest et au nord de l'île de Noirmoutier) en état actuel (image de gauche) et impact (image de droite)

Le flux de transport résiduel des sables du large vers la côte (Figure 5) traversant les concessions a été évalué à travers deux sections (Figure 6, section 1 et section 2). Les résultats sont fournis dans le Tableau 2.

Du point de vue méthodologique, ces flux ne tiennent pas compte du transport littoral, les sections s'arrêtent à la côte -5mCM. Les volumes sont des capacités maximales que peuvent transporter les écoulements ; ils dépendent bien évidemment des sources de sédiment disponibles. D'autre part, ces flux sont calculés en granulométrie unique et il ne faut donc pas les sommer. Si la nature du fond est un mélange, les flux seront proportionnels au pourcentage de sédiment disponible au sol pour chaque classe.

Sur la section 1, l'impact est positif, avec une augmentation comprise entre 1,6 et 2,8% suivant le type de sédiment (hors 4mm car peu représentatif). On aurait pu s'attendre à ce que le transport soit diminué, puisque la position de la section 1 passe principalement sur une zone de diminution de transport (voir Figure 6). Il faut effectivement remarquer sur cette figure que le transport solide au niveau de la souille est environ 1000 fois plus faible qu'au niveau de la cote -5mCM. Or, l'impact est positif aux abords de la cote -5mCM, ce qui induit au final une augmentation.

diamètre (mm)	section 1 (Millions de m3)		Section 2 (Millions de m3)	
	actuel		actuel	
0.25	2.70		2.14	
0.5	1.56		1.16	
0.7	0.97		0.54	
1	0.57		0.18	
4	0.03		0.00	

diamètre (mm)	section 1 (Millions de m3)		Section 2 (Millions de m3)	
	futur		futur	
0.25	2.74		2.13	
0.5	1.59		1.15	
0.7	0.99		0.54	
1	0.59		0.18	
4	0.03		0.00	

diamètre (mm)	section 1 (m3) Impact		Section 2 (m3) Impact	
	0.25	43401		-9163
0.5	27336		-5121	
0.7	21475		-2762	
1	15867		-1164	
4	2198		9	

diamètre (mm)	section 1 (%) Impact		Section 2 (%) Impact	
	0.25	1.6		-0.4
0.5	1.8		-0.4	
0.7	2.2		-0.5	
1	2.8		-0.6	
4	6.7		-2.7	

Tableau 2 –Volume annuel de sédiment (sédiment de diamètre unique) passant par les sections 1 et 2 d’après les flux résiduels pour 5 classes de sédiments, pour l’état actuel, futur et impact

Pour la baie de Bourgneuf (section 2, située entre 2 zones de rochers), on assiste à une faible diminution du transport moyen annuel, comprise entre 0,4 et 0,6 % (hors 4mm car peu représentatif). L'ordre de grandeur sur la cote moyenne des fonds situés au-delà de -5mCM (surface d'environ 105 km²) a ensuite été estimé (voir Tableau 3).

diamètre (mm)	évolution moyenne (mm) en 100 ans pour une surface estimée de 105 km ² ACTUEL	évolution moyenne (mm) en 100 ans pour une surface estimée de 105 km ² FUTUR	Impact de l'évolution moyenne (mm) en 100 ans pour une surface estimée de 105 km ² IMPACT
0.25	20.4	20.3	-0.087
0.5	11.0	11.0	-0.049
0.7	5.2	5.1	-0.026
1	1.7	1.7	-0.011
4	0.0	0.0	0.000

Tableau 3 – Estimation de l'évolution centennale en sable de la baie de Bourgneuf à partir des flux résiduels en fonction du type de sédiment, état actuel, futur et impact

L'impact sur la baie de Bourgneuf (hors transport littoral) pour les cotes inférieures à -5mCM est une diminution de l'évolution moyenne sur 100 ans qui, d'après les calculs, est inférieure au dixième de millimètre.

Conclusions

Les progrès en mesures de terrain (agitation, bathymétrie, géomorphologie) et en modélisation numérique réalisés depuis 20 ans (courants, agitation, transport des sédiments) permettent aujourd'hui d'apprécier avec confiance l'estimation des impacts de concessions de granulats marins grâce à des simulations hydrosédimentaires calées sur des mesures de terrain.

La méthodologie présentée ici, mise au point en Loire-Atlantique, a été appliquée dans un autre contexte régional (la Manche) avec succès. C'est une méthodologie au niveau de l'état de l'art, robuste,

transposable, répondant notamment aux exigences formulées par les organismes techniques de contrôle. Elle est actuellement en cours de généralisation par l'écriture d'un guide national dont la rédaction et la validation sont pilotés par la Direction de l'Eau et de la biodiversité (DGALN/DEB/EARM).

Références

Artelia, Cerema et UNPG, 2021. Evolution du trait de côte et extraction de granulats marins : point sur les connaissances et pratiques actuelles. Rapport établi pour le compte de l'Union Nationale des Producteurs de granulats, 114 p.

Augris C., Simplet L., Maze J.-P., Morvan L., Satra Le Bris C., Fitamant N., Bourillet J.-F., 2006. Inventaire des ressources en matériaux marins sur les façades « Manche-Est » et « Loire-Gironde ». Rapport de contrat, Ifremer, 166 p.

Cayocca F., du Gardin B., 2003. Assessing the impact of sand extraction on the shore stability : project: for a methodological framework. European marine sand and gravel – shaping the future, EMSAGG Conference 20-21 February 2003, Delft University, The Netherlands

Cerema, MTES, 2017. Indicateur national de l'érosion côtière. Couche SIG.

Cerema, MTES, 2018. Ouvrages et aménagements littoraux (métropole et outre-mer). Couche SIG.

Cerema, 2019. Dynamiques et évolution du littoral. Fascicule n°3: Synthèse des connaissances du cap d'Antifer au cap de la Hague. Cerema, 609 p.

Cerema, 2021. Dynamiques et évolution du littoral. Synthèse des connaissances Actualisation du Catalogue Sédimentologique des côtes françaises. 17 fascicules et atlas associés, <https://www.cerema.fr/fr/actualites/dynamiques-evolutions-du-littoral-synthese-connaissances-0>

Claveleau D., 2007. Évolution morpho-sédimentaire quaternaire de la plate-forme continentale de la Côte d'Albâtre (Manche orientale, France). Thèse de doctorat de l'Université de Rouen, 259 p.

Desprez M., Lafite R., 2014. Monitoring the impacts of marine aggregate extraction - Knowledge Synthesis 2012 (GIS SIEGMA). Presses universitaires de Rouen et du Havre, Mont-Saint-Aignan, 2014, 44 p.

Desprez M., Le Bot S., Duclos P.-A., De Roton G., Villanueva M., Ernande B., Lafite R., 2012. Monitoring the impacts of marine aggregate extraction. Knowledge synthesis 2012 (GIS SIEGMA). Presses universitaires de Rouen et du Havre, 44 p.

Duclos P.-A., 2012. Impacts morpho-sédimentaires de l'extraction de granulats marins - application au bassin oriental de la Manche. Thèse de doctorat de l'Université de Rouen, 286 p.

GEOS et DHI, 2007. Etude de connaissance des phénomènes d'érosion sur le littoral vendéen. Rapport final de tranche ferme établi pour le compte du Service Maritime DDE85, décembre 2007.

Latteux B., 2008. Exploitation de matériaux marins et stabilité du littoral. Ed. QUAE, 162 p.

MEDDTL, 2012. Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte. Vers la relocalisation des activités et des biens. MEDDTL, 20 p.

MEEM, MINEFI, 2016. Guide méthodologique pour l'élaboration des Documents d'Orientation pour une Gestion durable des Granulats Marins (DOGGM). 178 p.

Migniot C., Viguier J., 1980. Influence de l'extraction des granulats en mer sur l'équilibre du littoral. La Houille Blanche, n°3

Price W.A., Motyka J.M., Jaffrey L.J., 1978. The effect of offshore dredging on coastlines. Proceedings 16th Int. conf. on Coastal Engineering, American Society of Civil Engineers, 1347 - 1358

UNEP, 2019. Sand sustainability : finding new solutions for environmental governance of global sand resources. United Nations Environmental Programme, Geneva, Switzerland,.

Viguier J., Roques J.M., Migniot C., 1984. Influence de l'extraction des granulats en mer sur l'équilibre du littoral. Société Hydrotechnique de France, C.R. XVIIIe journées de l'Hydraulique, Marseille, rapport III-13