

Pertes de sédiment vers le large : Quelles zones préférentielles par réanalyse des bases de données existantes ?

AXE 1 et 4 – Contrat d'étude PAUL



**Pertes de sédiment vers le large :
Quelles zones préférentielles
par réanalyse des bases
de données existantes ?**

AXE 1 et 4 – Contrat d'étude PAUL

*Nicolas Aleman
Olivier Raynal
Raphaël Certain
Nicolas Robin*

Citation :

Aleman, N., Raynal, O., Certain, R., Robin, N., 2019. Pertes de sédiment vers le large : Quelles zones préférentielles par réanalyse des données existantes ? Rapport axe 1 et 4 - PAUL, 28 p.

Table des matières

PREAMBULE	1
1. INTRODUCTION	3
2. LES CAPS ROCHEUX	3
2.1. Le Cap Leucate	3
2.2. Le Cap d'Agde	5
2.3. Le Mont Saint Clair	7
2.4. La plage du Racou	8
3. LES CONVERGENCES DE DERIVE LITTORALE	11
3.1. Le Narbonnais	11
3.2. Le Golfe d'Aigues Mortes	15
4. PERSPECTIVE DE RECHERCHE POUR L'ETUDE DES PERTES SEDIMENTAIRES VERS LE LARGE	17
5. CONCLUSION GENERALE	18
6. BIBLIOGRAPHIE	19

PREAMBULE

Ce rapport constitue l'axe 2 du contrat d'étude "*Perte AU Large*" (PAUL) entre la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement d'Occitanie (DREAL-O), l'Université de Perpignan Via Domitia (UPVD) et le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).

L'étude a été réalisée au sein du CEntre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens (CEFREM -UMR5110) par le groupe Littoral Multi-Scale Analysis (LMUSCA) sous la direction scientifique de Mrs. Raphaël CERTAIN et Nicolas ROBIN.

Ce travail s'inscrit dans la continuité des travaux réalisés au sein du CEFREM en partenariat avec la DREAL-O (i.e. SIMILAR, PGSLR, LITTOSIS, REVOLSED, REVOLSTOCK). Il vise à améliorer les connaissances sur les pertes probables de sédiments depuis le compartiment littoral vers le large mises en avant dans les études antérieures.

Pour plus d'information sur les précédentes études, se reporter sur les sites de la DREAL Occitanie (www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr) et du groupe LMUSCA (<https://elmusca.wordpress.com>).

Bibliographie non exhaustive :

- Aleman, N., Raynal, O., Certain, R., Robin, N., Brunel, C., 2017. Atlas de l'évolution morphologique et du budget sédimentaire du littoral du Languedoc-Roussillon 2007-2009-2011. Rapport thème 2 - SIMILAR, 68 p.
- Raynal, O., Certain, R., Robin, N., Aleman, N., avec la collaboration de Montel, L., et Dufresne, P., 2018. REVOLSTOCK : Prospective de la relation entre l'évolution du trait de côte et le stock sableux de l'avant-côte d'Occitanie. Rapport final. DREAL-LR / UPVD, 19 p.
- Brunel, C., Certain, R., Robin, N., Aleman, N., Raynal, O., avec la collaboration de Guérinel, B. et Dufresne, P., 2014. REVOLSED : Relation entre l'évolution du trait de côte et le bilan sédimentaire de l'avant-côte du Languedoc-Roussillon. Rapport final. DREAL-LR / UPVD, 68 p.
- Brunel, C., Certain, R., Robin, N., Aleman, N., Raynal, O., Barusseau, J.-P., Sabatier, F., 2012. Atlas de l'évolution des fonds et des budgets sédimentaires séculaires de l'avant-côte du Languedoc-Roussillon (1895/1984/2009). DREAL-LR / UPVD, 27 p.
- Raynal, O., Certain, R., Brunel, C., Aleman, N., Robin, N., Guérinel, B., Montel, L., 2015. LITTOSIS : Analyse volumétrique et granulométrique du prisme sableux littoral du Languedoc-Roussillon. Rapport final. DREAL-LR / UPVD, 46 p.
- Raynal, O., Certain, R., Guérinel, B., 2013. Elaboration des éléments sédimentologiques de référence du PGSLR. Rapport de tâche C du Plan de Gestion des Sédiments du Languedoc-Roussillon. DREAL-LR / UPVD, 56 p.

Pertes de sédiment vers le large :
Quelles zones préférentielles par réanalyse des données existantes ?

1. INTRODUCTION

A une échelle de temps séculaire, l'avant-côte du littoral de la région Occitanie est soumise à une forte érosion. Les travaux menés par l'équipe LMUSCA du CEFREM ont souligné une perte de sédiment de plus de 56 millions de mètres cubes entre 1984 et 2009 pouvant représenter une perte de 20 à 80% du stock initial selon les secteurs (Brunel et al., 2012, 2014, Raynal et al., 2015). Ces pertes n'étant pas redistribuées sur la plage émergée ou à des cellules voisines, celle-ci doivent de toutes évidences être le résultat d'un transport sédimentaire dirigé vers le large.

L'objectif de cette étude est d'identifier les zones susceptibles d'être le siège de ces exportations vers le large au-delà de la profondeur de fermeture de la houle. Cet inventaire s'appuie à la fois sur une recherche bibliographique local et internationale et sur la réanalyse des bases de données régionales à la recherche de signe de ces pertes de sédiments. Il présente quelques pistes de recherches sur les sites les plus fournies en données.

Cette première partie a pour objectif de cibler les zones géographiques où des pertes de sédiment vers le large sont susceptibles de se produire. Cet inventaire se base sur les travaux scientifiques antérieurs et sur la réanalyse de l'ensemble des bases de données disponibles.

2. LES CAPS ROCHEUX

Les caps rocheux jouent fréquemment le rôle de barrage semi-imperméable pour la dérive littorale. Ils peuvent générer des courants d'arrachement dirigés vers le large et constituent alors une zone préférentielle de transport de sédiments vers le large (e.g. van Rijn, 2010). Sur le littoral d'Occitanie, on dénombre trois caps rocheux (cap Leucate, cap d'Agde et mont Saint Clair) et une terminaison de cellule sédimentaire contre une côte rocheuse (plage du Racou) (Fig. 1).

2.1. Le Cap Leucate

Le cap Leucate constitue la limite entre la cellule hydrosédimentaire du Roussillon et du Narbonnais (Aleman, 2013). La dérive littorale est dirigée du sud vers le nord. La barrière sédimentaire formée par le cap est semi-imperméable, une partie du sédiment parvient en effet à franchir le cap au travers d'un système de barres sédimentaires d'avant-côte (Aleman et al., 2015, Kulling et Sabatier, 2015a, 2015b). La morphologie du cap ne semble pas être propice à la génération de courants d'arrachement proprement dits (décrochement de la continuité du littoral et non une barrière franche). Toutefois, l'étude des bilans sédimentaires à l'échelle séculaire a souligné une érosion

Pertes de sédiment vers le large :
Quelles zones préférentielles par réanalyse des données existantes ?



Figure 1 : Photo satellite des trois principaux cap rocheux (Cap Leucate, Cap d'Agde et Mont Saint Clair) et de la terminaison sud de la cellule hydrosédimentaire du Roussillon (Plage du Racou) présentant la direction de transports connue et les pertes supposées.

sédimentaire au nord du cap dans la continuité de la dérive venant du sud (Brunel et al., 2012 ; Raynal et al., 2013) (Fig. 2). Ce déficit sédimentaire témoigne d'un transport issu de processus hydrodynamique. Il est alors probable qu'une partie du sédiment transitant du sud vers le nord soit exporté dans la continuité du cap vers des zones plus profondes et soit donc perdu pour le littoral (Fig. 2). Ces sédiments peuvent également venir nourrir le bourrelet sableux identifier à environ deux kilomètres de la côte dans le Narbonnais et discuté dans le point 3.1 ci-dessous. A l'heure actuelle, les données disponibles ne couvrent pas cette zone trop éloignée du littoral ou possèdent une résolution insuffisante pour observer des variations bathymétriques (e.g. données LiDAR). Un seul profil sismique passe un peu plus au nord de la zone identifiée (Archipro

Pertes de sédiment vers le large :
Quelles zones préférentielles par réanalyse des données existantes ?

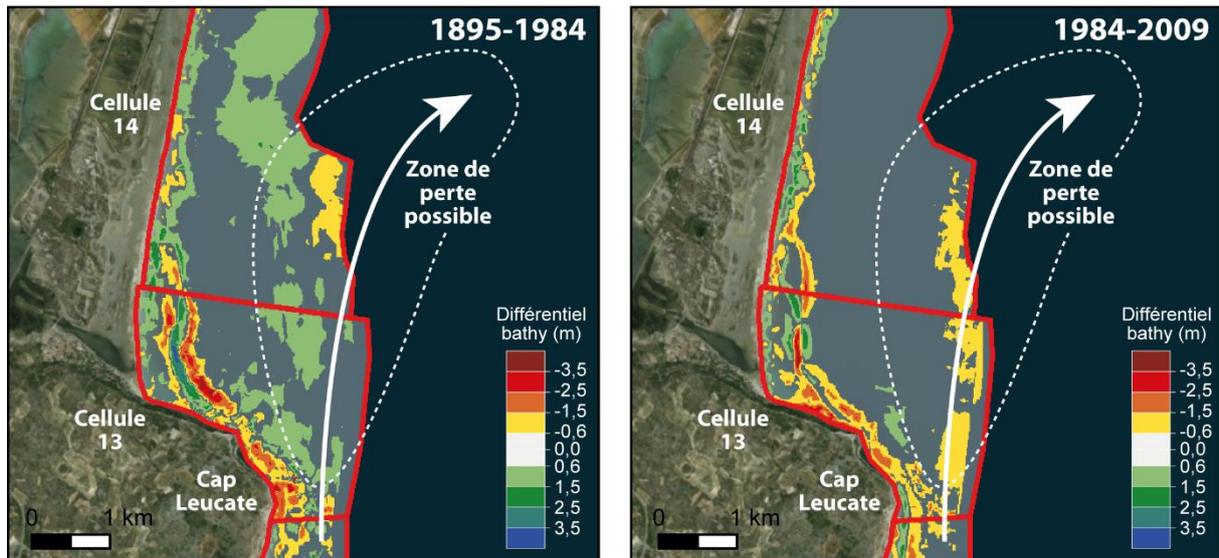


Figure 2 : Différentiel bathymétrique entre 1895-1984 et 1984-2009 au niveau du Cap Leucate.

43) mais la qualité médiocre ne permet pas d'identifier une zone de dépôt potentielle. Au niveau hydrodynamique, l'atlas hydrodynamique du littoral du Languedoc-Roussillon (MEEDDM et DREAL-LR, 2010) ne couvre malheureusement pas entièrement le Cap Leucate. L'échelle spatiale trop importante et les possibles effets de bord ne permettent pas de valider les données de l'atlas autour du cap.

2.2. Le Cap d'Agde

De la même manière que le cap Leucate, le cap d'Agde constitue une barrière au transit sédimentaire (Fig. 1). Le décrochement dans la continuité du littoral formée par ce relief volcanique marque la limite entre le compartiment hydrosédimentaire du Narbonnais au sud et celui du Lido de Sète au nord (Aleman, 2013). La dérive littorale est orientée nord-sud mais une petite inversion peut se créer entre le port du Grau d'Agde et celui du Cap d'Agde (L.N.H. et SOGREAH, 1984 ; Brunel, 2010). Il est probable qu'une partie des sédiments charriés par le courant de dérive littorale soit emportée au large du Cap d'Agde dans le sens de la dérive, c'est-à-dire au sud-ouest du cap (Fig. 1). Cette zone est caractérisée par l'affleurement du substratum complètement à nu (Fig. 3 et 4) et la formation d'un "chenal" au contact avec la couverture sédimentaire à l'ouest (Fig. 4). Ces caractéristiques paraissent témoigner de la présence de forts courants de fond, ce qui est confirmé par l'atlas hydrodynamique (MEEDDM et DREAL-LR, 2010). Lors de conditions de vent marin avec une houle de 4 m venant de l'est, un courant de fond orienté NE-SO se met en place et peut dépasser les 1 m.s^{-1} (Fig. 5). De telles vitesses doivent être capables de charrier des sables vers des zones profondes et qui seraient alors perdus pour l'avant-côte.

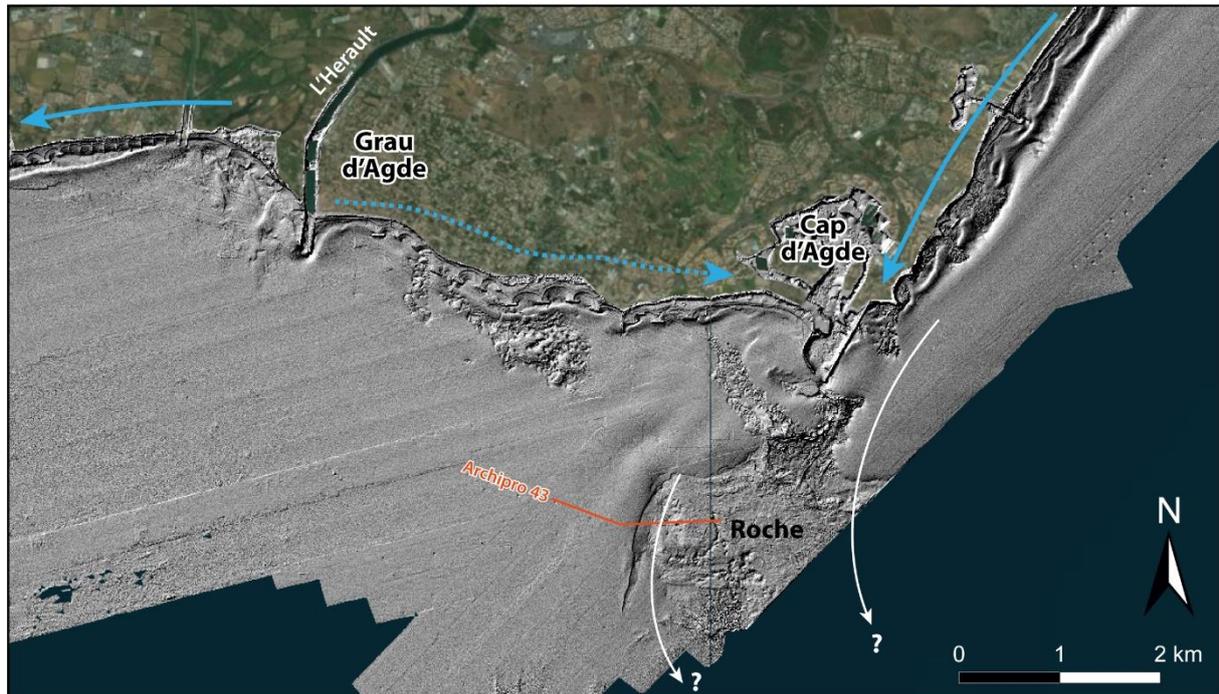


Figure 3 : Carte d'ombrage (LiDAR 2011) de l'avant-côte au niveau du Cap d'Agde. Les flèches bleues représentent la dérive littorale et les flèches blanches représentent le transport sédimentaire potentiel. Le trait rouge représente la position du profil sismique Archipro 43 présenté dans la figure 4.

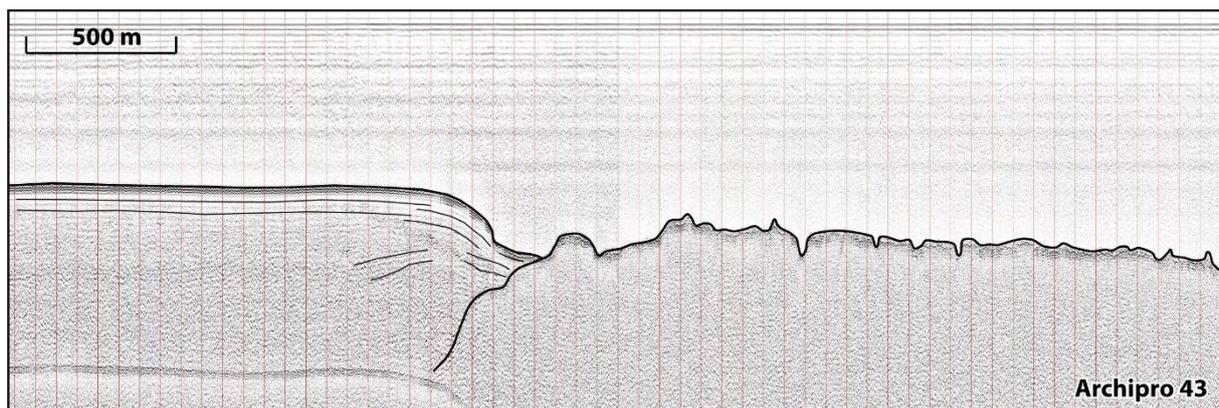


Figure 4 : Profils sismique (Archipro 43) montrant la présence d'un chenal au contact du substratum et du remplissage sédimentaire.

Pertes de sédiment vers le large :
Quelles zones préférentielles par réanalyse des données existantes ?

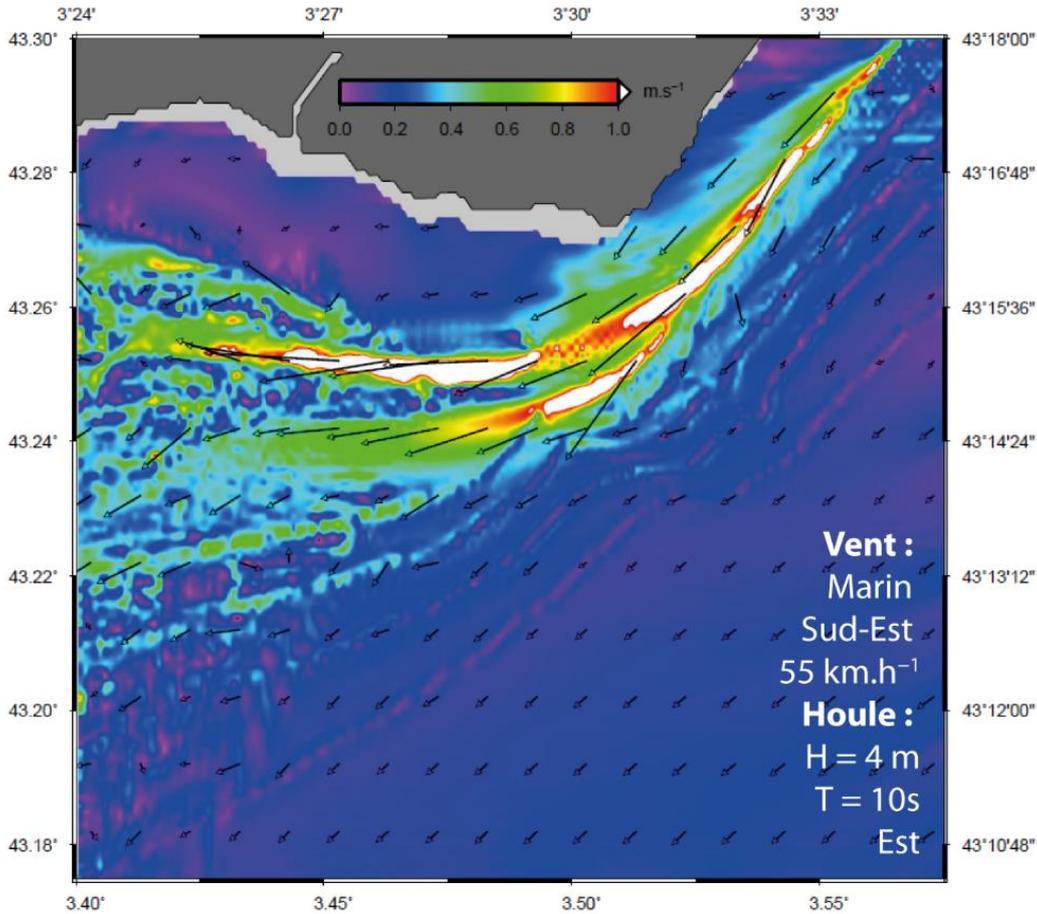


Figure 5 : Modélisation des courants de fond au niveau du Cap d'Agde lors d'une tempête avec des houles de 4 m provenant de l'est (extrait de l'Atlas Hydrodynamique du Languedoc-Roussillon).

2.3. Le Mont Saint Clair

Quelques kilomètres au nord du Cap d'Agde, le promontoire calcaire du Mont Saint Clair sépare le Lido de Sète de la plage de Frontignan. La particularité de cette limite de cellule est la présence de l'imposant port de Sète adossé au nord du mont et qui s'étend sur 6 km (Fig. 1). La dérive littorale provient d'un point de divergence à l'extrémité nord de Frontignan et est orientée vers le sud (Fig. 6). L'ensemble des plages de la commune sont en érosion et protégées par une batterie d'épi. Le transport sédimentaire peut atteindre plus de 600 milles mètres cubes par an (Kulling et Sabatier, 2015b). Ce volume ne parvient pas à franchir le port et le Mont Saint Clair comme le souligne l'érosion régulière de la plage de la Corniche en aval-dérive. La concomitance d'une érosion de l'avant-côte tant en amont qu'en aval-dérive de l'obstacle que constituent le mont et le port (Raynal et al., 2013) laisse supposer d'une perte de sédiment vers le large (Fig. 6).

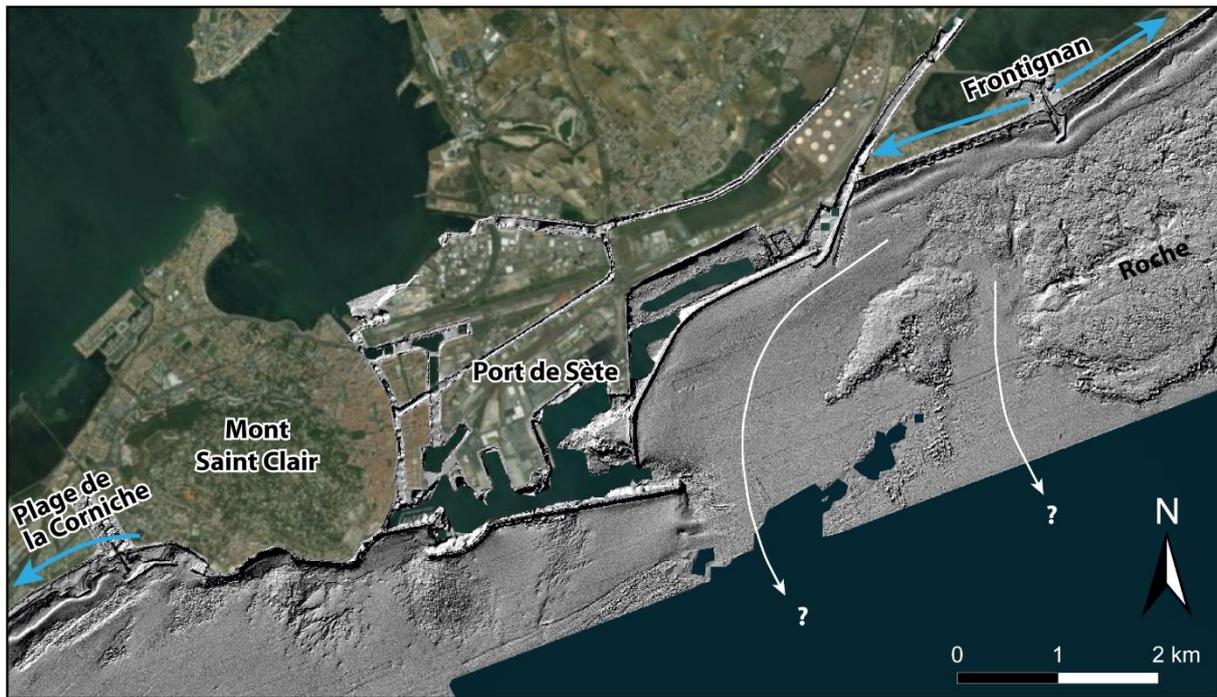


Figure 6 : Carte d'ombrage (LIDAR 2011) de l'avant-côte devant le Mont Saint Clair et le port de Sète. Les flèches bleues représentent la dérive littorale et les flèches blanches représentent le transport sédimentaire potentiel.

2.4. La plage du Racou

Enfin, la plage du Racou diffère quelque peu des précédents secteurs du fait qu'elle ne constitue pas un cap proprement dit mais la terminaison sud de la cellule hydrosédimentaire du Roussillon contre une côte rocheuse (Fig. 1). La dérive littorale est orientée vers le nord dans le Roussillon. Toutefois, une inversion de la dérive peut avoir lieu sur la plage du Racou en raison de la réfraction des houles par le promontoire rocheux du cap de Béar (Durand, 1999). Le transport dirigé vers le sud butte alors sur la côte rocheuse. Durand (1999) estime le volume de pertes vers le large supérieur à 2 600 m³/an environ (Fig. 7). Même si à l'échelle saisonnière la dynamique de la plage paraît rythmée par une rotation autour d'un point d'équilibre (comme une plage de poche), c'est l'érosion qui domine à une échelle de temps plus grande et ce même avant la construction du port d'Argelès-sur-Mer entre 1974 et 1976. Le trait de côte est en recul constant depuis 1895 et les bilans sédimentaires de l'avant côte sont négatif avec $-380\,000 \pm 6\,000$ m³ entre 1895 et 1984 et $-215\,000 \pm 23\,000$ m³ entre 1984 et 2009 (Raynal et al., 2013). Des profils sismiques Très Haute Résolution (THR) montrent que la plage du Racou est maintenue par un éperon rocheux immergé parallèle à la plage qui sert de butée de pied pour les sédiments. Au-delà, on observe un petit nappage de sable d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur sur des sédiments plus grossier qui pourrait correspondre aux exportations de sable vers le large (Fig. 8). Une crête

Pertes de sédiment vers le large :
 Quelles zones préférentielles par réanalyse des données existantes ?

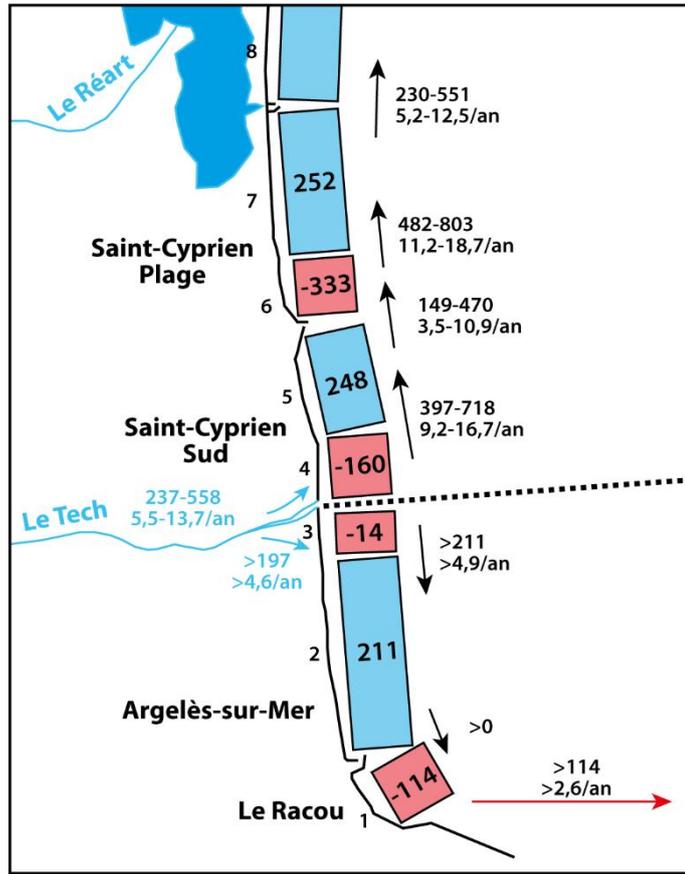


Figure 7 : Bilan sédimentaire des cellules hydrosédimentaire du sud du Roussillon et valeurs de la dérive littorale et des apports du Tech (en millier de mètres cubes, d'après Durand, 1999).

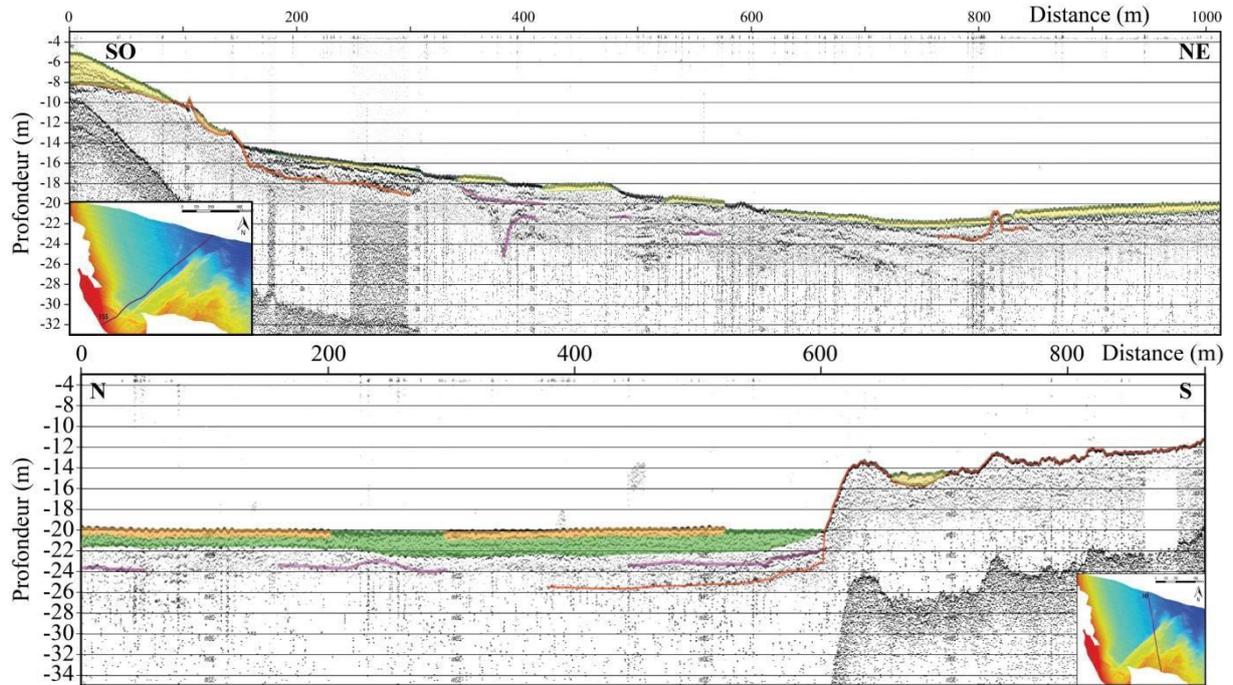


Figure 8 : Profils sismique THR de l'avant côte du Racou (Pennec, 2013).

Pertes de sédiment vers le large :
Quelles zones préférentielles par réanalyse des données existantes ?

rocheuse alignée N-S à l'extrémité sud du prisme littoral semble canaliser une partie des courants dirigés vers le large comme le souligne les marques d'érosion visible sur l'imagerie multifaisceau (Fig. 9, Pennec, 2013). De même, l'observation de dépressions d'érosive de forme sigmoïdale au pied du prisme sableux suggère l'expression de courants transversaux (Fig. 9, Pennec, 2013). L'ensemble de ces observations permettent d'avancer que la plage du Racou constitue une zone préférentielle d'exportation de sédiments vers le large pour la partie sud du compartiment Roussillonnais et notamment des apports que peut générer le Tech.

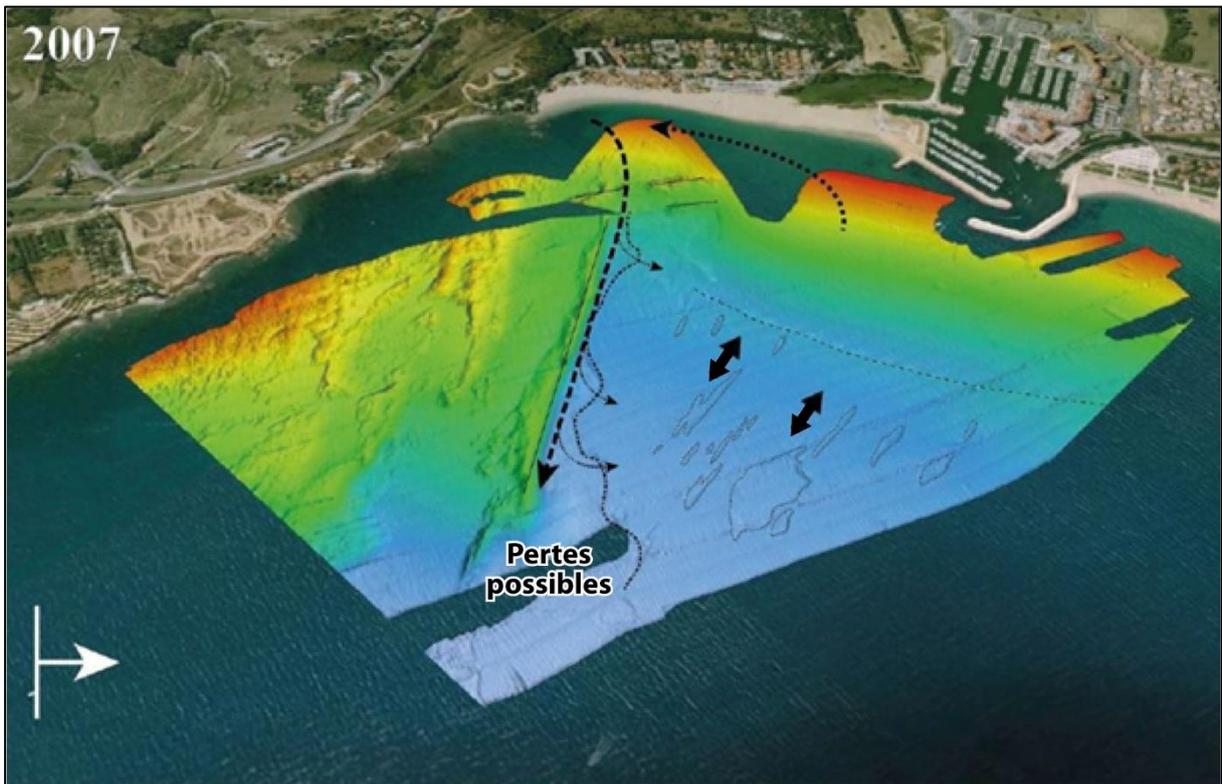


Figure 9 : MNT de l'avant-côte de la plage du Racou (sondeur multifaisceau 2007, Pennec, 2013).

3. LES CONVERGENCES DE DERIVE LITTORALE

La dérive littorale est le moteur de la redistribution sédimentaire le long du littoral. La rencontre de deux dérives opposées engendre à fortiori des courants d'arrachements dirigés vers le large pouvant transporter des sédiments au-delà du système littoral. En Occitanie, il existe deux secteurs principaux de convergence de dérives littorales opposées : les plages du Narbonnais entre Port-la-Nouvelle et Narbonne Plage et le Golfe d'Agdes Mortes au niveau du Grau du Roi.

3.1. Le Narbonnais

Le compartiment hydrosédimentaire du Narbonnais s'étend du Cap Leucate au sud jusqu'au Cap d'Agde au nord. La dérive littorale est orientée du sud vers le nord entre le Cap Leucate et le port de Port-la-Nouvelle alors qu'elle est du nord vers le sud entre le Cap d'Agde et Port-la-Nouvelle (Fig. 10). Le potentiel de transport longshore annuel est en moyenne de 300 K m³/an de part et d'autre du point de convergence qui se déplace entre Port-la-Nouvelle et Narbonne Plage (Fig. 11, Kulling et Sabatier, 2015a). Malgré cet apport massif, l'étude REVOLSED a montré qu'une grande partie de ce

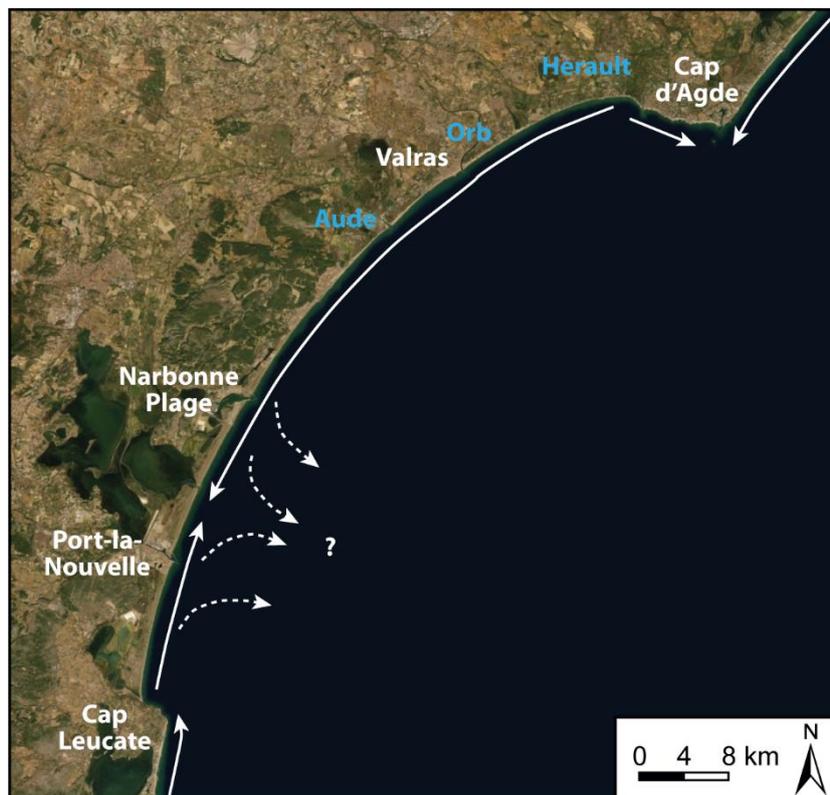


Figure 10 : Image satellite du compartiment hydrosédimentaire du Narbonnais. Les flèches blanches symbolisent la dérive littorale et les possibles pertes de sédiments vers le large (pointillés).

Pertes de sédiment vers le large :
 Quelles zones préférentielles par réanalyse des données existantes ?

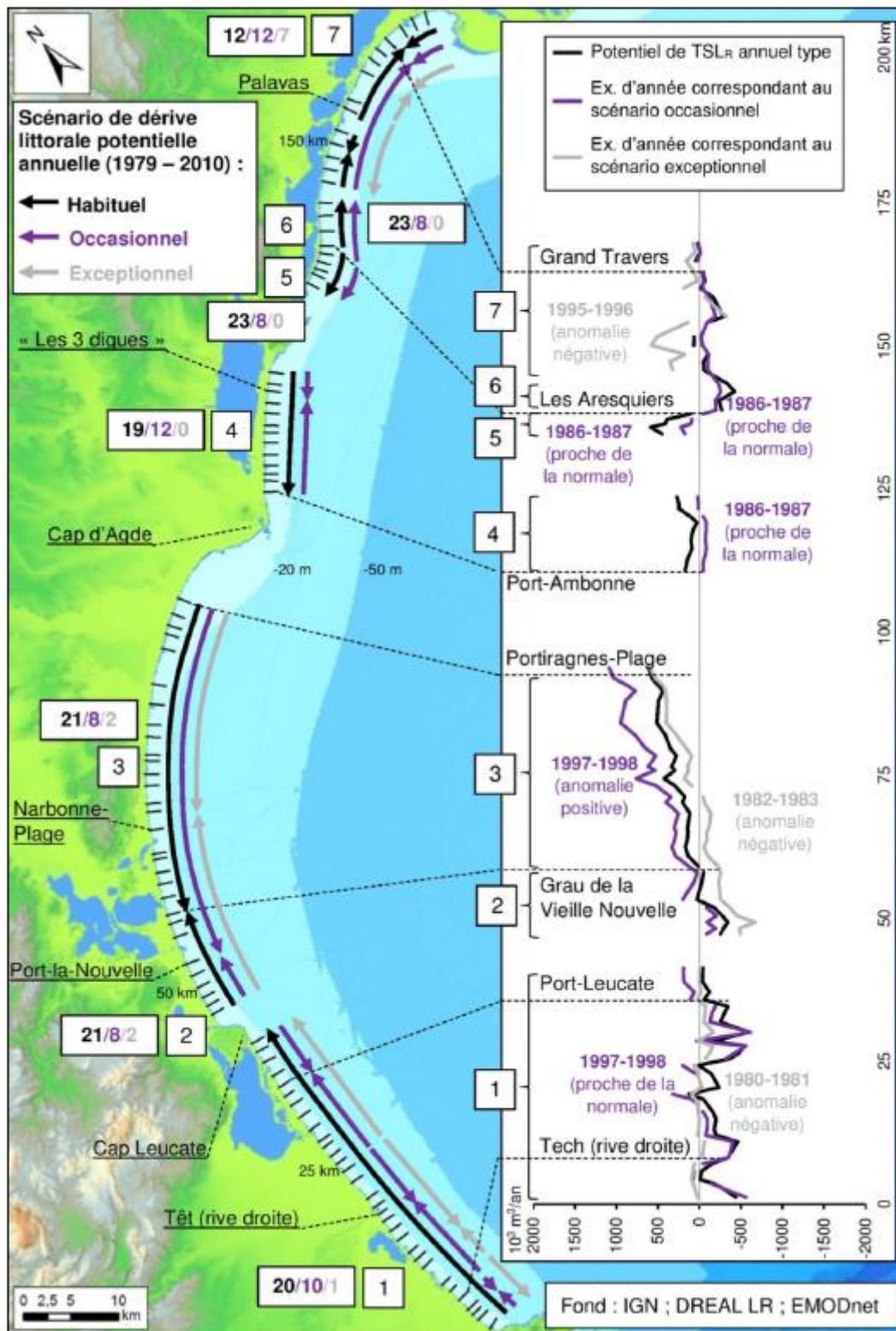


Figure 11 : Scénarios de dérive littorale potentielle annuelle de la plage du Racou au Golfe d'Aiguas Mortes (Kulling, 2017).

Pertes de sédiment vers le large :
Quelles zones préférentielles par réanalyse des données existantes ?

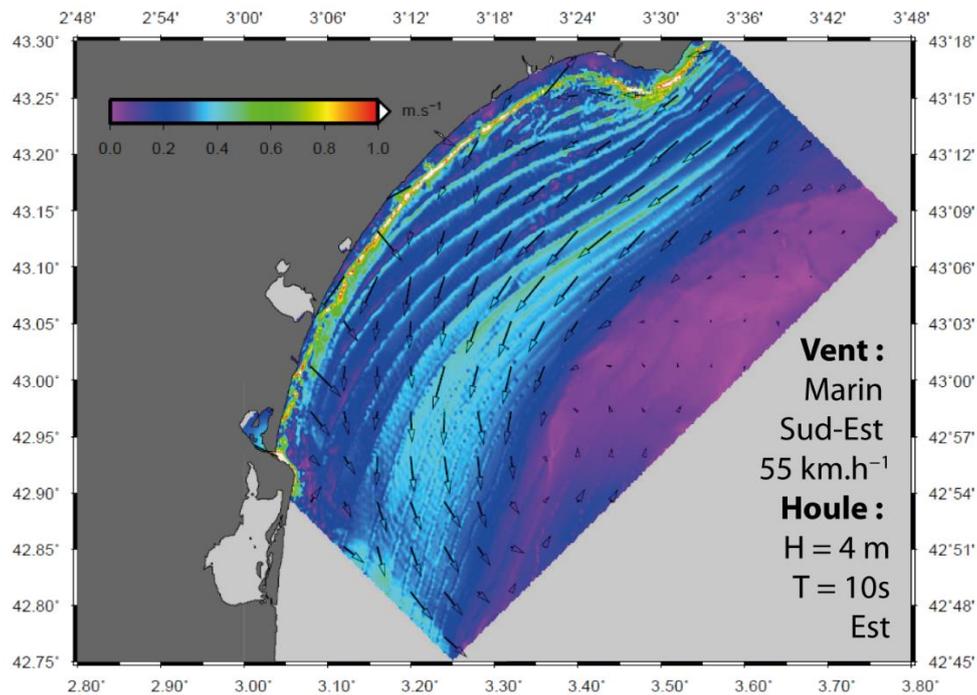


Figure 12 : Modélisation des courants de fond dans le Narbonnais lors d'une tempête avec des houles de 4 m provenant de l'est (extrait de l'Atlas Hydrodynamique du Languedoc-Roussillon). Les courants de fond sont dirigés vers le large au point de convergence des dérives littorales au niveau de Port-la-Nouvelle.

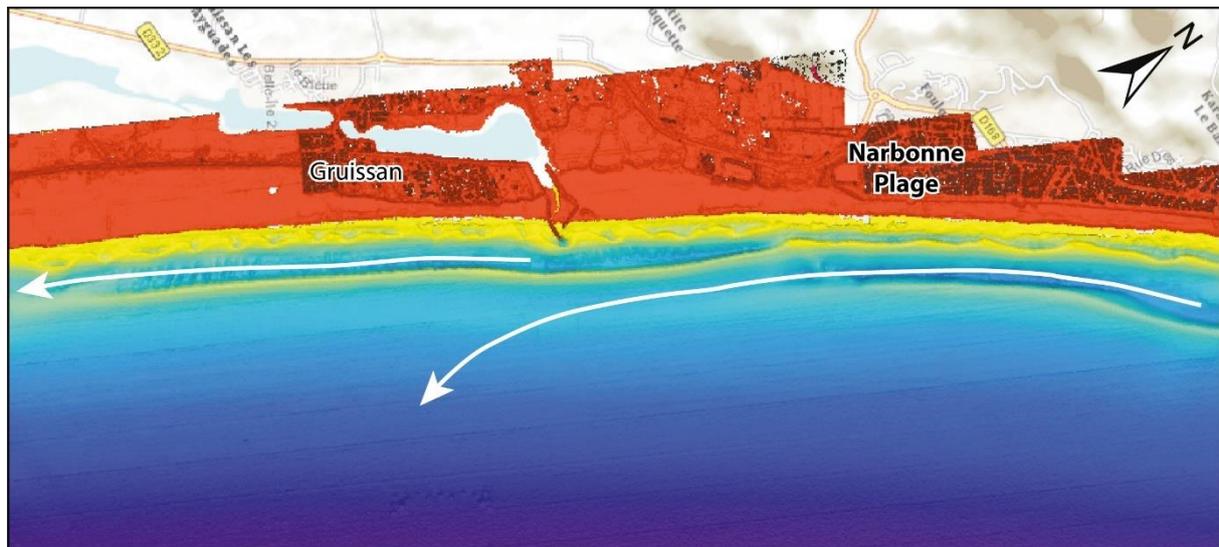


Figure 13 : MNT LiDAR 2009 au niveau de Gruissan montrant le système de barres d'avant-côte légèrement obliques qui draine le courant de dérive littorale vers le large (flèches blanches)

littoral bascule d'une situation d'accrétion-progradation entre 1895 et 1984 à des situations de stabilité ou d'érosion-rétrogradation entre 1984 et 2009 (Brunel et al., 2014). Les sédiments charriés par la dérive n'étant stockés ni sur la plage, ni sur l'avant-côte, ces derniers doivent être transportés vers le large via des courants d'arrachement générées par la convergence des dérives littorales (Fig. 12) et orientés par le système de barres obliques à la côte (Fig. 13, Aleman et al., 2017). Le profil des plages dissipatives du Narbonnais présente une rupture de pente entre 10 et 15 m de profondeur qui forme un "bombé" dirigé vers le large (Aleman et al., 2015) bien visible sur la carte des pentes du Golfe du Lion (Fig. 14, Satra et al., 2003). Les profils sismiques réalisés dans la zone (LITTOSIS et ARCHIPRO) montrent que ce "bombé" est constitué de réflecteurs progradant vers le large (Fig. 15). Cette morphologie singulière peut correspondre à l'accumulation des sédiments exportés depuis l'avant-côte en direction du large.

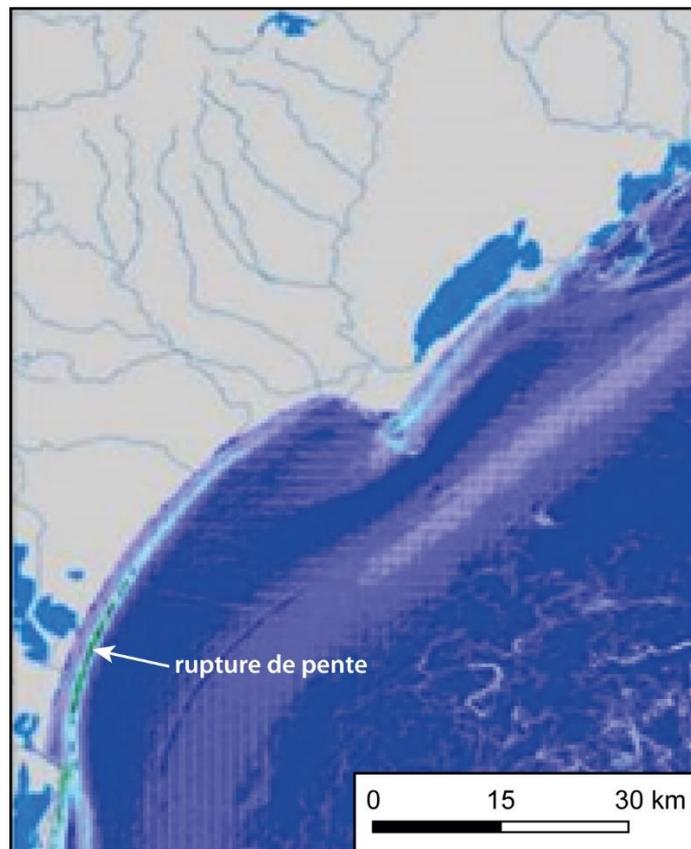


Figure 14 : Carte des pentes du Golfe du Lion (Satra et al., 2003). Le liseré bleu sur l'avant-côte du Narbonnais représente la rupture de pente visible sur les profils de plage.

Pertes de sédiment vers le large :
Quelles zones préférentielles par réanalyse des données existantes ?

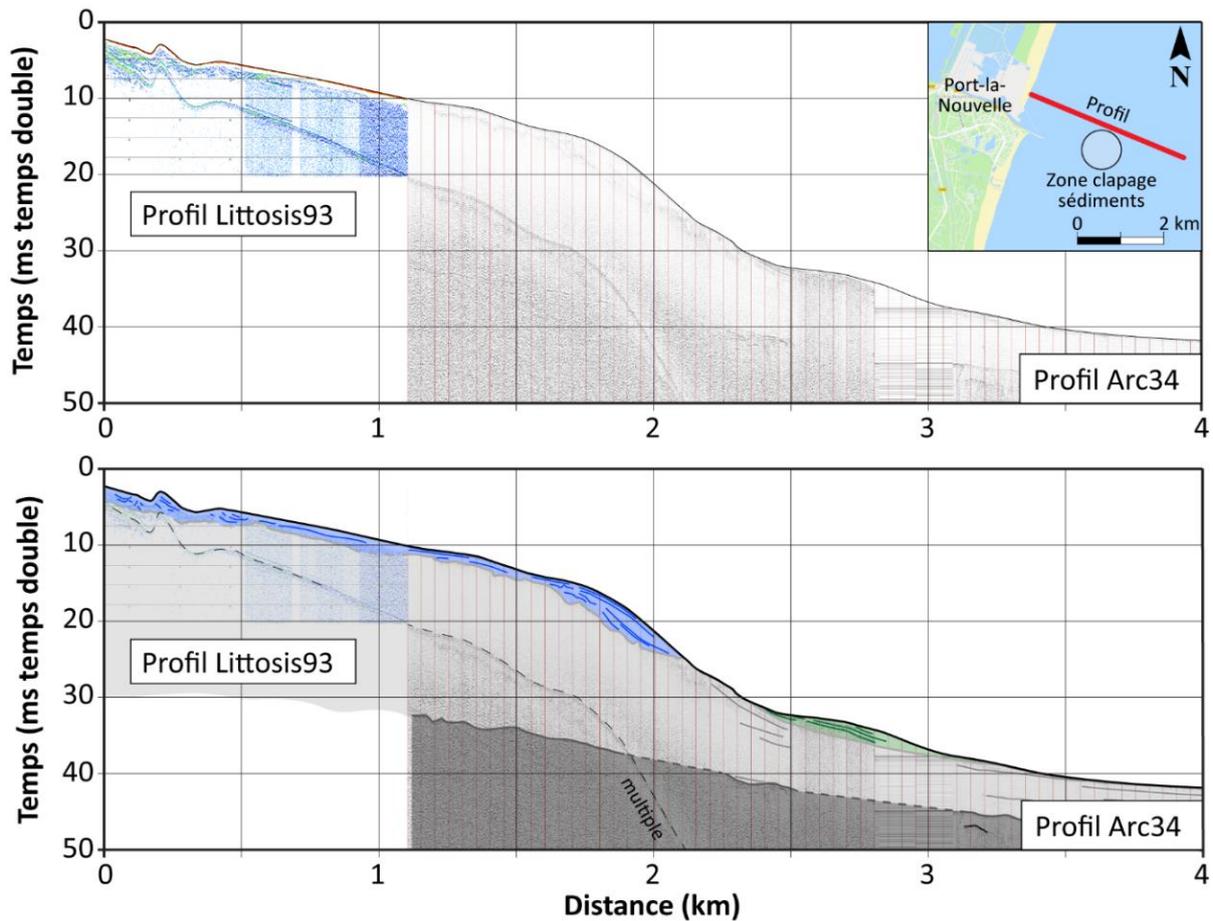


Figure 15 : Profil sismique (Littosis 93 et Archipro 34) au nord de Port-la-Nouvelle montrant des réflecteurs pentés vers le large dans le bombé du profil. L'accumulation en vert sur le profil correspond aux clapages de sédiments dragués dans le port.

3.2. Le Golfe d'Aigues Mortes

Au nord du Golfe du Lion, le Golfe d'Aigues Mortes abrite la convergence de deux dérives littorales opposées au sud-est de Palavas et à l'est de La Grande-Motte (Fig. 11 et 16, Kulling, 2017). De la même manière que dans le Narbonnais, cette convergence de dérives associée à une érosion du littoral (Brunel et al., 2014, Raynal et al., 2018) témoigne d'une perte de sédiments vers le large. Ces pertes ne sont pas compensées par les apports venant de la plage de l'Espiguette en raison de la présence d'une digue d'arrêt des sables pour éviter l'ensablement du port du Grau du Roi (Fig. 16). Les données bathymétriques et sismiques sont malheureusement insuffisantes ou de médiocre qualité pour pouvoir mieux identifier de possible accumulation dans le centre du golfe. Ce secteur est abordé plus en détail au travers de l'étude du rechargement massif de 2008 dans l'Axe 3 de cette étude.

Pertes de sédiment vers le large :
Quelles zones préférentielles par réanalyse des données existantes ?

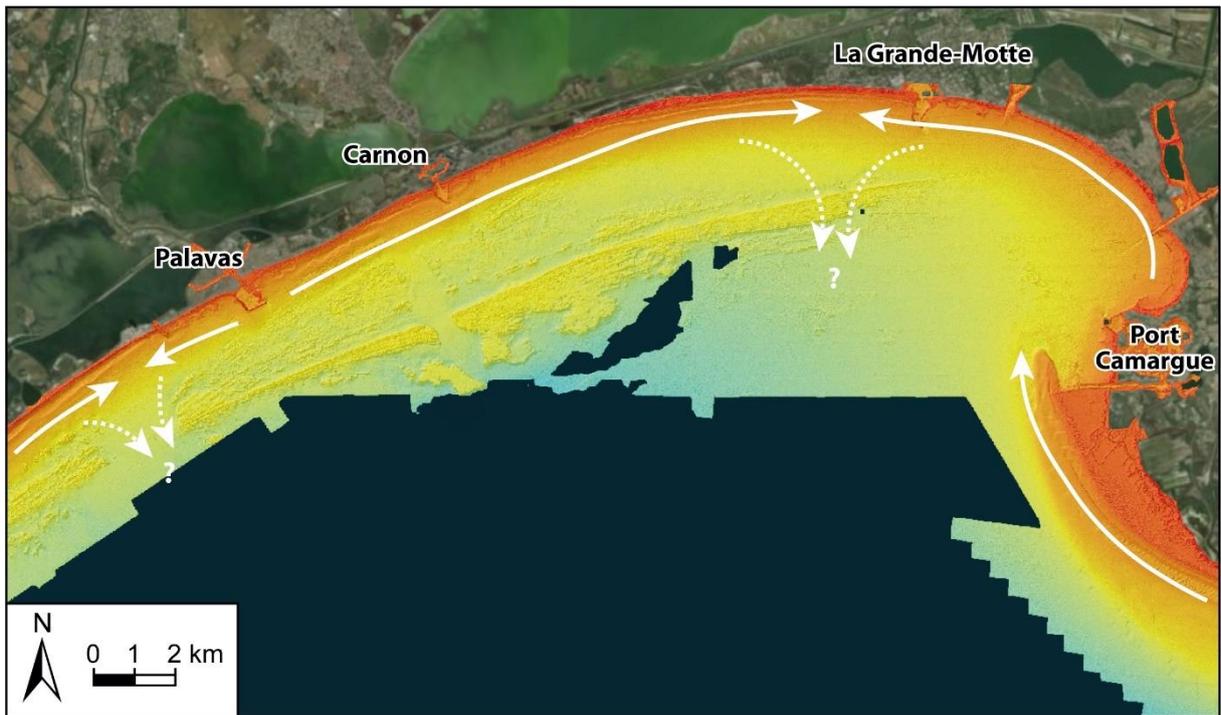


Figure 16 : MNT LiDAR 2011 du Golfe d'Aigues Mortes. La digue d'arrêt des sables et la flèche sous-marine de l'Espiguette sont bien visibles à l'ouest. Les deux zones de convergence de dérive doivent permettre d'exporter les sédiments vers le large.

4. PERSPECTIVE DE RECHERCHE POUR L'ETUDE DES PERTES SEDIMENTAIRES VERS LE LARGE

Ce travail de recherche des sites potentiels d'exportation de sédiments vers le large par la réanalyse des bases de données existantes souligne la résolution verticale souvent insuffisante pour détecter les zones de dépôts. En effet, les 56 millions de mètres cubes perdus au cours des 25 dernières années ne représenteraient qu'une épaisseur de 14 cm si on l'étalait sur une bande de 2 km de large sur les 200 km de côte que compte le Golfe du Lion, la surface de dépôt étant certainement largement plus grande. La plupart des données bathymétriques archivées ont une résolution insuffisante pour détecter de si faibles variations d'altitude (e.g. résolution de ± 42 cm des différentiels LiDAR). Même si les zones d'exportations semblent toutefois être plus localisées et pourraient dès lors constituer des épaisseurs de dépôts plus élevées, les levés bathymétriques n'ont généralement pas une extension suffisante vers le large pour couvrir ces zones. La donnée sismique apporte quant à elle de nombreuses informations sur l'architecture des dépôts mais, mis à part dans le Narbonnais, la superposition parallèles des dépôts ne permet pas de statuer sur leur origine. Enfin, aucun modèle de transport n'a été testé pour expliquer les pertes au large sur l'avant-côte. L'atlas hydrodynamique apporte quelques informations mais sa résolution est insuffisante et il ne décrit pas le transport sédimentaire.

De nouvelles campagnes de terrains seront donc nécessaires pour localiser avec précision les zones de transport vers le large et en comprendre les mécanismes. La résolution actuelle des techniques de levés bathymétriques étant encore insuffisante pour détecter de faibles dépôts de sédiments, l'utilisation d'altimètre ALTUS in situ permettrait d'identifier les très petites variations du fond. Cet instrument développé par l'IFREMER et la société NKE-Micrel permet en effet d'enregistrer des variations altimétriques du fond avec une précision millimétrique tout en enregistrant les caractéristiques de la houle. Le couplage avec des courantomètres (Acoustic Doppler Current Profiler ou Acoustic Doppler Velocimeter) et/ou de capteur de turbidité et de matière en suspension (Optical Backscatter Sensor) permettrait alors d'obtenir des valeurs et des directions de transport. Un tel déploiement demande bien évidemment une logistique relativement lourde et une mutualisation de moyens. Les secteurs qui pourraient être étudiés devront être déterminés avec plus de précision que dans l'état actuel des connaissances.

Dans ce cadre, il sera primordial d'exploiter à fond les bases de données disponibles. En effet, ce travail s'est basé sur les données disponibles et la bibliographie sans réaliser de nouvelles analyses (excepté le rechargement du Golfe d'Aigues Mortes et les bilans sédimentaires 2011-2014/15). Ors, de nombreuses données restent encore à exploiter comme par exemple les nombreuses topo-bathymétries dans le secteur du Racou (différentiels et calculs de volume à réaliser) qui apporteront de nouveaux éléments de connaissance avant une possible campagne de mesure in-situ.

5. CONCLUSION GENERALE

En 2012, Brunel et al. mettaient en évidence une perte de sédiment sur l'avant-côte de 56 millions de mètres cubes au cours des vingt-cinq dernières années. Les nombreuses études qui suivirent ont confirmé le caractère érosif d'une grande partie du littoral de la région Occitanie. Toutefois, la question du devenir de ces sédiments restait sans réponse. La présente étude a permis d'apporter des éléments de réponse par la réanalyse de l'ensemble des jeux de données disponibles connues et de la bibliographie sur la zone d'étude.

Ce travail a mis en avant deux cadres morphodynamiques préférentiels pour l'exportation de sédiments vers le large. D'une part, les caps rocheux (Cap Leucate, Cap d'Agde, Mont Saint Clair et plage du Racou) qui par leur action de barrage face à la dérive littorale semble générer des courants de fonds dirigés vers le large. D'autre part, les zones de convergence de dérive littorale (Narbonnais et Golfe d'Aigues Mortes) génèrent également des courants d'arrachement susceptible de transporter les sables au-delà de la profondeur de fermeture de la houle.

6. BIBLIOGRAPHIE

- Aleman, N., 2013.** Morphodynamique à l'échelle régionale d'une avant-côte microtidale à barres sédimentaires : le cas du Languedoc-Roussillon à l'aide de la technologie LiDAR. Thèse, Université de Perpignan Via Domitia, 251 p.
- Aleman, N., Robin, N., Certain, R., Anthony, E.J., Barusseau J.-P., 2015.** Long-shore variability of beach states and bar types in a microtidal, storm-influenced, low-energy environment. *Geomorphology* 241, 175-191.
- Aleman, N., Certain, R., Robin, N., Barusseau J.-P., 2017.** Morphodynamics of slightly oblique nearshore bars and their relationship with the cycle of net offshore migration. *Marine Geology* 392, 41-52.
- Brunel, C., 2010.** Evolution séculaire de l'avant-côte de la méditerranée française, impact de l'élévation du niveau de la mer et des tempêtes. Thèse, Université de Provence Aix-Marseille I, 470 p.
- Brunel, C., Certain, R., Robin, N., Aleman, N., Raynal, O., Barusseau, J.-P., Sabatier, F., 2012.** Atlas de l'évolution des fonds et des budgets sédimentaires séculaires de l'avant-côte du Languedoc-Roussillon (1895/1984/2009). DREAL-LR / UPVD, 27 p.
- Brunel, C., Certain, R., Robin, N., Aleman, N., Raynal, O., avec la collaboration de Guerinel, B., Dufresne, P., 2014.** REVOLSED : « Relation entre l'évolution du trait de côte et le bilan sédimentaire de l'avant-côte du Languedoc-Roussillon ». Rapport final. DREAL-LR / UPVD, 68 p.
- Durand, P., 1999.** L'évolution des plages de l'Ouest du Golfe du Lion au XX^{ème} siècle : cinématique du trait de côte, dynamique sédimentaire, analyse prévisionnelle. Vol.1. Thèse, Université Lumière Lyon 2, 478 p.
- Kulling, B., 2017.** Déformation du rivage et dérive littorale des plages du Golfe du Lion. Thèse, Université d'Aix-Marseille, 281 p.
- Kulling, B., Sabatier, F., 2015a.** Modélisation du Potentiel de transport sédimentaire longitudinal résultant annuel de l'avant-côte du Languedoc-Roussillon. DREAL-LR / CEREGE, 36 p.

Kulling, B., Sabatier, F., 2015b. Atlas du Potentiel de transport sédimentaire longitudinal résultant annuel de l'avant-côte du Languedoc-Roussillon. DREAL-LR / CEREGE, 18 p.

Laboratoire National d'Hydraulique et SOGREAH, 1984. Catalogue sédimentologique des côtes françaises. Côtes de la Méditerranée, de la frontière espagnole à la frontière italienne. Secrétariat d'Etat auprès du Ministre des Transports, chargé de la Mer. Ed. Eyrolles, 300 p.

MEEDDM et DREAL-LR, 2010. Atlas hydrodynamique du littoral du Languedoc-Roussillon. DVD.

Pennec, C., 2013. Rôle du contact géologique et de l'hydrodynamique sur la morphodynamique de l'avant-côte : exemple de la plage du Racou. Mémoire de master 2. Université de Perpignan Via Domitia, 33 p.

Raynal, O., Certain, R., Guérinel, B., 2013. Elaboration des éléments sédimentologiques de référence du PGSLR. Rapport de tâche C du Plan de Gestion des Sédiments du Languedoc-Roussillon. DREAL-LR / UPVD, 56 p.

Raynal, O., Certain, R., Brunel, C., Aleman, N., Robin, N., avec la collaboration de **Guérinel, B., Montel, L., 2015.** LITTOSIS - Analyse volumétrique et granulométrique du prisme sableux littoral du Languedoc-Roussillon. Rapport final LITTOSIS, 46 p.

Raynal, O., Certain, R., Robin, N., Aleman, N., avec la collaboration de **Montel, L., Dufresne, P., 2018.** REVOLSTOCK : Prospective de la relation entre l'évolution du trait de côte et le stock sableux de l'avant-côte d'Occitanie. Rapport final. DREAL-Oc / UPVD, 19 p.

Satra, C., Duval, F., Le Drezen, E., Berné, S., 2003. Le SIG du Golfe du Lion au département des Géosciences Marines : de l'acquisition des données à la synthèse géologique. Rapport IFREMER, 45 p.

van Rijn, L.C., 2010. Coastal erosion control based on the concept of sediment cells. Conscience, Deltares, The Netherlands, 80 p.



LMUSCA
CEFREM – UPVD
52 avenue Paul Alduy
66860 Perpignan Cedex 9
Tél : 04 68 66 20 57



DREAL-Occitanie
Division Risques Naturels et Littoral
520 all Henri II de Montmorency
34000 Montpellier