

Suivi du littoral ouest-Hérault

Rapport initial de synthèse bibliographique

Accord-cadre d'études EID - Conseil Départemental de l'Hérault



Décembre 2020



CONTACTS

Hugues HEURTEFEUX
hheurtefeux@eid-med.org
04 67 63 72 99

Philippe RICHARD
prichard@eid-med.org
04 30 63 67 95

Mathieu GERVAIS
mgervais@eid-med.org
04 30 63 67 80

EID Méditerranée

Pôle Littoral

165 avenue Paul Rimbaud
34 184 Montpellier Cedex 4
www.eid-med.org

Le pôle littoral de l'EID Méditerranée réalise le suivi morphologique de nombreux sites littoraux sur toute la Méditerranée française depuis plus de 20 ans. Il s'agit de monitoring des plages avec des moyens terrestres et nautiques permettant de poser des diagnostics qualitatifs et quantitatifs, de structurer des bases de données topo-bathymétriques et de les mettre en relation avec les événements météo-marins pour comprendre le fonctionnement et les interactions entre la dune, la plage et les petits fonds marins.

Les connaissances scientifiques et techniques accumulées sur cet espace constituent aujourd'hui un capital mis à disposition des collectivités territoriales et des établissements publics. Ainsi nous concevons et proposons aux collectivités des actions de protection et de réhabilitation des plages et des dunes, ainsi que des modalités de gestion de la fréquentation adaptées à ces sites

Le rapport de synthèse bibliographique constitue le socle de connaissance du projet partagé ici aux gestionnaires et au plus grand nombre. L'objectif est d'apporter le recul nécessaire quant à l'évolution contemporaine du secteur littoral ouest héraultais, tant du point de vue des processus naturels de transport sédimentaire que de l'action anthropique sur le système plage/dune.

Sommaire

PREAMBULE.....	5
RESULTATS SUR LE CONTEXTE DU SITE D'ETUDE (GEOLOGIE, SEDIMENTS, REGIMES METEO-MARINS)	7
Géographie actuelle et hydrographie	7
Géologie : regard sur l'évolution Holocène du cordon littoral	11
Origine et classification du matériel constitutif des plages (prisme littoral).....	15
Les grands fleuves	18
Les variations de niveau d'eau.....	22
Climatologie des vents.....	24
Climatologie des houles.....	25
Recensement des tempêtes depuis 1979.....	31
Bilan des derniers hivers.....	33
RESULTATS GENERAUX SUR LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DES PLAGES DE L'OUEST HERAULT.....	34
Les conditions de dérive sédimentaire sur la zone ouest-Hérault	34
L'interférence lié aux aménagements sur la dérive littorale et l'équilibre du prisme sableux (principes théoriques)	39
Historique des aménagements et interventions humaines	41
Les différents découpages connus des cellules littorales	60
RESULTATS QUANTITATIFS SUR L'EROSION ET L'ACCRETION	63
Evolution du trait de côte depuis 1895	63
Exemples illustrés des mouvements du trait de côte sur certains secteurs particuliers entre 1935 et 2019.....	66
Evolution des volumes sur l'avant-côte et la plage	79
Evolution de la topo-bathymétrie de la plage du Casino à Valras, des Orpellières, et de Portiragnes-Vias (ouest) entre 2015 et 2018	83



Données de volumes sur les profils de plage suivis par l'EID depuis 2002 entre les embouchures de l'Orb et de l'Hérault	93
Evolution de la plage des Orpellières entre 2011 et 2019	100
CONCLUSION GENERALE.....	101
BIBLIOGRAPHIE.....	103

Préambule

Les références bibliographiques clefs disponibles sur le littoral de l'ouest-Hérault sont synthétisées dans ce rapport, où toute la connaissance essentielle du fonctionnement morphodynamique (l'évolution des formes du système plage/dune) et hydro-sédimentaire (les mouvements sableux) des plages est ici vulgarisée pour être compréhensible de tous. De nombreuses cartes et ré-analyses nouvelles ont été réalisées pour compléter les données existantes et apporter une vision claire, adaptée au périmètre géographique concerné, en particulier sur les mouvements historiques du trait de côte.

Les références clefs exploitées sont les suivantes :

- La thèse de Paul Durand, de 1999, pour la description de la dynamique des plages entre Narbonne et Agde, et une vision long-terme intéressante sur la dynamique sédimentaire quaternaire (géologie). Des éléments sur la dynamique quaternaire du secteur de Thau sont pris de la thèse de Pierre Ferrer de 2010.
- Les catalogues sédimentologiques des côtes françaises pour la description du régime des fleuves et l'origine des sédiments (complétés par la version mise à jour de ce catalogue {à paraître} et des nouvelles données sur les crues)
- Les conditions de dérive sont ré-interprétées d'après diverses références anciennes, mais actualisées grâce à la thèse de Benjamin Kulling de 2017 et son travail de modélisation.
- Les "bilans tempêtes" et les rapports que réalise l'EID annuellement pour le compte du CD 34, qui fournissent l'analyse des conditions de houles et les principaux épisodes de tempêtes qui ont touché le secteur ces 40 dernières années (EID-Méditerranée, rapport CD-34 2020).
- Une base de données de traits de côte, fruit d'un travail en 2 étapes : un premier projet sur les dates et données très anciennes de l'université d'Aix-en-Provence (relevés sur des photos aériennes, mais remontant jusqu'aux cartes d'état-major de 1895 ; travaux du chercheur François SABATIER, dans Sabatier et Hanot, 2012, données reprises récemment dans le Plan de Gestion des Sédiments du CEFREM, Raynal et al., 2013) ; puis un second projet de l'EID qui travaille depuis quelques années sur un suivi à haute fréquence du trait de côte à partir d'images satellites Pléiades (ex. : rapport produit en 2018 pour le compte du CD 34). Tous les traits de côte obtenus dans ces 2 projets sont ici réutilisés et les mouvements du rivage sur l'ouest Hérault sont représentés sur de nouvelles cartes ;
- les bilans des évolutions historiques des volumes de sable seront évalués grâce à l'atlas des bilans sédimentaires de la DREAL, et des études du CEFREM (Brunel et al., 2012, ainsi que des études ultérieures sur l'analyse des topo-bathymétries aéroportées LiDAR ; LiDAR = télémétrie laser de mesure du relief, ici capture réalisée depuis un avion relié à des bornes de positionnement DGPS). Nous confronterons en parallèle ces résultats avec les derniers levés de 2018 de l'EID sur une large partie de la zone. Le document présentera de nombreuses cartes, schémas et tableaux de données qui apporteront une vision synoptique des phénomènes hydro-sédimentaires de Vendres à Agde.
- Enfin, les dernières études clefs réalisés par divers bureaux d'études pour l'aménagement de certaines portions du littoral ouest-Hérault (ex. : étude Artelia/EID de maîtrise d'oeuvre du littoral de Vias et de Valras,...).

Pour compléter ces éléments, l'expérience de terrain des agents de l'EID, ainsi que leur photothèque (70 000 photos terrestres et aériennes, depuis le début des années 80) seront utiles pour compléter, qualitativement, ce diagnostic préalable. Enfin, le rapport s'appuiera sur les données les plus récentes pour localiser et décrire les zones de faiblesses identifiées, qu'elles soient d'ordre morphologique (dimensions, formes de dégradation dunaire, déficits sédimentaires), biologique (atteintes au couvert végétal dunaire) ou anthropique (fréquentation non maîtrisée, aménagements "sauvages").

Les données des houlographes de Sète et de Leucate sont utilisées pour faire une nouvelle description des climats de houle et des tempêtes sur la zone. Une synthèse des principales données de houles et de courants sera faite, ainsi que les particularités locales de la circulation hydro-sédimentaire liées à certains ouvrages (cf. grau d'Agde par exemple), qui pourra se baser sur des études ou des analyses de données morphométriques (ex. : images aériennes montrant le trait de côte).

L'action anthropique constitue le fil conducteur de ce rapport. En particulier, le travail aborde les aménagements réalisés ces quinze dernières années, qui ont eu une répercussion forte sur la dynamique naturelle du système plage/dune. Ces ouvrages sont recensés, décrits et analysés. D'après les données et observations faites, les avantages/inconvénients sont discutés par rapport aux objectifs de protection du littoral (parfois en comparaison avec d'autres modes de gestion existants).

Résultats sur le contexte du site d'étude (géologie, sédiments, régimes météo-marins)

Géographie actuelle et hydrographie

La zone d'étude est située au cœur de l'ancienne région Languedoc-Roussillon, dans l'actuelle Occitanie, sur la partie centrale-ouest du Golfe du Lion (Figure 1). Elle correspond au littoral de l'Ouest-Hérault entre l'embouchure de l'Aude (limite départementale) et la limite communale de Marseillan, formant un linéaire côtier d'environ 29 km. Les agglomérations concernées sont celles de la Domitienne (avec la commune de Vendres), de la communauté d'agglomération de Béziers méditerranée (CABM, avec les communes de Valras et Sérignan) et de la communauté d'agglomération Hérault Méditerranée (CAHM, incluant les communes de Portiragnes, Vias et Agde).

Trois fleuves côtiers importants se jettent en mer dans ce secteur : l'Aude, à l'extrémité ouest du site ; l'Orb sur son tiers ouest ; et enfin l'Hérault sur son tiers est. Deux petits cours d'eau se jettent également dans la mer sur le secteur de Vias : le Libron et l'Ardaillon (ou *Ardaillou*). Leurs embouchures, canalisées par des digues, peuvent servir de mise à l'eau pour les bateaux et sont reliés hydrauliquement au canal du Midi qui traverse d'est en ouest la zone rétro-littorale.

L'orientation du trait de côte est très variable sur le site, avec une configuration de grande baie sur la partie ouest du cap d'Agde, dont la partie la plus rentrante se trouve au niveau de la Tamarissière, à l'ouest de l'embouchure de l'Hérault. Cette zone concave du trait de côte correspond également à celle où les fonds de l'avant-côte sont les plus plats (cf. Figure 1).



Figure 1 : site d'étude et ses limites représentés par des traits transversaux pointillés rouges

On note sur le secteur la présence de plusieurs zones humides, qui possèdent des communications avec la mer, appelés graus, en cas de tempêtes d'ampleurs fortes à très exceptionnelle :

- le grand complexe des étangs de Vendres, relié au port du Chichoulet (grau de Vendres), port fluvial sur l'Aude ;
- la zone humide du delta de l'Orb, avec le site naturel des Orpellières (plaine de débordement de l'Orb), communiquant avec la mer, lors des épisodes de tempêtes et crues, au travers de quelques graus ;
- les lagunes de la grande Maire et de la Riviérette entre Sérignan et Portiragnes, deux anciens bras de l'Orb ;
- l'ancienne embouchure du Libron entre Portiragnes et Vias-Ouest, qui forme une petite lagune ;
- le Clot de Vias, sur la partie ouest de la Tamarissière, ancien bras de débordement de l'Hérault lors des crues extrêmes. Cette zone humide est reliée hydrauliquement à l'Hérault (en passant sous le quai Théophile Cornu) ;
- enfin, à l'est du cap d'Agde, la zone humide du Bagnas et sa réserve naturelle (sanctuaire à accès interdit à tous publics), terminaison ouest de l'étang de Thau, au sein d'un ancien complexe d'étangs (sites actuels de Port-Ambonne, et ancien grau du Rieu).

Du point de vue des reliefs, ce littoral est constitué à 90 % de côtes basses et de plaines alluviales. Le seul véritable relief est celui du Mont Saint-Loup (Figure 2). C'est un ancien volcan surplombant Agde, ville portuaire (fluviale) datant de l'Antiquité. Le mont Saint-loup comporte une "annexe" en bord de mer : un ancien volcan aujourd'hui effondré et englouti dans la mer, dont les flancs, seuls vestiges subsistants, forment les plages à falaises de la Grande Conque (au pied du Rocher d'Agde) et du Môle.



Figure 2 : le mont Saint-Loup, la plage Richelieu, ainsi que le Lido de Sète et l'étang de Thau au second plan (© EID-Méd. / CD-34, 2016)



Figure 3 : plages à falaise de l'est du Cap d'Agde (© EID-Méd. / CD-34, 2016)



Figure 4 : plages de plaines côtières alluviales de l'ouest du cap d'Agde, avec en premier plan la plage de la Tamarissière et la zone humide du Clot de Vias (© EID-Méd. / CD-34, 2018)

Géologie : regard sur l'évolution Holocène du cordon littoral

Le littoral de l'ouest héraultais peut être considéré comme à cheval sur deux grandes unités morpho-sédimentaires :

- le cordon littoral des plaines alluviales à l'ouest du cap d'Agde, alimenté par les grands fleuves
- le cordon littoral entre Agde et Sète, en continuité du lido de Sète à Marseillan

La grande unité à l'ouest du Cap d'Agde constitue en réalité un continuum avec les plages du Narbonnais dans l'Aude : un cordon littoral continu relie ainsi les plages du cap d'Agde à celles du cap Leucate, seulement interrompu par quelques graus.

Le schéma ci-après (Figure 5) illustre la fermeture des golfes et étangs du Narbonnais à la fin de la dernière glaciation (Holocène), selon plusieurs étapes, avec comme répercussions sur la zone d'étude :

- entre 2500 et 2200 BP (BP = avant présent) et jusqu'au VI^{ème} siècle après JC, le golfe de Narbonne était ouvert et le cordon littoral était plaqué au niveau du massif de la Clape et de La Palme.
- au début du Moyen-Age (VI^{ème} siècle), la lagune et la ville de Narbonne sont devenues plus difficiles d'accès en bateau, et un seul grau permanent permettait la communication de la lagune avec la mer. Ce grau a ensuite connu des épisodes de fermetures et d'ouvertures.
- jusqu'au XIX^{ème} siècle la lagune s'est lentement comblée, en particulier sur sa partie nord, faisant perdre à Narbonne son statut de ville portuaire. Le tracé du cours de l'Aude, suite à de nombreux atterrissements, a été modifié en aval ; en particulier, suite à une forte crue au XV^{ème} siècle, son cours final s'est déplacé, passant du sud au nord du massif de la Clape (embouchure actuelle).

Ainsi, on remarque que l'embouchure de l'Aude s'est déplacée de manière significative lors des derniers siècles, ce qui a modifié la zone de comblement des étangs et l'amorce de nouveaux cordons littoraux. Après le XV^{ème} siècle, l'embouchure est en contact direct avec la mer, et alimente alors plus facilement le littoral en sable vers le sud-ouest, en raison de la direction principale du courant de dérive littorale, identique depuis des millénaires et lié aux houles, qui sera décrit plus loin dans ce rapport.

Dans la zone d'étude, de l'embouchure de l'Aude au cap d'Agde, les cordons de l'Antiquité avaient sensiblement la même configuration générale qu'aujourd'hui ; ils isolaient des plans d'eau qui se sont progressivement comblés avec les apports sédimentaires de l'Orb et de l'Hérault (Ambert, 1987). Les étangs actuels de Vendres et de Pissevaches sont les seuls grands complexes lagunaires à s'être maintenus.

Selon le Conservatoire du Littoral : "jusqu'au XI^{ème} siècle l'Orb avait une large embouchure qui se divisait en trois bras : l'un se jetant dans la Riviérette, le second dans la Grande Maïre et le troisième passant par Sérignan (celui-ci correspond approximativement au tracé actuel de l'Orb). Au milieu du XIII^{ème} siècle le bras débouchant dans la Riviérette disparaît, celui passant par la Grande Maïre vers 1600. Actuellement le ruisseau de la Maïre-Vieille et une partie des limites communales entre Sérignan et Villeneuve-lès-Béziers sont des vestiges de ce tracé."

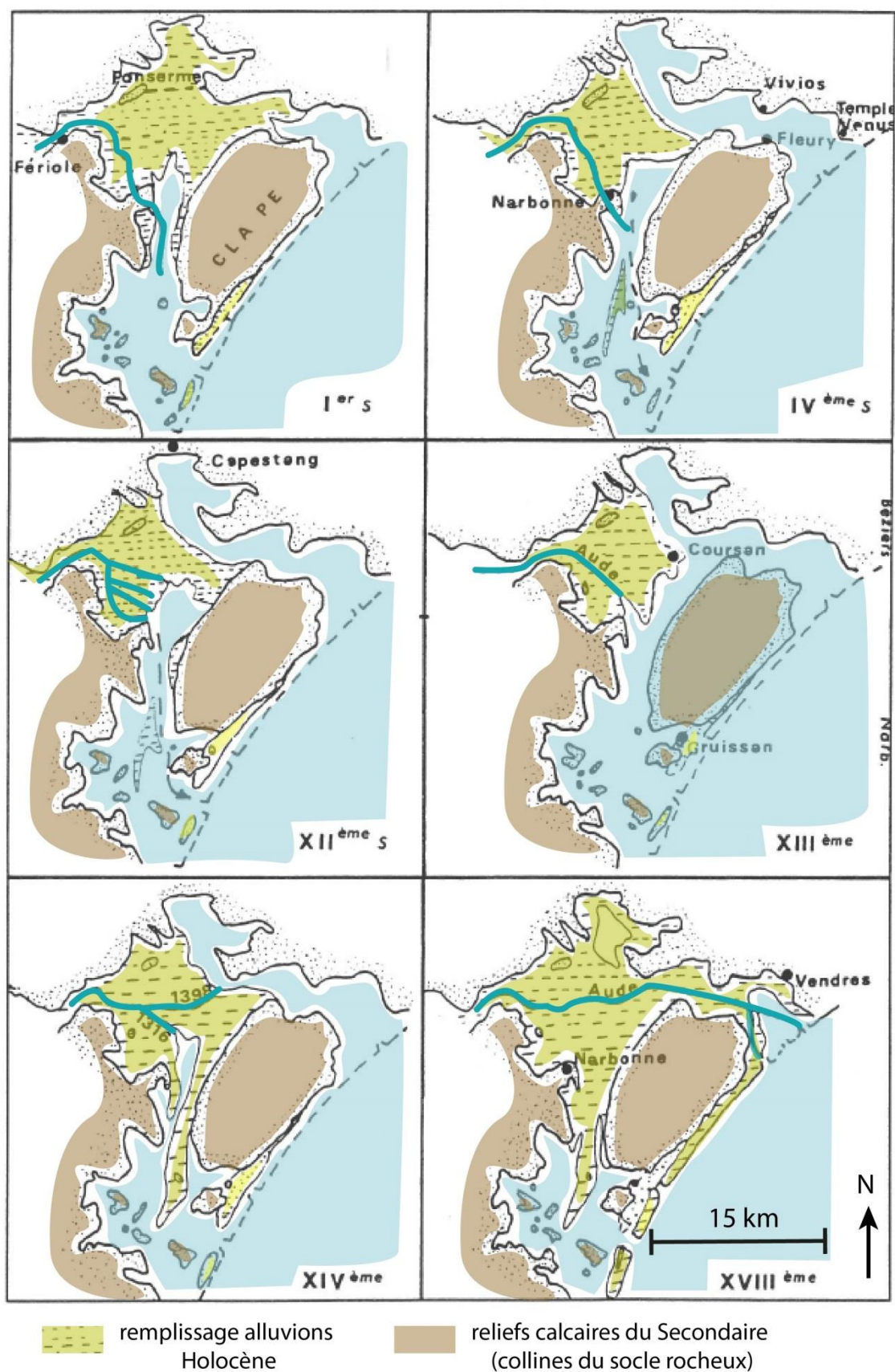


Figure 5 : fermeture du Golfe de Narbonne des alluvions de l'Aude ayant conduit à alimenter une flèche sableuse (lido), évolution du littoral narbonnais depuis le premier siècle (EID 2020, d'après Durand, 1999 et Ambert, 1987)

L'unité morpho-sédimentaire à l'est d'Agde est délimitée par de nombreux ensembles géologiques. Selon Ferrer (2010) : "l'étang de Thau et les petits étangs annexes du Bagnas sont au cœur d'un bassin contraint au sud par la montagne volcanique d'Agde, au nord-ouest par le massif de la Moure et au nord-est par le massif de la Gardiole. Ces deux massifs sont des calcaires d'âge Jurassique (-200 à -145 millions d'années, quand la mer a envahi la zone) qui ont été soulevés en relief lors de la formation des Pyrénées (phase de collision des plaques terrestres entre 80 et 20 millions d'années avant notre ère). Les terrains qui entourent l'étang sont des formations sédimentaires d'âges miocène à pléistocène (de 23 Ma à 10 000 ans environ), tout comme les terrains de la plaine de l'Hérault et de l'Orb à l'ouest du cap d'Agde. Les coulées basaltiques d'Agde sont d'âge plioquaternaire et datent d'environ 750 000 ans, lors de l'éruption des volcans du Mont Saint-Loup et des autres volcans voisins en mer (traces visibles avec la plage de la Conque et l'île de Brescou). Le lido, caractérisé par une faible altimétrie, est formé de sables et d'argiles [Plus, 2001]."

La lagune de Thau trouverait son origine d'un bassin formé suite à un effondrement des terres sous l'action de mouvements tectoniques il y a plus de 23 Ma. Après diverses étapes de comblement, puis d'incision (creusement) lors des phases glaciaires, entre 80 000 et 18 000 ans BP, époque où la mer était plus basse, celle-ci est alors venue inonder le bassin. La formation du Lido de la lagune de Thau est concomitante de la régularisation des côtes sous l'action de la dérive sédimentaire longitudinale (= dérive littorale) lors du haut niveau marin de 6500 BP à nos jours. La fermeture de la lagune de Thau serait due à la propagation vers le sud-ouest d'une flèche sableuse liée aux apports distaux du Rhône. Cette flèche aurait avancé vers le sud-ouest sous l'action motrice de la dérive littorale, tandis que celle reliant le Mont Saint-Clair et le Mont Saint-Loup fermait la lagune et finissait la formation du lido il y a 5500 ans. La thèse de Pierre Ferrer de 2010 apporte une chronologie précise à cette mise en place (Figure 6).

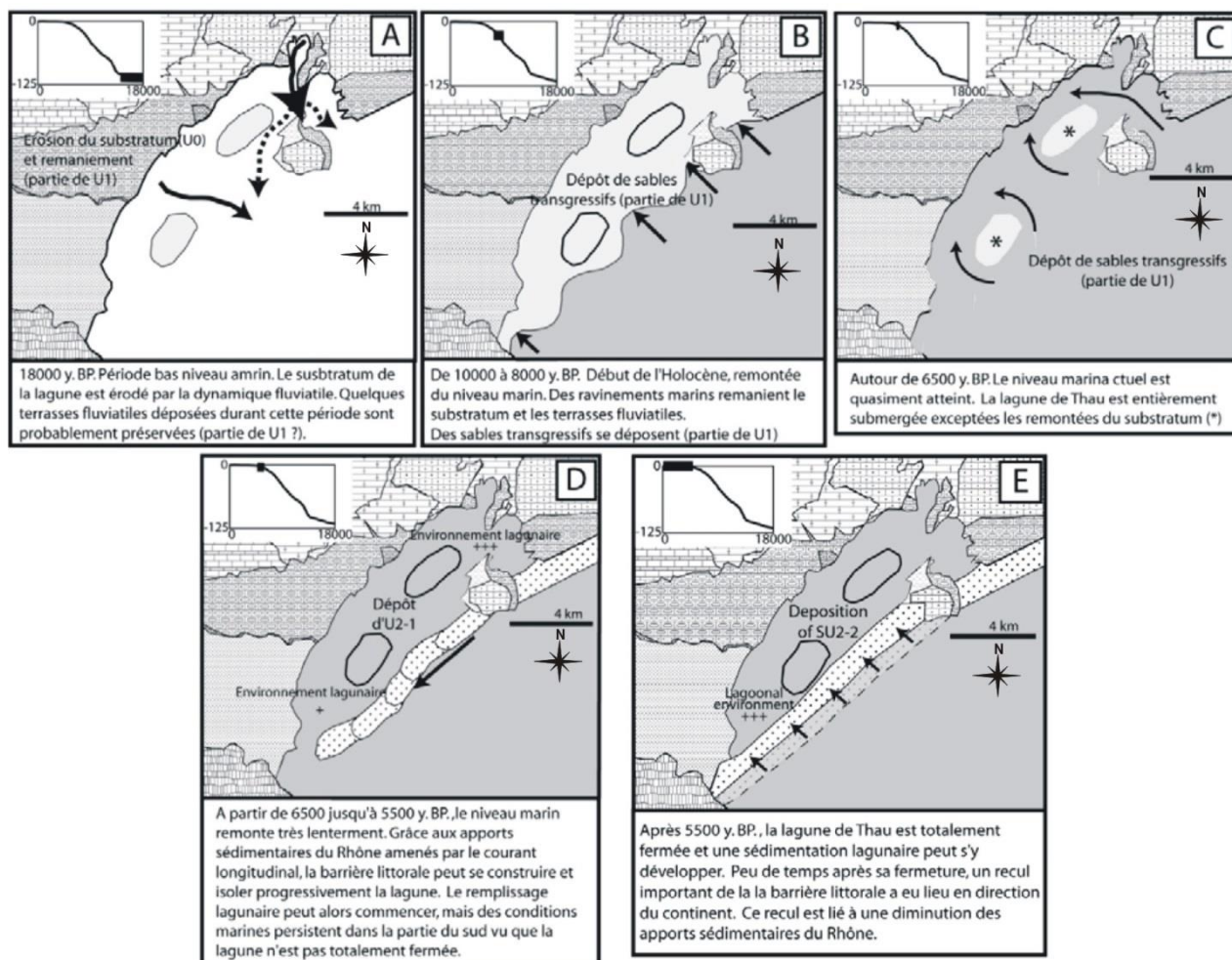


Figure 6 : reconstruction paléogéographique de la formation de la lagune de Thau [Ferrer et al., 2010]. Dans le coin supérieur gauche, position chronologique de l'étape durant les variations du niveau marin post-glaciaire.

Le volume des eaux contenu dans l'étang de Thau est évalué à 340 millions de mètres cubes (Ferrer, 2010 ; d'après différentes sources). Cette lagune reçoit de nombreux apports hydriques via des fleuves intermittents tels que la Pallas et la source hydrothermale de la Vène. Tout comme les étangs de Bages-Sigean plus loin dans la région, l'étang de Thau, du fait de sa taille et des apports externes, est en communication permanente avec la mer Méditerranée, ce qui crée des échanges d'eaux réguliers et une meilleure oxygénation (qui permet notamment la conchyliculture). Quelques graus actifs existent, notamment celui de Pisse-Saumes au niveau de Marseillan. Cette passe a pris le relais de graus voisins aujourd'hui inactifs, celui du Quinzième à l'est et celui du Rieu à l'ouest.

Origine et classification du matériel constitutif des plages (prisme littoral)

Le littoral du secteur d'étude est à dominante basse mais le promontoire rocheux du cap d'Agde marque le paysage local. Comme évoqué précédemment, le sable à l'ouest du cap provient essentiellement des fleuves Aude, Orb et Hérault. Le sable à l'est proviendrait d'apports lointains du Rhône. Une portion significative du sable provient également du remaniement d'anciens cordons littoraux remontés au cours de la transgression marine Flandrienne (remontée "rapide" du niveau marin à la fin de la glaciation entre 19 000 et 7 000 ans BP), et d'apports actuels par les coquilles calcaires de bivalves (biomasse).

La taille des grains de sable connaît des variations transversales à la côte selon les différents secteurs de plage représentés sur la Figure 7. Sur la plage émergée, les sédiments les plus grossiers sont situés sur la berme ; le haut de plage et la dune sont constitués de sédiments plus fins. Sur la plage immergée, les sédiments les plus grossiers sont sur le talus de collision. La taille des sédiments s'affine ensuite vers le large avec les sédiments les plus fins sur le glacis (N. Aleman, 2013).

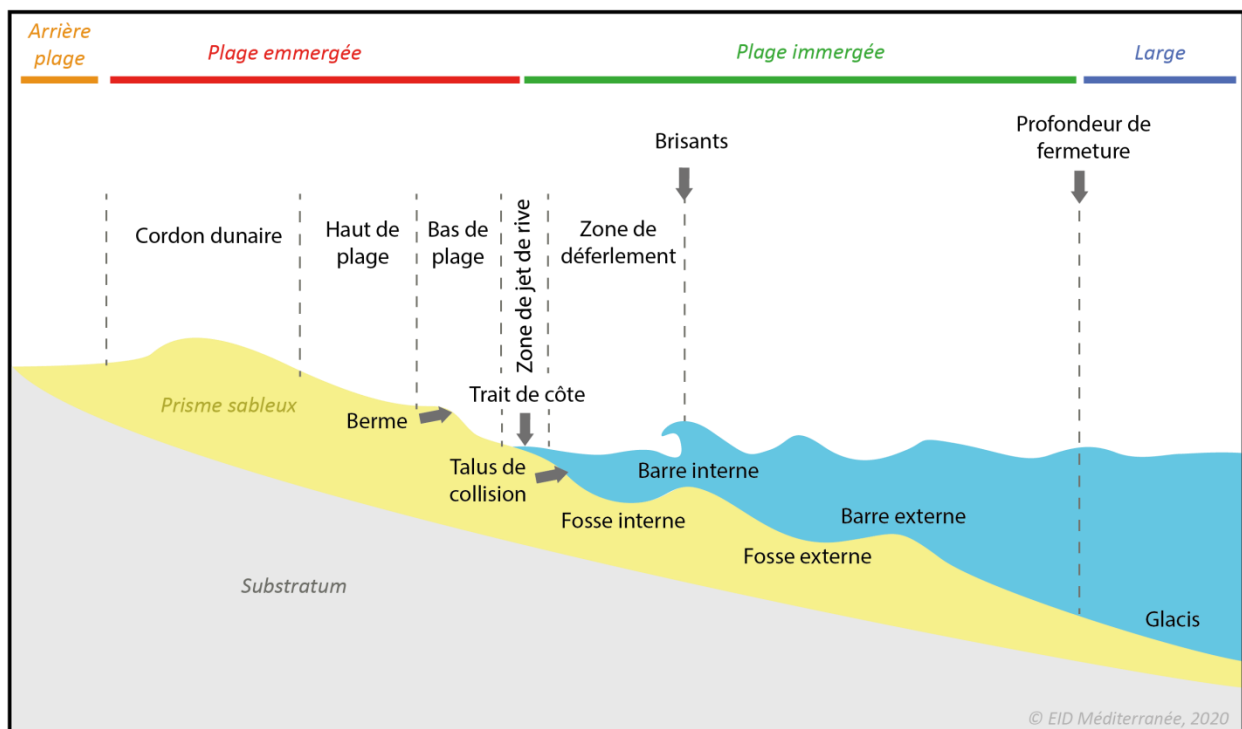


Figure 7 : principales formes présentes sur le littoral sableux (EID Méditerranée, 2020)

D'un point de vue longitudinal on observe des variations fortes suivant une répartition géographique largement influencée par la présence des caps et des embouchures. N. Aleman, dans le cadre de sa thèse (2013), a réalisé un nouvel échantillonnage des sédiments de l'avant-côte de l'essentiel du Golfe du Lion afin d'améliorer la connaissance sédimentaire du littoral. Les observations de P. Durand (1999) ont ainsi été confirmées et affinées (Figure 8).

L'analyse des échantillons a montré que la granulométrie suivait une tendance générale à la diminution de la taille des grains dans le sens des dérives principales, à l'échelle régionale ; ici les grains de sable sont assez fins et homogènes, hormis sur la berme et le talus, où des sables coquilliers et des morceaux de galets arrachés au substratum rocheux sont présents. Les pics de plus forte granulométrie sont très certainement en lien avec la présence des embouchures de l'Orb et de l'Hérault.

Il peut être considéré que l'essentiel du volume sableux présente les caractéristiques suivantes :

- le diamètre de grain médian du sable (D50) de la plage est de 0,34 mm (hors "accidents" coquilliers/débris rocheux)
- le D50 de la barre interne est d'environ 0,22 mm
- le D50 de la barre externe est d'environ 0,19 mm
- le D50 du glaciis d'avant-côte (entre -6 et -8 m) est d'environ 0,14 mm, avec des "accidents" du fait des dalles rocheuses du cap d'Agde.

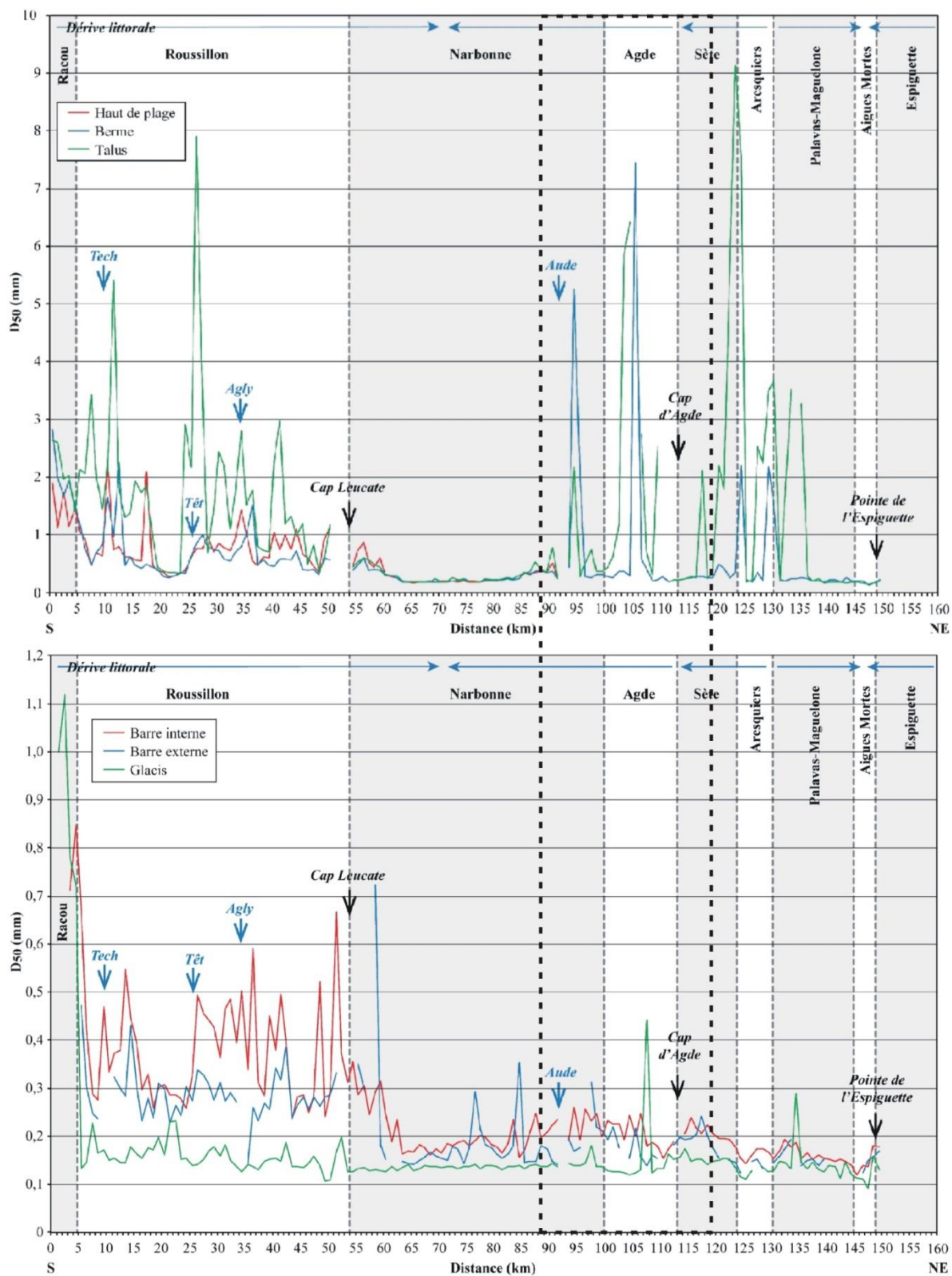


Figure 8 : évolution longitudinale à la côte de la taille des grains de sable selon les compartiments de plage ; la zone de l'ouest-Hérault est ici encadrée en traits pointillés gras (Aleman, 2013)

Les grands fleuves

Si aujourd'hui les fleuves ne sont plus des grands pourvoyeurs de sédiments nouveaux pour recharger les plages et ainsi compenser les pertes (en particulier les déplacements importants de sédiments lors des tempêtes), ils demeurent néanmoins des agents hydrodynamiques importants qui peuvent remanier les bancs de sable qui ferment leurs embouchures.

Dans les années 2000, les fleuves français apportaient entre 130 et 220 millions de m³ d'eau par jour dans la Méditerranée. Le Rhône représentait à lui seul 75 à 80% de cet apport, le reste étant le fait des petits fleuves côtiers.

Les services de l'Etat gèrent un réseau de stations hydrométriques qui fournissent des données caractéristiques des cours d'eau à ces stations par le biais de la Banque Hydro (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>) administrée par le SCHAPI. Autre site édité par le SCHAPI, VIGICRUES (<http://www.vigicrues.gouv.fr/>) diffuse l'information sur les risques de crue (cartes de vigilance, bulletins d'information) au niveau national et local, sur les zones couvertes par les services de prévision des crues (SPC). Le site permet d'accéder aux données des stations de mesures : dernières hauteurs d'eau et/ou débits.

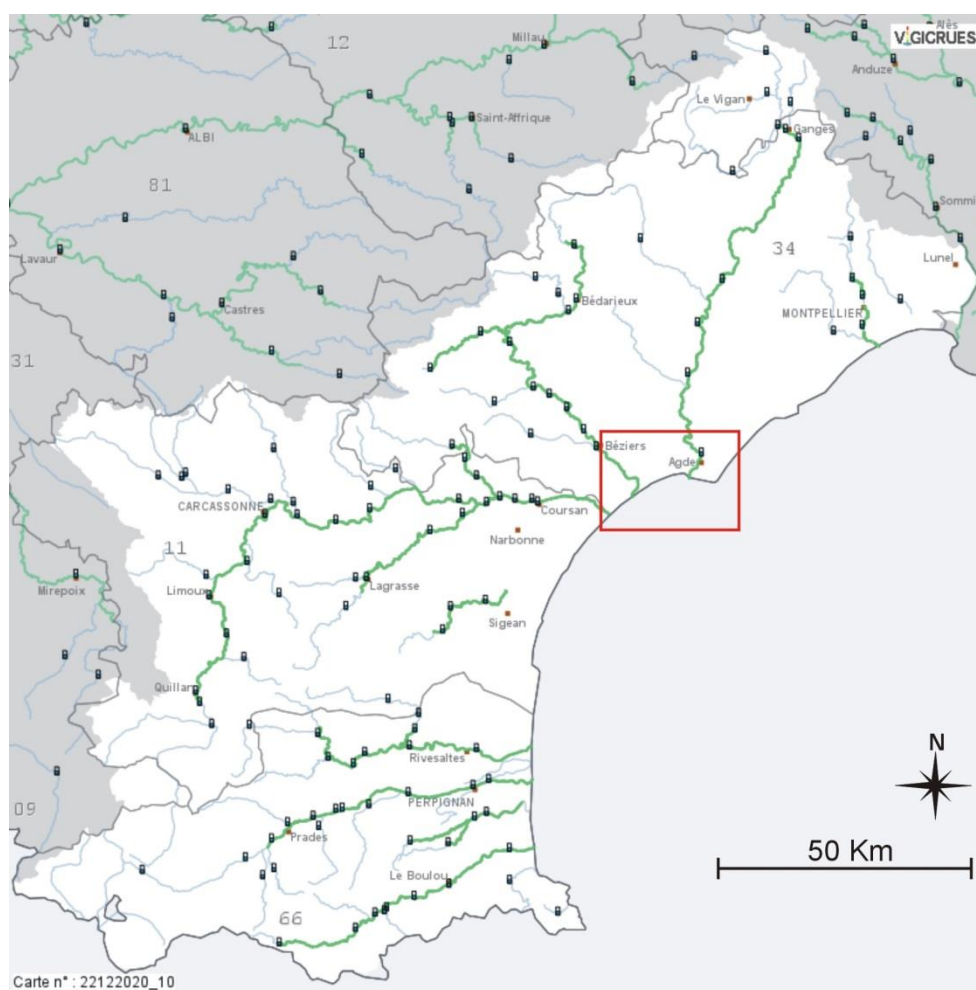


Figure 9 : carte des stations hydrométriques et des tronçons surveillés par les SPC et Vigicrue en Occitanie. En rouge le secteur d'étude (la couleur du tracé des fleuves change du vert au rouge en fonction du risque de crue et de débordement)

Caractéristiques hydrologiques

Parmi les fleuves côtiers les plus longs de l'Occitanie, l'Aude prend sa source dans les Pyrénées, et son bassin-versant couvre une partie du massif des Corbières. L'Orb et l'Hérault prennent leur source dans les parapets montagneux méridionaux de la montagne Noire aux Cévennes, en passant par certaines zones de Causses. Ces fleuves présentent des problèmes estivaux de faiblesse de débit.

Le bassin-versant de l'Aude représente en superficie plus de deux fois celui de l'Hérault, et trois fois celui de l'Orb. Toutefois, ses débits de crues sont en général plus faibles. L'Hérault montre le plus fort débit moyen.

Ces fleuves côtiers présentent des pentes moyennes relativement élevées, en comparaison surtout des grands fleuves français (Loire, Seine, Rhône...). Ils sont également caractérisés par des débits moyens très faibles comparés au Rhône, car ils sont moins sujets à l'alimentation par la fonte des neiges. Le régime torrentiel est typique des 3 fleuves de la zone, tout comme d'autres fleuves côtiers méditerranéens. Ce régime se symbolise par des débits extrêmes lors des crues liées aux épisodes méditerranéens de l'automne-hiver (les fameux "épisodes cévenols").

Tableau 1 : caractéristiques des principaux fleuves de la province (source : Banque Hydro)

Nom fleuve	Données hydro-physiographiques			Hydrologie aux stations						
	Longueur (km)	Surface totale du bassin versant (km ²)	Principaux affluents	Noms de la station de mesures hydrométriques la plus aval (ou la plus aval disposant de données)	Années mesurées à la station	Surface du bassin versant depuis la station (km ²)	Hydrologie à la station (m ³ /s)			
							Q moy annuel	QJ10 (QIX10)	QJ50 (QIX50)	QIX
Aude	224	5 336	Fresquel, Trapel, Argent double, Orbieu, Cesse	Coursan (Arminis)	1999-2020	4900	28,60	550	650	829
								-700	-830	13/11/1999
Orb	135	1 586	Jaure, Vernazobre, Lirou, Mare	Béziers (Tabarka)	1966-2020	1330	23,40	850	1200	1700
								-1200	-1800	29/01/1996
Hérault	148	2 583	Arre, Vis, Iergie, Rieutord	Agde (Bassin Rond)	1952-2020	2550	42,00	1200	1600	1460
								-1300	-1800	01/12/1958

Légende : Qmoy annuel : débit moyen annuel ; QJ10, QJ50: débit moyen journalier pour une période de retour de 10, 50 ans (estimé par une loi de Gumbel) ; QIX : débit instantané maximal et date d'occurrence

N.B. : pour 5 % du temps, l'Aude présente un débit moyen de 98,5 m³/s, l'Orb de 75,5 m³/s, et l'Hérault de 105,5 m³/s (moyennes calculées depuis l'année 1996).

Le régime des crues

Les fleuves locaux connaissent en général des périodes d'étiage importantes en été, tandis que les crues dévastatrices se produisent à l'automne et en hiver ; les débits peuvent alors être multipliés par plus de 10 par rapport aux périodes d'étiages. La crue de référence de l'Aude est la crue (supra-)centennale du 12-13 novembre 1999, au cours de laquelle le niveau a dépassé 5,24 m à Marseillette et 7,57 m à l'écluse de Moussoulens. La crue de référence de l'Orb est la crue cinquantennale du 28-29 janvier 1996, où le niveau a atteint 13,81 m au Pont Neuf de Béziers. Enfin la crue de référence de l'Hérault est la crue du 26-27 septembre 1907 où le niveau du cours d'eau a atteint 8 m à Montagnac (Servian, Montagnac et Saint

Guilhem le Désert ont subi des dégâts considérables, une digue s'est rompue à Pézenas, et la ville d'Agde fut aussi inondée).

Parmi les évènements récents, certains sont particulièrement remarquables, avec les débits moyennés sur une journée suivants (estimés par le service "Hydro.eaufrance.fr" du ministère de l'environnement) :

Tableau 2 : débits journaliers (moyenne 24 h) aux embouchures des 3 fleuves étudiés pour certains évènements récents de crues (en gras les épisodes dont le débit est exceptionnel).

date	Aude Coursan :	Orb Béziers :	Hérault Agde :
27/02/2003	187	699	238
25/11/2003	10	181	1 040
04/12/2003	772	634	1 160
15/11/2005	532	227	192
30/01/2006	533	735	1 050
16/03/2011	601	899	765
05/11/2011	14	222	879
29/11/2014	61	812	906
30/11/2014	501	453	759
02/03/2018	105	413	285
12/04/2018	387	427	549
16/10/2018	530	420	298
23/10/2019	230	513	341
24/11/2019	28	53	571
14/12/2019	511	77	38
23/01/2020	596	46	23
12/05/2020	543	153	89
19/09/2020	8	9	305

N.B. : les valeurs annoncées sont des valeurs de débit moyen journalier. Le débit instantané peut être plus fort au pic de l'épisode (maximum de "crise" dans la journée). Par exemple, le débit maximal de l'Hérault à Agde du 19/09/2009 a été de 490 m³/s à 05h10, pour un débit moyen de la journée de 305 m³/s.

Il est intéressant de signaler une crue importante de l'Aude en janvier 2020, au cours de la tempête Gloria, qui a laissé des quantités considérables de bois flottés sur les plages de Fleury d'Aude. Une partie de ce bois a été repris par la mer et s'échoue encore aujourd'hui sur les plages locales.

Apports solides des principaux cours d'eau

Les sédiments transportés lors des crues jusqu'à la mer sont aujourd'hui en très grande majorité **des sédiments très fins en suspension** (argiles et calcites/marnes, débris de matière organique), se diffusant dans la mer sous forme de panache de turbidité (Figure 10).

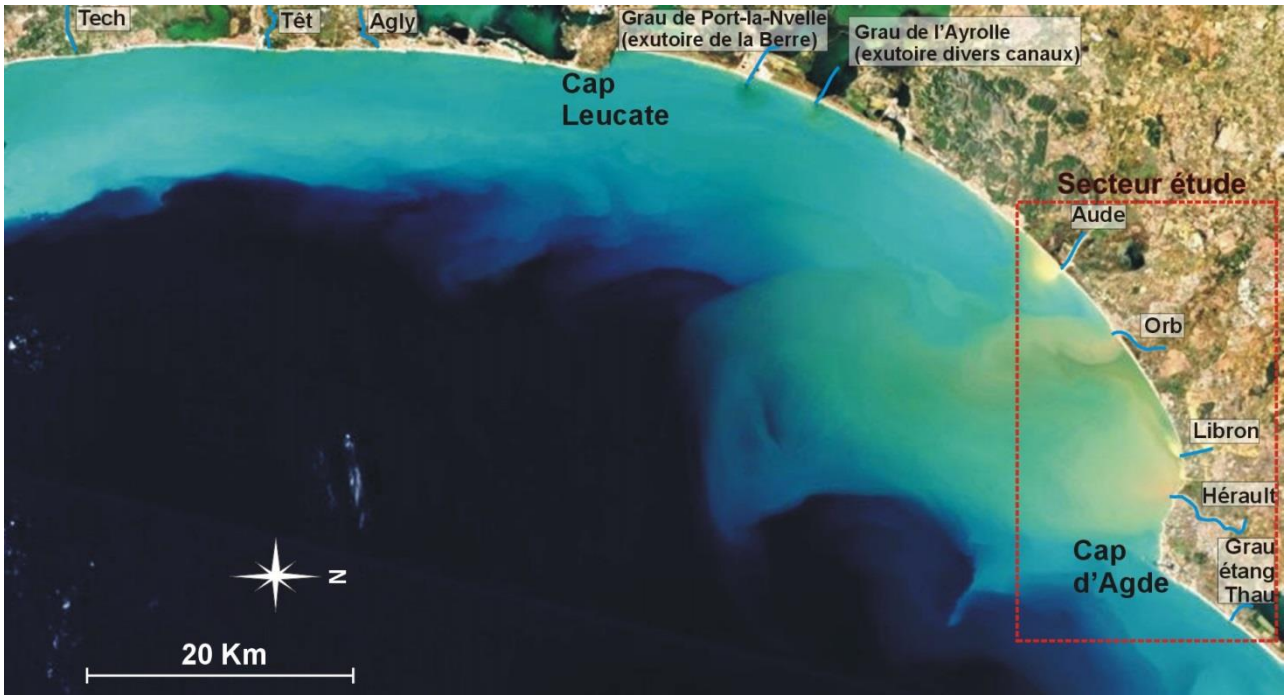


Figure 10 : exemple d'une crue simultanée de l'Hérault, du Libron, de l'Orb et de l'Aude en 2018, qui provoque un cortège de panaches turbides sur la zone d'étude, se propageant vers le sud-ouest sous l'action des courants du large (données ESA – satellites Sentinel 2).

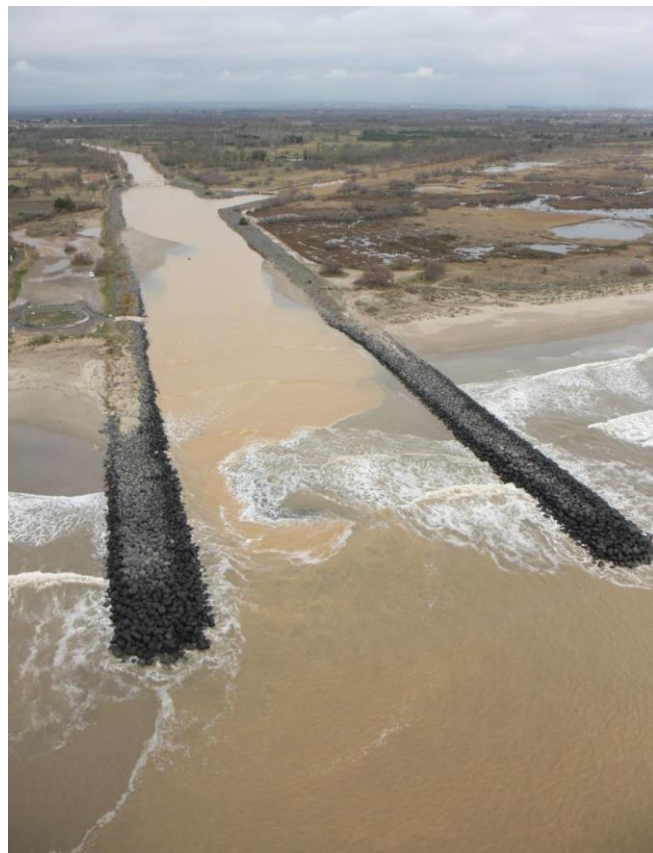


Figure 11 : illustration d'un apport d'eau turbide en mer suite au ruissellement de fortes pluies sur la plaine littorale (canal de l'Ardailon entre Vias et Agde ; © photo DREAL-Occitanie, survol après tempête daté du 7 mars 2013)

Déterminations des apports en sable liés aux fleuves

Dans la quantification du débit solide des différentes études, il est difficile de mesurer la charge de fond (sable, gravier, galets), à l'inverse de la charge en matières en suspension (vase, silts), à moins de réaliser un suivi bathymétrique à plusieurs dates des bancs de sables/galets dans les embouchures.

C'est la fraction du fond qui va permettre l'alimentation naturelle des plages avec de nouveaux volumes de sable. D'après les calculs sur l'érosion historique des plages (présentés plus loin dans ce rapport), les sédiments les plus grossiers (sable /graviers et galet) n'atteindraient aujourd'hui que très rarement la mer, se déposant en amont de l'embouchure dans la plaine littorale du fait de l'amoindrissement des débits par les barrages. Depuis le début du XX^{ème} siècle une baisse des débits de crues est constatée. Les débits fluviaux ont ainsi été divisés par 20 sur la Têt (dans les Pyrénées-Orientales, après la construction du barrage de Vinça ; cité dans Aleman, 2013 et Bourrin, 2007), diminuant fortement l'entraînement des sédiments à la mer. Durant les années 1960-1970, lors de la mission Racine, la multiplication des extractions dans les lits fluviaux pour la construction des stations balnéaires et l'implantation de barrages hydro-électriques auraient également conduit à une diminution des apports (Brunel, 2010 ; Durand, 1999)

Des estimations ont été faites par le BCEOM en 1997 (repris dans la thèse de Durand, 1999), donnant des capacités de débits solides de l'ordre de 80 à 100 000 m³/an pour les fleuves Aude et Orb (galets/graviers/sables). Toutefois ces évaluations se basent sur des formules de relation débits/capacités de transport et sont donc probablement surestimées. Des calculs basés sur des levés bathymétriques restent encore à réaliser pour prouver la migration de bancs de sable, et du matériel de divers granulats encore disponibles dans le lit des fleuves de la zone d'étude, à proximité directe de leurs embouchures. Toutefois, ce suivi nécessiterait de remonter loin dans l'embouchure afin d'observer à différentes dates la migration de bancs de graviers/sables vers la mer. Un simple levé à l'exutoire ne permettrait pas de distinguer l'ensablement venant de la mer (migration et obstruction par des barres d'avant-côte), connu comme dominant, de celui venant du fleuve, aujourd'hui supposé plutôt négligeable.

Les variations de niveau d'eau

Marées

Selon le SHOM (2020), le niveau marin varie tous les jours d'une trentaine de centimètres lors des marées de vive eau et d'une vingtaine de centimètres lors des marées de morte eau (marnage). Le produit RAM (Référence Altimétrique Maritime ; SHOM, 2020 ; téléchargeable gratuitement) fournit les niveaux caractéristiques de la marée pour différents sites du golfe du Lion. Les variations possibles du niveau marin sont ici exprimées par la correspondance entre le référentiel zéro hydrographique et le référentiel NGF. Ces valeurs sont régulièrement actualisées du fait que les séries marégraphiques s'allongent. Il décrit par exemple les variations suivantes du niveau marin à Sète et à Gruissan :

Tableau 3 : variations astronomiques du plan d'eau à Gruissan et à Sète avec la marée (RAM, SHOM 2020)

Niveau NGF	Gruissan	Sète
Plus hautes mers astronomiques (PHMA)	0,48 m	0,36 m
Niveau moyen (NM)	0,25 m	0,15 m
Plus basses mers astronomiques (PBMA)	0,04 m	-0,06 m

Le niveau moyen de la mer se situe actuellement vers **+0,20 m NGF** sur le secteur de l'ouest Hérault, et il varie sans intervention des conditions météorologiques (surcotes/décotes) d'une quarantaine de centimètres sous l'influence des différentes composantes de la marée astronomique.

Surcotes/décotes

On parle de surcote quand les conditions météorologique sur le bassin forcent un niveau marin plus haut que celui prévu par les modèles de marée ; et inversement (niveau plus bas) pour la décote.

La première source de fluctuation du niveau marin en dehors des cycles de marée prévus est imputable à la pression atmosphérique. Le niveau de la mer y répond directement par effet barométrique inverse : 1 cm pour 1 hPa de variation de pression atmosphérique. En complément, l'effet cumulé des vents marins forts accentue la surcote. Cela explique également que des surcotes sont observées occasionnellement avec des vents de terre, et des décotes (ou surcotes faibles) avec des épisodes d'entrées maritimes, car pression et sens du vent ne sont pas toujours en correspondance dans le Golfe du Lion.

La deuxième composante est attribuable aux vents. Une surcote est favorisée lors des vents marins de sud-est, qui poussent la masse d'eau vers la côte, alors que les décotes sont observées par Tramontane ou Mistral. Ces configurations sont responsables respectivement du remplissage et de la vidange des étangs. Les surcotes/décotes ne sont donc pas liées directement au sens du vent présent localement sur le site, mais davantage aux champs de vents présents au large. Il y a en outre des effets de "golfe" dans les accumulations et surcotes en Occitanie. Le maximum de surcote sur l'ouest-Hérault est apparemment observé quand des coups de vent au large prennent une orientation sud-est à sud-sud-est, qui pousse ainsi la masse d'eau vers le fond du Golfe à l'ouest du Cap d'Agde (secteur de Vias).

Enfin, les observations montrent que les pics de surcotes ne sont pas toujours synchrones avec les pics de houle : des décalages de plusieurs heures sont fréquemment observés. Les vagues et l'onde de tempête ne se forment pas et ne se déplacent pas à la même vitesse.

D'après Gervais et al. (2012), le niveau marin ainsi que la surcote augmentent généralement avec les conditions de tempête, mais ce paramètre n'est pas un bon indicateur de l'énergie de la tempête et de l'érosion induite, même s'il participe à la submersion des côtes les plus basses.

Selon l'analyse de Gervais (2012) la surcote maximale observée a été de 0,84 m à Sète le 16/12/1997. D'après des analyses statistiques poussées sur les séries temporelles des marégraphes, Kergadallan (2015)

montre que le niveau total de la mer (marée + surcote) atteint + 0,70 m NGF pour une période d'occurrence annuelle et + 0,85 m NGF environ pour une occurrence décennale à Sète.

Bien entendu, un niveau record de surcote n'est pas toujours synchrone d'une élévation record du niveau marin en raison des cycles de la marée et périodes de l'année. Les records de niveaux marins dans le port de Sète (en zone abritée de la houle) seraient de 0,99 m NGF lors de la tempête de 1997 et de 1,02 m NGF lors de la tempête du 28/11/2014 (à marée haute). Récemment, un niveau d'1.10 m NGF a été mesuré le 01/03/2018 au marégraphe de Port-la-Nouvelle (0,90 m NGF mesuré le même jour à Sète).

Climatologie des vents

Comme le montre la Figure 12, en se basant sur les modèles de prévisions de Météo-France, les vents dans le Golfe du Lion sont largement dominés par les régimes de vents de terre : Tramontane et Mistral. Viennent ensuite, en fréquence et en force, les régimes de vents marins qui sont ceux des coups de mer et des tempêtes responsables des fortes vagues sur la côte, et des phénomènes d'érosion/submersion.

Dans notre zone d'étude la Tramontane vient essentiellement d'une direction NO, mais parfois aussi N-NO ou O-NO. Le vent de terre s'oriente très occasionnellement au N à N-NE sous l'influence du Mistral venant de la vallée du Rhône les jours les plus froids de l'hiver, mais son intensité est faible sur la zone étude. Le flux de Tramontane est sous la contrainte du relief de l'arrière-pays, et donc nettement plus fort sur la partie sud de la zone d'étude, en se rapprochant de l'Aude.

Même si on peut considérer que le transport éolien sur les plages de l'ouest-Hérault est d'importance nettement inférieure à celui du sable par les vagues, il n'est pas négligeable puisque les vents marins contribuent au rechargement naturel de la dune lors des épisodes sans précipitations. Un exemple récent s'est produit lors du coup de mer du 21 octobre 2020 où beaucoup de sable a été transporté de la plage vers la dune (vents de 40 à 80 km/h en rafales mesurés au sémaphore de Sète). Nos observations de terrain lors du coup de mer ont confirmé ce phénomène sur la majorité des plages du site d'étude. Seules les plages trop étroites n'étaient pas sujettes à ce transfert de sable vers la dune. La Tramontane contribue elle au décapage de la plage et à un transfert local du sable du haut de plage vers la zone de jet de rive.

Une seule configuration contribue à une dérive du sable sur une longue distance : cela se produit sur les plages du cap d'Agde, d'ouest en est, les jours où la Tramontane est forte et présente une origine "parfaitement ouest" (voir O-SO). Du sable peut alors être transporté de la plage de Rochelongue à Richelieu sur plusieurs centaines de mètres.

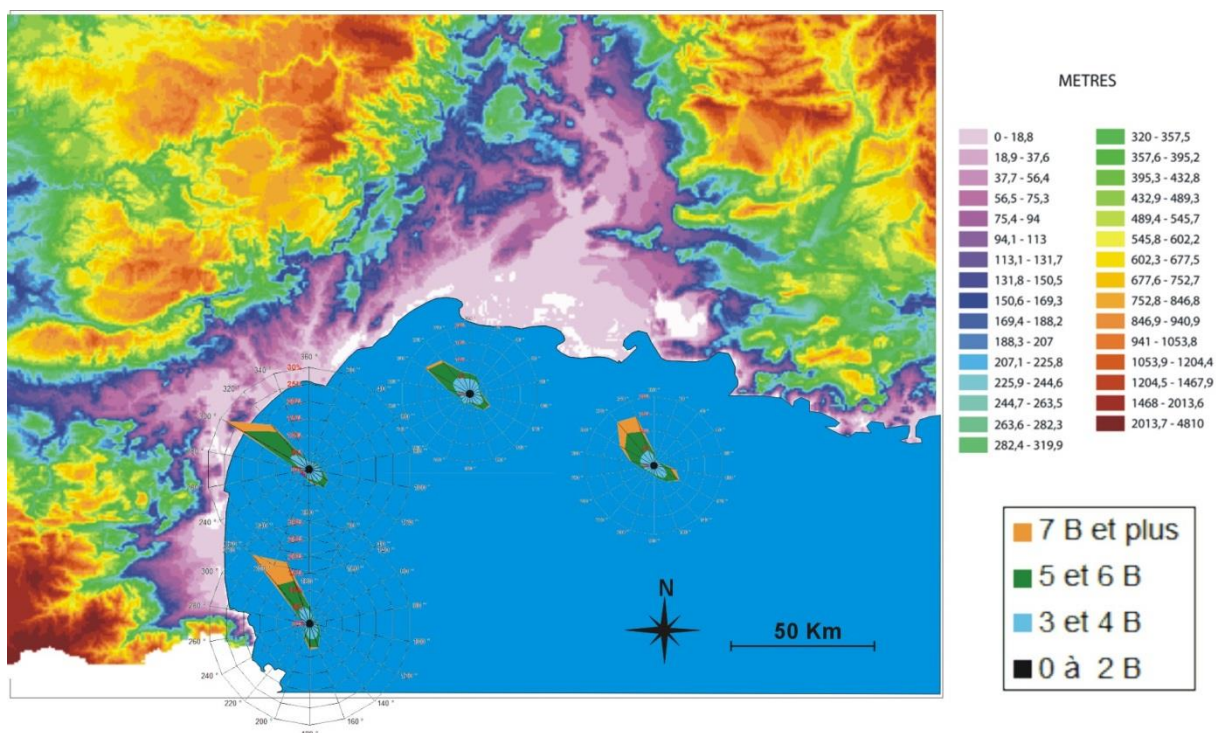


Figure 12 : Description des roses de vent en mer près du littoral du golfe du Lion et la Camargue (données du modèle Arpege de Météo France), et reliefs à terre mettant en évidence les couloirs de Tramontane et Mistral (vallées de l'Aude et du Rhône).

Les coups de vent sur le Golfe du Lion sont en général des épisodes brefs qui ne durent en général que quelques dizaines d'heures. En effet, le déplacement des centres d'action synoptiques météorologiques (dépressions et anticyclones au-dessus de l'Europe et de la Méditerranée) provoque des inversions brusques de la direction des champs de vents qui sont fortement contraints par les couloirs terrestres (ex. : vallée du Rhône) et l'orientation des côtes (en général le vent va s'accélérer en longeant la côte). Il est ainsi fréquent qu'un coup de mer de SE soit chassé soudainement par la tramontane, faisant rapidement retomber la houle, lorsqu'une dépression passe sur le nord de la France d'ouest en est.

Climatologie des houles

En raison de la climatologie des vents sur le bassin, la houle en Méditerranée se présente comme **une succession d'épisodes de forte énergie, mais de courte durée (un jour, parfois plusieurs)**. Ces épisodes se produisent au cours de l'automne et de l'hiver, plus rarement au début du printemps. Ils peuvent être très violents, mais ils sont séparés par des phases très calmes sans houle, ni déferlement marqué. Les houles ont le plus souvent une origine locale, voire régionale, car elles proviennent des vents soufflant dans le Golfe du Lion et/ou le long des côtes provençales. Il est rare que la houle provienne d'une très grande distance, comme du sud de la Méditerranée par exemple.

Du fait de ce régime très épisodique, les vagues sur le littoral sont en moyenne très faibles avec une **hauteur significative (Hs = hauteur moyenne du tiers des vagues les plus hautes mesurées pendant 20 minutes)** d'environ 0,60 m et d'une période associée de 4 secondes (temps entre chaque vague ; 4 s est très court et représente une "mer de vent"). Majoritairement, la mer est donc très calme ("drapeau vert" pour la baignade), mais cette moyenne n'est pas représentative des coups de mer au cours desquels un

déferlement se fait ressentir sur les barres d'avant-côte, surtout lorsque la houle dépasse $H_s = 1$ m et une période de 6 s, ce qui représente 10 % du temps seulement.

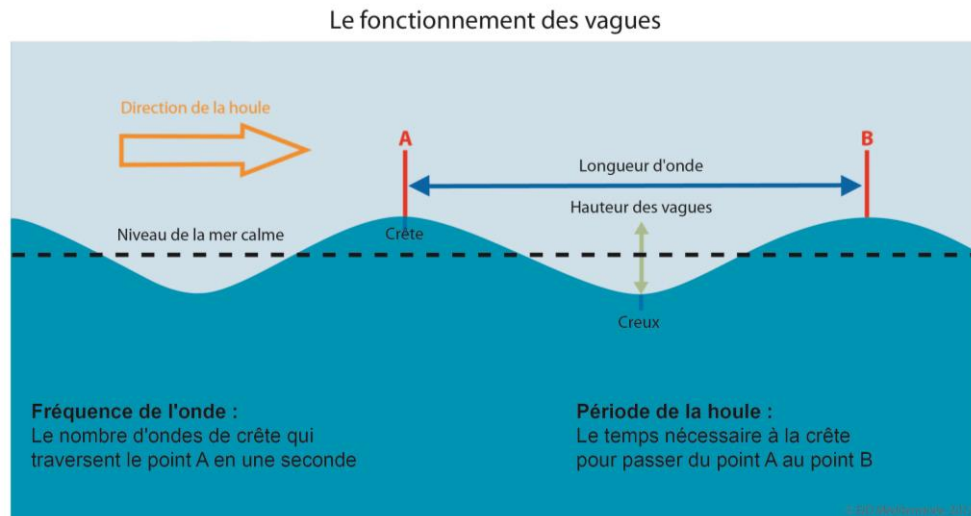


Figure 13 : Fonctionnement schématique de la houle et principaux paramètres (EID Méd., 2012)

Le houlographe de Sète fournit une mesure des hauteurs, mais aussi des directions des houles depuis février 2006 un peu au large (-30 m de fond) devant le mont Saint-Clair, et un houlographe identique fonctionne devant le cap Leucate depuis décembre 2007. Devant la ville de Sète, d'autres houlographes non directionnels ont précédé l'actuel entre 1988 et 2006, avec différentes zones de mouillages.

En comparaison du large, la bande côtière est épargnée des épisodes de houles venant du nord-ouest et du Mistral et de la Tramontane. Seules les plages du cap d'Agde entre Rochelongue et Richelieu peuvent être touchées parfois par de petites vagues de Tramontane venant de l'ouest/sud-ouest, mais cette influence reste secondaire sur le transport du sable comparativement aux houles marines.

En raison de l'accélération des champs de vent le long des côtes, **deux directions principales des houles marines sont générées dans le golfe du Lion : SSE et ESE**. Des directions intermédiaires apparaissent, mais ces deux flux principaux s'expriment clairement pour les épisodes des plus hautes vagues (donc plus énergétiques) sur chacune des deux bouées houlographe de la zone (Figure 14). La direction ESE se montre la plus énergétique pour la plupart des sites (Gervais et al., 2012). Cette situation est responsable de la majorité des records de houles enregistrés dans la région ($H_s > 4,5$ m). La direction sud représente pour sa part habituellement 20 à 40 % de l'énergie des houles marines, et il est rare que la houle dépasse $H_s = 3$ m près de la côte. Elle est donc moins fréquente, et moins énergétique. Ce flux venant du sud touche surtout les plages situées de Vias au Cap d'Agde, où les vagues attaquent la plage de manière frontale. Aussi, contrairement au cas des houles d'ESE (Figure 17), la côte de ce secteur n'est pas protégée des houles de sud par le Cap d'Agde et les hauts fonds de Brescou.

Des conditions de houles avec des $H_s > 3$ m à environ 5 km des côtes, au niveau des bouées houlographes, arrivent statistiquement 3 à 4 fois par an : les "coups de mer".

Lorsque la houle dépasse $H_s = 4$ m on parle de "tempête", et quand $H_s > 4,50$ m on parle de "forte tempête" (se produit une fois tous les deux ans en moyenne).

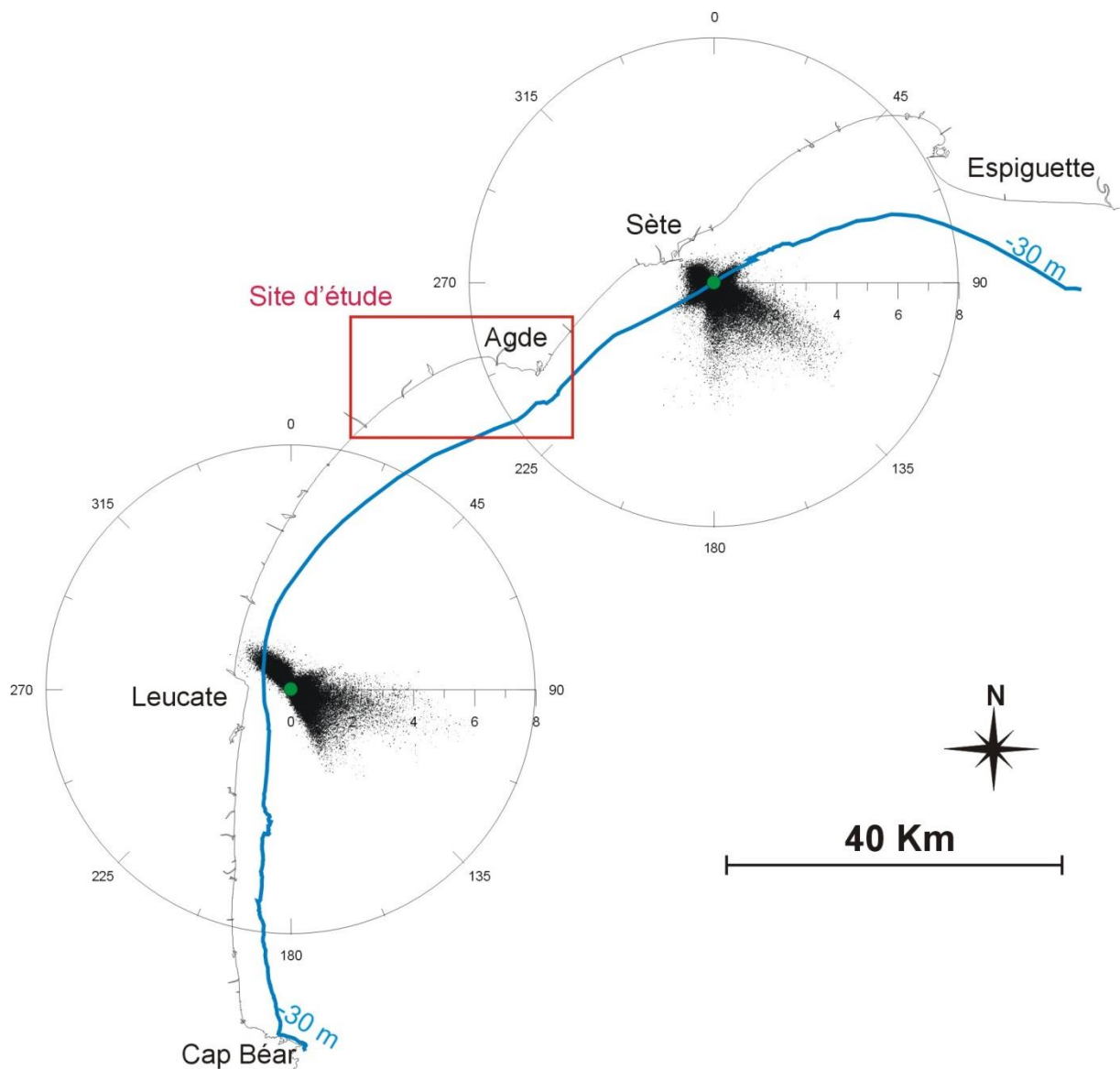


Figure 14 : Directions de provenance et Hs des houles mesurées au niveau des bouées côtières du golfe du Lion de Leucate et de Sète (toutes périodes de mesure directionnelles disponibles ; site d'étude dans le rectangle rouge).

Bien que la couverture du réseau de bouée houlographe dans le Golfe du Lion reste bonne, avec 4 bouées positionnées en comptant celle de l'Espiguette et de Banyuls (qui est proche du cap Béar ; voir Figure 14), il pourrait être intéressant à l'avenir de réfléchir à l'ajout d'une bouée supplémentaire de mesure de houle devant la zone d'étude (au large face à Portiragnes par exemple, au niveau de l'isobathe -30 m).

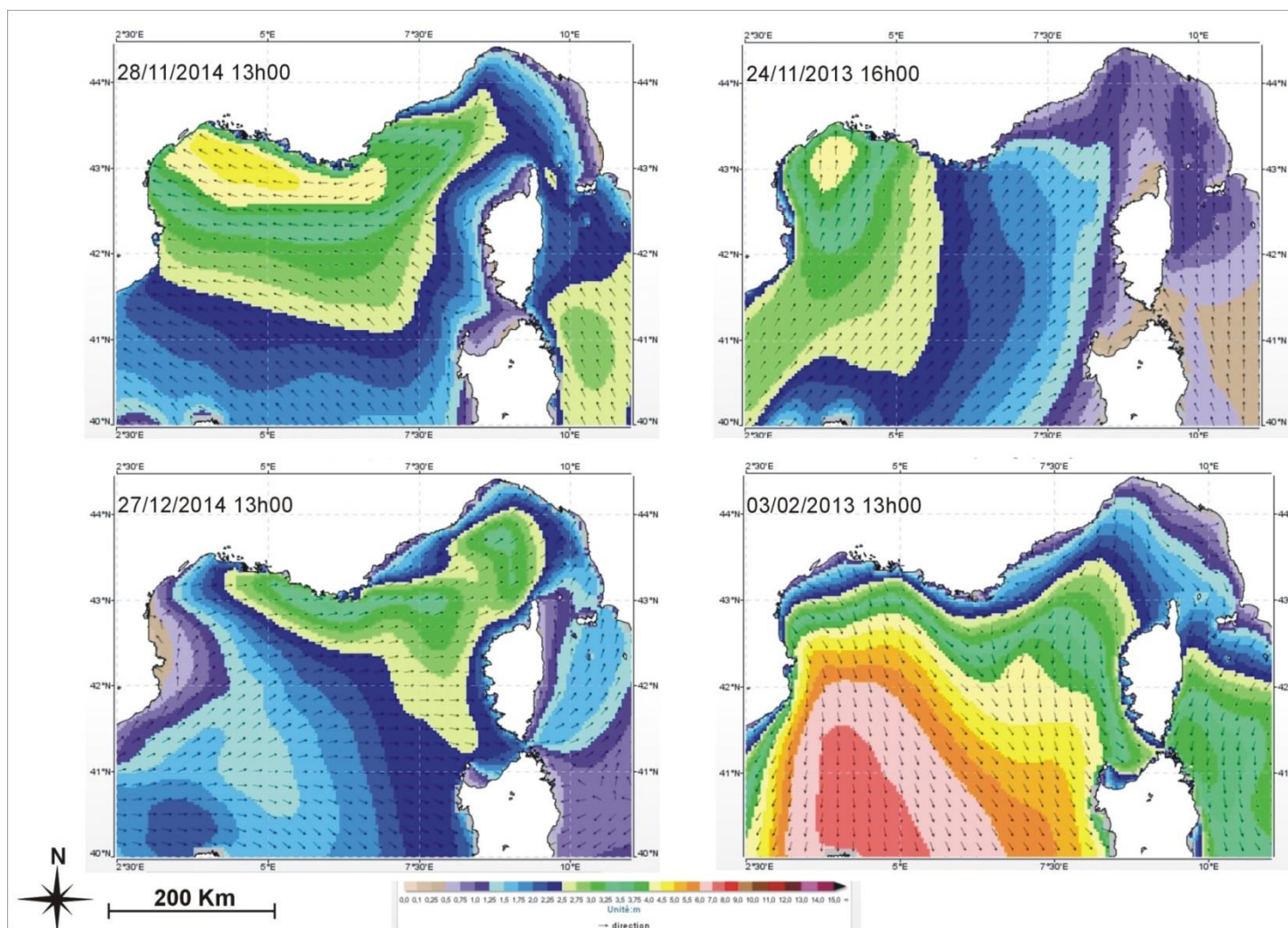


Figure 15 : Répartition des hauteurs significatives des vagues sur la côte méditerranéenne française pour quatre épisodes typiques de forts vents et fortes houles dans le Golfe du Lion (source : MARC.ifremer.fr)

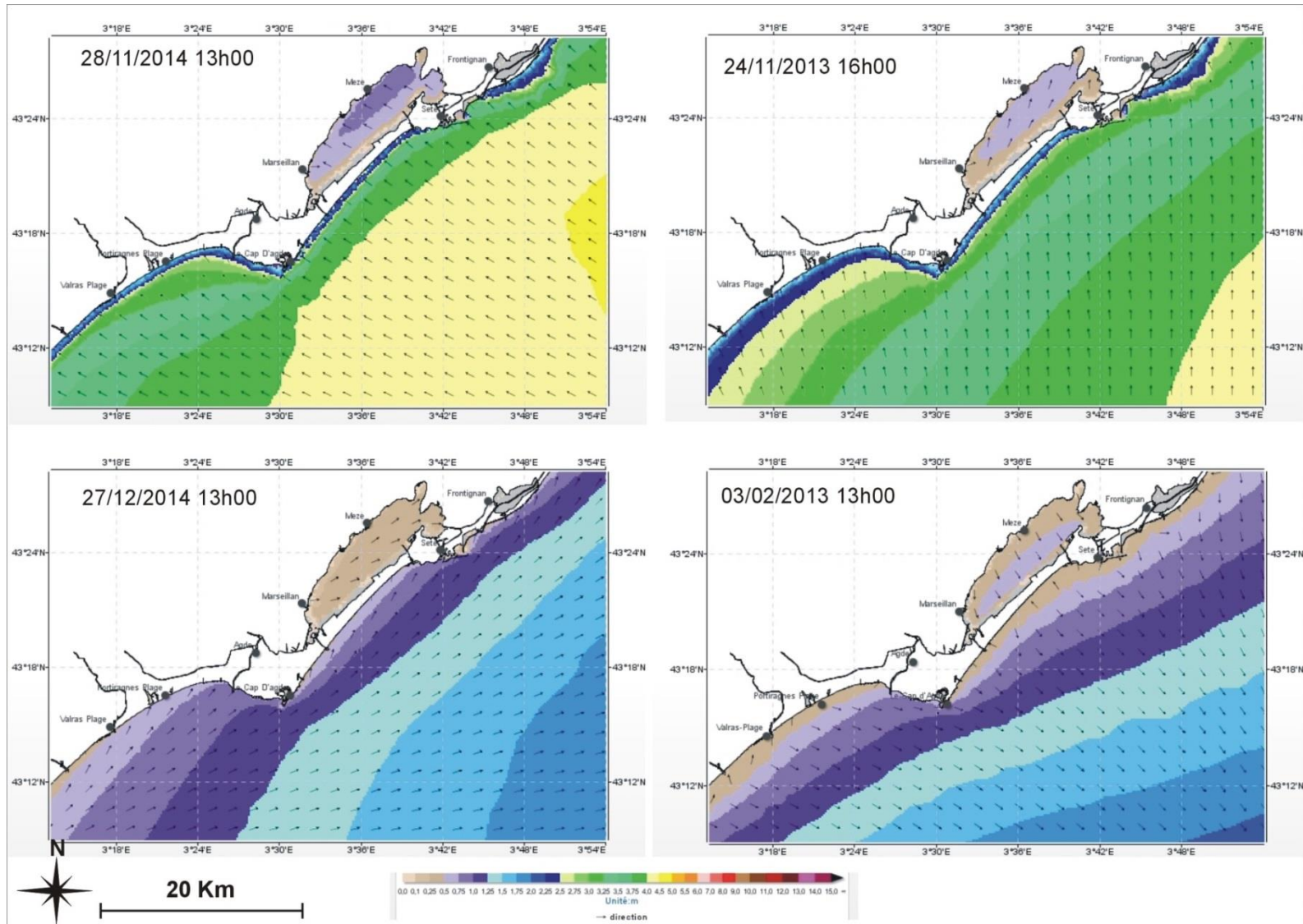


Figure 16 : Zoom de la répartition des hauteurs significative des vagues de Sète à Vendres pour les quatre mêmes scénarios types de forts vents et fortes houles (source : MARC.ifremer.fr)

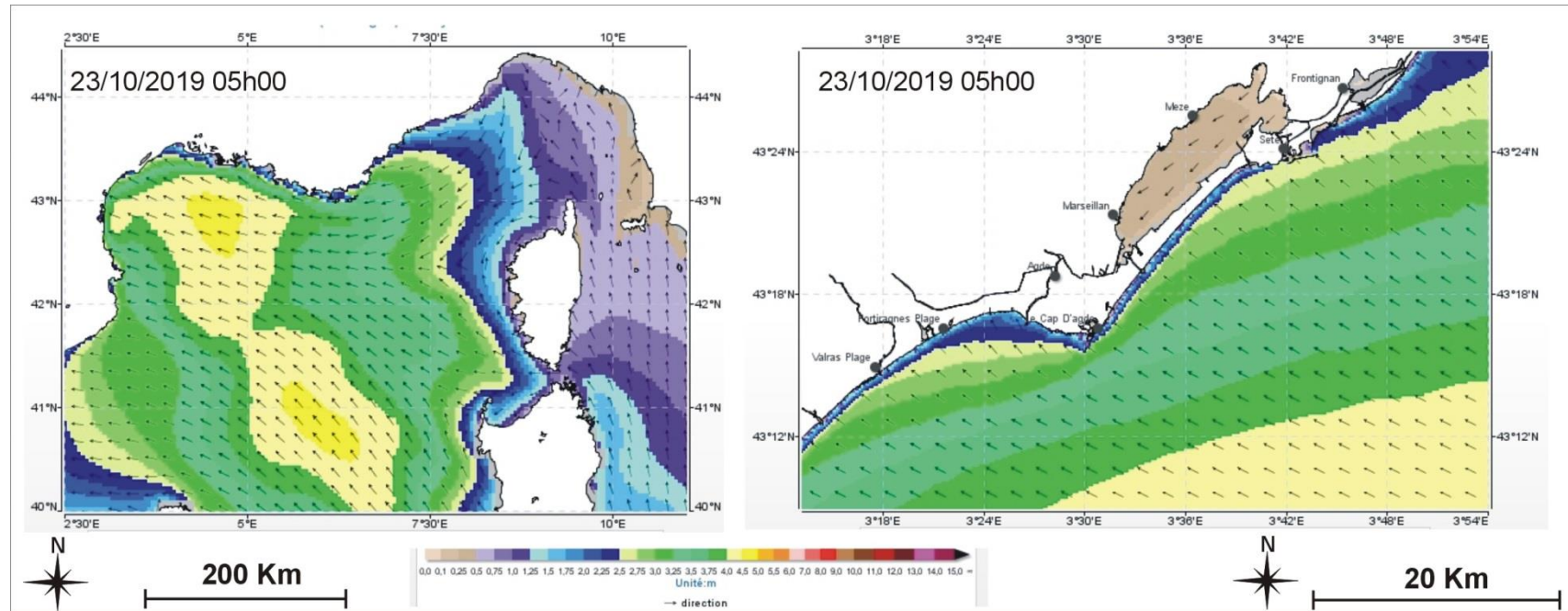


Figure 17 : Autre exemple de propagation des vagues dans l'ouest Hérault pour un cas de houle d'ESE, montrant bien la zone de relative protection dans le secteur sud et ouest du cap d'Agde (source : MARC.ifremer.fr)

Recensement des tempêtes depuis 1979

Un inventaire est présenté de tous les épisodes de classe "forte tempête", c'est-à-dire lorsque les vagues dépassent $H_s = 4,50$ m au large, au niveau des bouées de mesure. En l'absence de mesure très ancienne (bouées houlographes) elles sont complétées par une modélisation rétrospective du DICCA (laboratoire de recherche italien : <http://www.dicca.unige.it/meteocean/hindcast.html>)

Dans le tableau suivant, 43 épisodes de tempêtes ont été enregistrés, grâce à des observations et modélisations sur les bouées au large de Sète et de Leucate. Les données sur Leucate sont ici reprises afin de considérer les coups de mer qui ont touché en priorité la partie sud du département de l'Hérault sur les plages à l'ouest du cap d'Agde (houles majoritairement d'ESE).

- ➔ Les 4 tempêtes les plus importantes de ces 40 dernières années sont ici entourées d'un cadre épais.
- ➔ En orange sont présentés des coups de mer de direction sud à sud-est qui touchent fortement le littoral de l'ouest du cap d'Agde.

Du point de vue **des records**, un classement énergétique (cumul sur l'évènement) a été réalisé sur les évènements les plus marquants :

1/	16/12/1997 : 49 406 506 KJ/m	(et 74 h où $H_s > 2$ m)
2/	07/11/1982 : 31 073 193 KJ/m	(et 56 h où $H_s > 2$ m)
3/	21/02/2004 : 29 012 320 KJ/m	(et 45 h où $H_s > 2$ m)
4/	01/03/2018 : 11 569 546 KJ/m	(et 82 h où $H_s > 3$ m)

La valeur de l'énergie des vagues cumulée sur l'évènement correspond à la somme des puissances de houle dégagées au niveau de la bouée de Sète pour la durée de la tempête. Le calcul se base sur la hauteur des vagues et leur vitesse, modélisées ou mesurées toutes les heures (ou demi-heures) lors de ces évènements, durant le temps où la houle dépasse le seuil de $H_s = 2$ m.

Tableau 4 : liste des fortes tempêtes qui ont marqué des records de hauteur de houle dans l'Hérault (Hs au pic de tempête indiqué à Leucate et à Sète ; en l'absence de mesure le modèle du DICCA est utilisé, ici en texte gris)

Date du pic de tempête	Hs max mesurée à Sète	Hs max mesurée à Leucate	Hs max modélisé à Sète	Hs max modélisé à Leucate
19/01/1979			5,0	5,7
07/11/1982			5,2	5,5
04/12/1987			4,9	5,7
17/11/1989	5,0		4,6	5,1
22/10/1990			5,0	4,8
27/09/1992	4,9		3,7	3,8
14/02/1994	5,2		4,9	4,2
19/10/1994	5,3		4,9	4,5
22/11/1995	4,6		3,2	4,3
08/12/1995	4,7		4,1	4,2
16/12/1995	4,7		4,0	4,5
22/01/1996	4,7		4,2	3,8
16/12/1997	6,8		5,5	6,9
31/12/1998	5,0		3,1	2,6
12/11/1999	5,2		4,8	5,8
23/12/2000	4,9		4,3	5,1
17/10/2003	4,0		4,2	5,6
31/10/2003	>4,1		4,1	3,3
04/12/2003	4,9 (ou 5,7 ?)		4,5	5,1
21/02/2004	5,4		5,3	6,8
28/01/2006			4,1	3,8
18/02/2007	4,8			
21/11/2007	4,4	4,3		
04/01/2008	4,9	4,6		
26/12/2008	4,0	4,7		
21/10/2009	4,5	3,3		
14/01/2010	4,8	4,2		
08/03/2010	3,7	5,5		
11/10/2010		4,8	4,2	
12/03/2011	5,1	4,9		
06/03/2013	4,7	6,0		
24/12/2013	4,4	2,9		
28/11/2014	4,9	4,4		
03/11/2015	4,1	4,0		
27/02/2016	4,3	3,4		
13/10/2016	5,4	5,3		
13/02/2017	4,1	5,0		
25/03/2017	3,8	4,3		
07/01/2018	3,7	4,3		
01/03/2018	5,8	6,1		
15/10/2018	4,8	4,0		
23/10/2019	4,45	4,1		
22/01/2020	3,3	4,8		

Tableau 5 : inventaire du nombre de jours avec des vagues importantes à Sète pour chaque saison depuis l'hiver 2007-2008 (une saison est comptabilisé de début septembre à fin aout)

Saison	nombre de jours Hs > 2 m	nombre de jours Hs > 3 m
2007-2008	10,4	4,3
2008-2009	9,5	1,1
2009-2010	9,5	2,3
2010-2011	12,0	2,6
2011-2012	10,5	0,8
2012-2013	11,6	3,6
2013-2014	9,0	1,3
2014-2015	5,2	0,9
2015-2016	7,5	1,5
2016-2017	16,1	5,4
2017-2018	10,6	2,6
2018-2019	8,9	1,3
2019-2020	12,0	2,4

Bilan des derniers hivers

En comparaison de l'hiver 2016-2017, les 3 derniers hivers n'ont pas été aussi rudes, même si on assiste à une **légère recrudescence du nombre de coup de mer en 2019-2020, mais sans épisode extrême (forte tempête)**.

En termes d'ampleur des évènements, seule la tempête du 23 octobre 2019 et l'épisode Gloria du 22 janvier 2020 sont à remarquer sur la saison dernière. Gloria n'a impacté fortement que les plages de l'ouest Hérault. La dernière grosse tempête en date reste celle du 1^{er} mars 2018, qui constitue un épisode de houle tout à fait exceptionnel, avec une période de retour décennale.

Résultats généraux sur la dynamique sédimentaire des plages de l'ouest Hérault

Les conditions de dérive sédimentaire sur la zone ouest-Hérault

Comme démontré dans les thèses de Certain (2002), Ferrer (2010) et Gervais (2012), grâce à des mesures de courant directement sur les plages de l'Occitanie, le courant principal sur la plage sous-marine lors des coups de mer est le courant de dérive littorale parallèle à la plage.

Ce sont lorsque les vagues arrivent sur l'avant-côte avec une direction oblique qu'un courant dit de dérive littorale se met en place. L'intensité de ce courant de dérive dépend principalement de la taille de la houle au large et de l'angle des crêtes de vagues par rapport à direction perpendiculaire à la plage (cf. Figure 18). Plus les vagues arrivent de biais (non frontalement au trait de côte), plus le courant sera fort.

L'effet du vent sur la modification des courants dans la zone de déferlement est un sujet qui doit être investi plus en profondeur dans les futures études. Les campagnes de mesure indiquent que le vent peut renforcer de manière significative, parfois jusqu'à un facteur deux, les vitesses du courant de dérive.

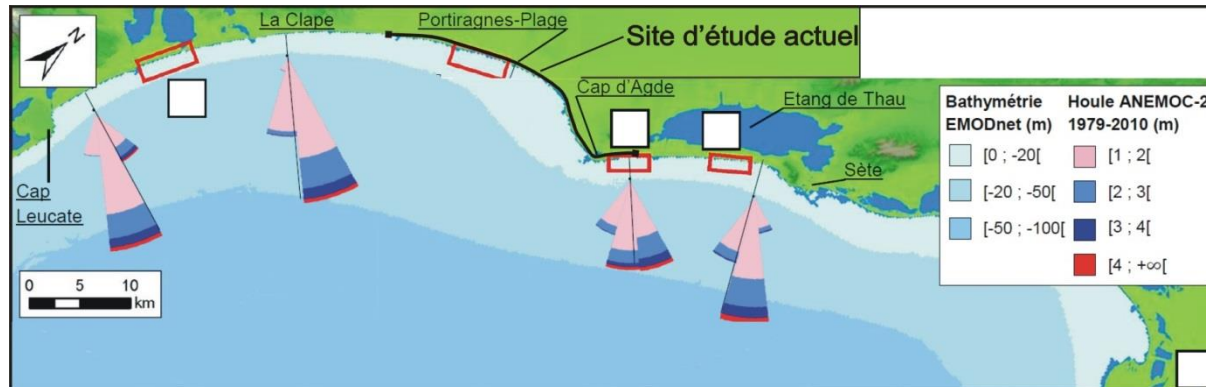


Figure 18 : roses des houles à -10 m en différents points entre Leucate et Sète par rapport à la perpendiculaire au trait de côte (modifié d'après Kulling, 2017). Les rectangles blancs et rouges laissés sur la figure originelle ne donnent pas d'information pour cette étude

Comme vu dans le chapitre précédent, deux directions de dérive antagonistes sont indéniablement à l'œuvre à fréquence horaire/journalière sur la zone car deux directions de tempêtes peuvent avoir lieu, avec des vagues venant soit du SSE, soit de l'ESE. Ainsi donc, sur la zone où le trait de côte est en majorité tourné face au sud-est (perpendiculaire au SE), les vagues de SSE favoriseront une dérive vers le nord-est, et les vagues d'ESE une dérive vers le sud-ouest.

La dérive est souvent décrite dans sa résultante annuelle, basée sur des observations sur plusieurs années/décennies. Toutefois, certaines années, les intensités, voire même le sens du transport sur les plages peut changer. Ce peut être le cas sur les zones limites de séparation des dérives, ou sur les

zones où la dérive habituelle (résultante annuelle) est faible, comme les zones faisant face au sud-est (lido de Sète). Le schéma de principe est expliqué en Figure 19 où « TSL » signifie transport sédimentaire longitudinal :

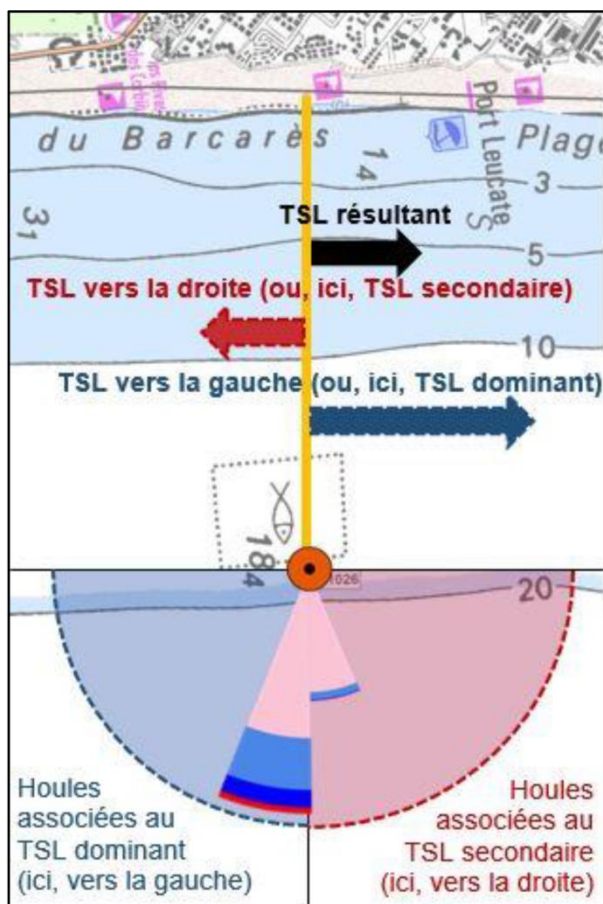


Figure 19 : schéma de principe de deux directions de dérive antagonistes du transport sédimentaire longitudinal (TSL), mais d'une résultante pluri-annuelle dominante dans un sens, en fonction des directions d'incidence et énergies des différentes houles qui touchent la zone, ainsi que la fréquence d'occurrence de chaque type d'évènement (Kulling, 2017 ; ici sur la plage du Barcarès dans les Pyrénées-Orientales)

(N.B. : Sur notre site d'étude, la résultante annuelle montre une direction dominante inversée par rapport à celle du schéma, c'est-à-dire vers la gauche, et donc vers le sud-ouest)

Jusqu'à la thèse de Benjamin Kulling (2017), les conditions de dérive ont surtout été décrites dans l'ouest Hérault d'un point de vue empirique grâce aux observations des accumulations du sable d'un côté des ouvrages en mer, ou bien grâce à l'utilisation de formule de transport simplifiées (formules paramétriques). La Figure 20 montre à quel point ces estimations sur les flux de sédiment longitudinaux sont variables selon les auteurs. Le sens même de la dérive du sable le long des plages peut changer selon les références anciennes. Des estimations originelles ont été faites dans certaines études/thèses, puis reprises plusieurs fois dans de nouveaux travaux, entraînant une confusion. Les méthodes d'estimation des flux différent (période temporelle d'observation, calculs numériques ou observations de terrain,...), c'est pourquoi certains résultats se contredisent.

Tous les auteurs s'accordent sur un sens de dérive littorale dominant vers l'ouest entre l'Hérault et l'Aude, ce flux sédimentaire sur l'avant-côte et la plage étant une des deux branches de la convergence des dérives au niveau de la zone du Narbonnais à Port-la-Nouvelle. Selon les auteurs, l'intensité de la dérive varie fortement avec une intensité du flux sédimentaire moyen estimé entre 10 000 et 100 000 m³/an de sable en transit. La thèse de Benjamin Kulling montre sans équivoque que la dérive est plus forte du côté de Vias que du côté de Vendres. En revanche, à l'est de

l'embouchure de l'Hérault, sur le secteur d'Agde, la bibliographie n'est pas toujours en accord sur le sens de la dérive.

L'étude de Monaco (1971) a permis de montrer que la plage d'Agde contient des sédiments provenant de l'Hérault, malgré les longues jetées d'embouchure qui bloquent une partie des sédiments. Les prélèvements actuels d'Aleman (2013 ; cf. Figure 8 précédente) montrent aussi une décroissance des granulométries (taille des grains) vers l'est et le cap d'Agde. Malgré cela, l'analyse de photographies aériennes historiques montre des effets de transit clairs vers l'ouest à l'ouest de la petite pointe de Rochelongue. A l'est, le dépôt dominant sur la plage de Richelieu s'explique indéniablement par une zone de contre-dérive liée à la réfraction des houles autour du cap et de l'île de Brescou (phénomène déjà décrit par Durand en 1999).

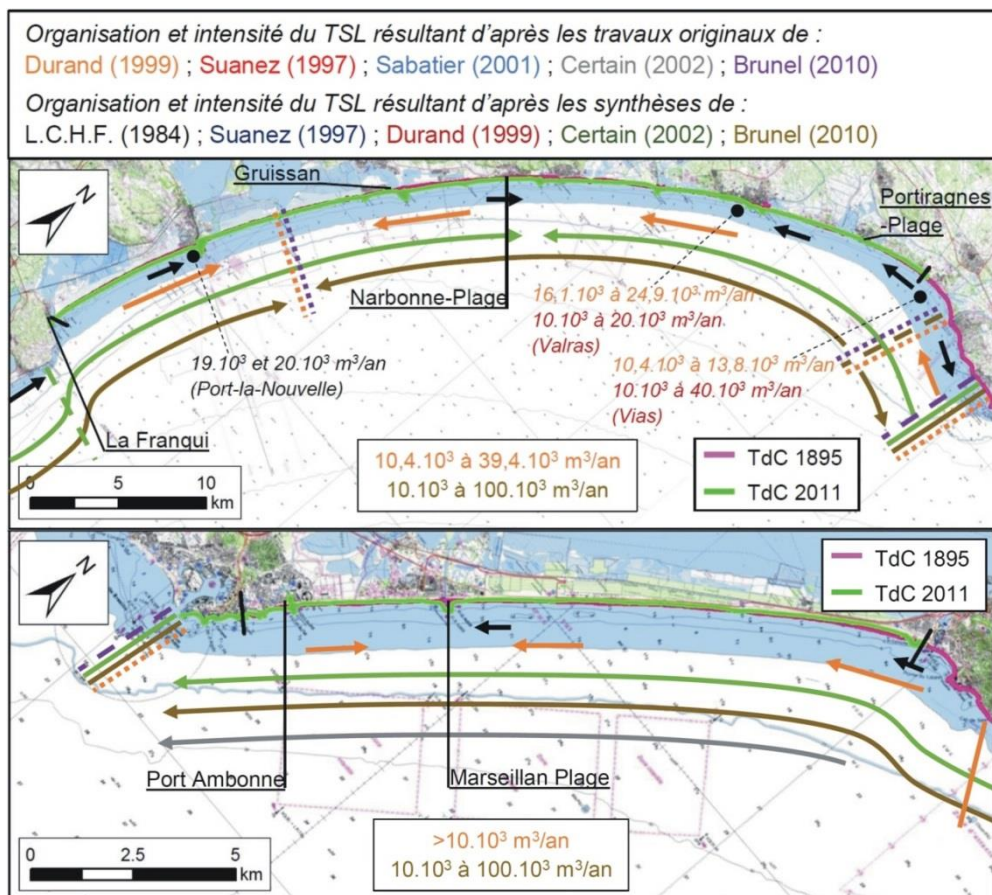
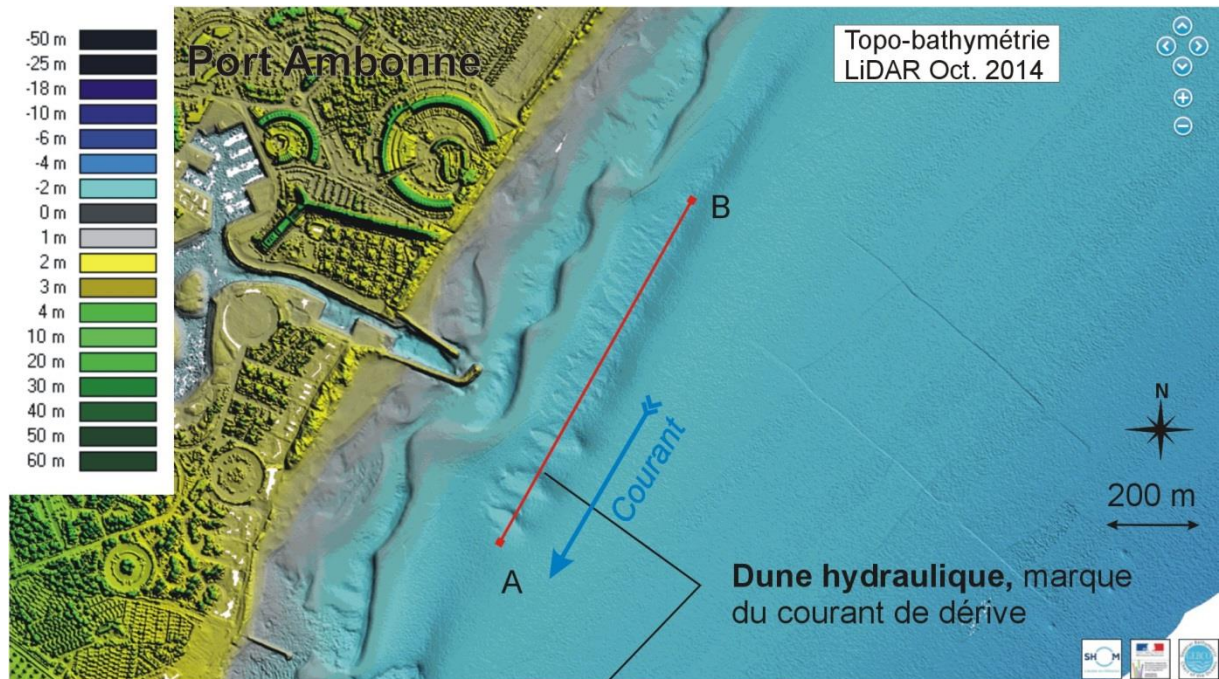


Figure 20 : revue bibliographique sur les intensités des flux sédimentaires annuels de la dérive littorale estimés par les précédents auteurs, d'après Kulling (2017).

A l'est du Cap d'Agde (digue Richelieu), la côte devient nettement plus frontale aux houles de tempête (d'origine ESE), et Kulling (2017 ; Figure 20) montre qu'un désaccord existait anciennement avec des schémas de dérive qui tantôt font converger le sable au niveau du port de Marseillan, ou bien proposent une dérive unique du nord-est vers le sud-ouest entre Sète et le Cap d'Agde.

Nos observations semblent montrer qu'à l'est du cap d'Agde, le flux moyen de sable à l'échelle de plusieurs années pourrait être équilibré dans les deux sens, mais qu'à certaines périodes, le sable remonte vers le NE et le port de Marseillan.

Quoi qu'il en soit, et quel que soit le site, Kulling (2017) signale que la dérive atteint parfois des vitesses fortes sur les systèmes de barre. En effet, des "dunes de courant" sont visibles sous l'eau, dans les fosses entre les barres d'avant-côte, et notamment dans la fosse externe devant Port-Ambonne (comme il est aussi observé ailleurs dans l'ouest-Hérault) :



COUPE BATHYMETRIE DANS LA FOSSE EXTERNE

Figure 21 : illustration de dune hydraulique sur le fond dans la fosse externe, marque de forts courants de dérive entre les barres (bancs de sable plus ou moins parallèle à la plage où déferlent les vagues)

Les expérimentations historiques de traçage du sable dans la région ont montré que les déplacements des grains de sable sous l'effet de la dérive peuvent atteindre des distances de plus de 100 m/jour, occasionnellement, en conditions agitées (voir les exemples et cartes dans l'ancien catalogue sédimentologique des côtes françaises, fascicule méditerranée, de 1984).

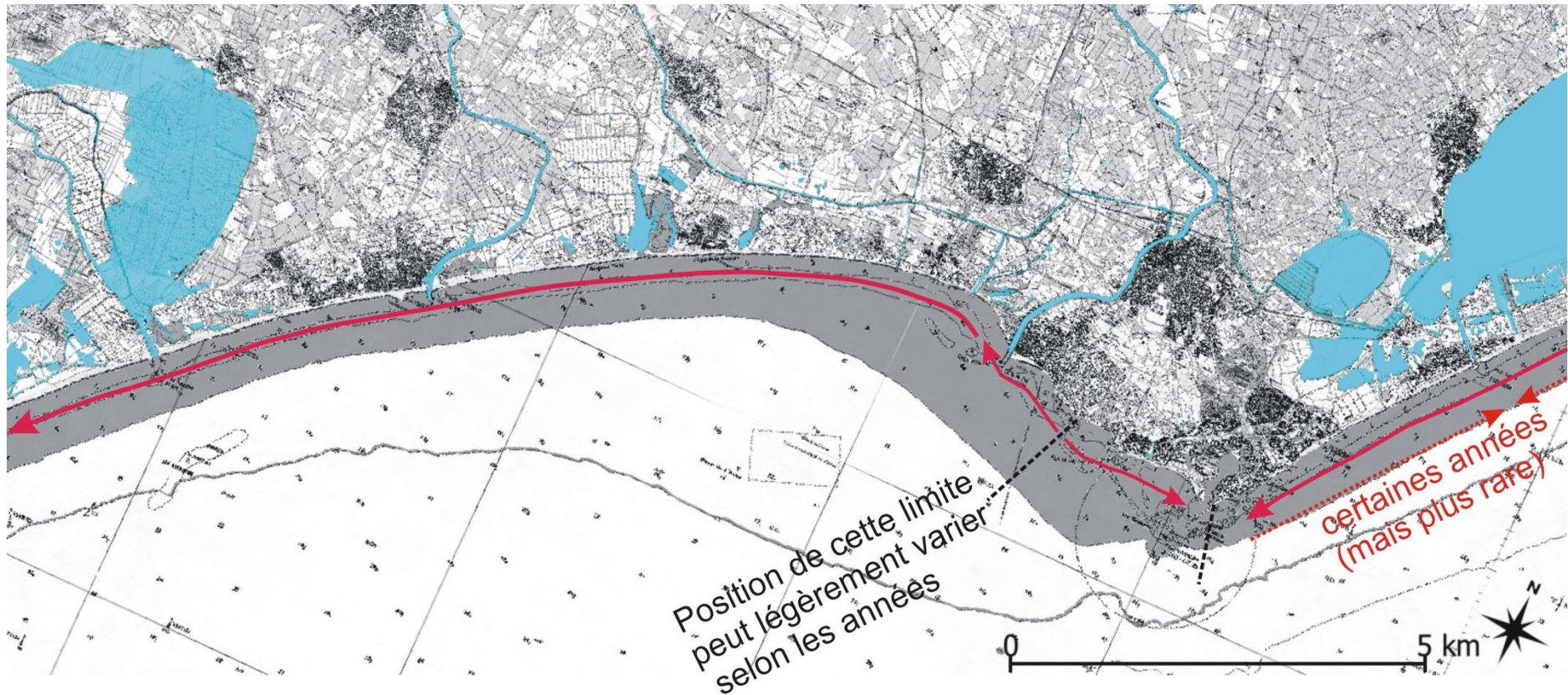


Figure 22 : Schéma général proposant un bilan en 2020 des connaissances sur les directions dominantes de la dérive sédimentaire du sable des plages de l'ouest-Hérault sous l'action long-terme et répétée des courants de dérive longitudinaux (parallèles à la plage).

L'interférence lié aux aménagements sur la dérive littorale et l'équilibre du prisme sableux (principes théoriques)

La dérive littorale redistribue les volumes de sable le long des plages et a permis de construire les cordons littoraux visibles aujourd'hui. La construction d'ouvrages de génie civil sur la plage ou en mer perturbe ce courant et crée des zones d'accumulation et d'érosion différentielle de part et d'autres de ceux-ci. Le principe est décrit en Figure 23, et il est particulièrement marqué pour les ouvrages transversaux de type épis / digues portuaires, mais ce phénomène se produit aussi avec les ouvrages longitudinaux de type brise-lames, où le tombolo de sable qui se crée systématiquement derrière joue un rôle d'épi (en plus du forçage des courants en motifs circulaires). La construction des grandes digues d'embouchures et des batteries d'épis est responsable de l'aggravation de l'érosion en "aval-dérive". Conceptuellement : "avec les épis et les brise-lames on peut maintenir le sable par effet "casier" sur un secteur, mais c'est toujours au détriment du secteur voisin."

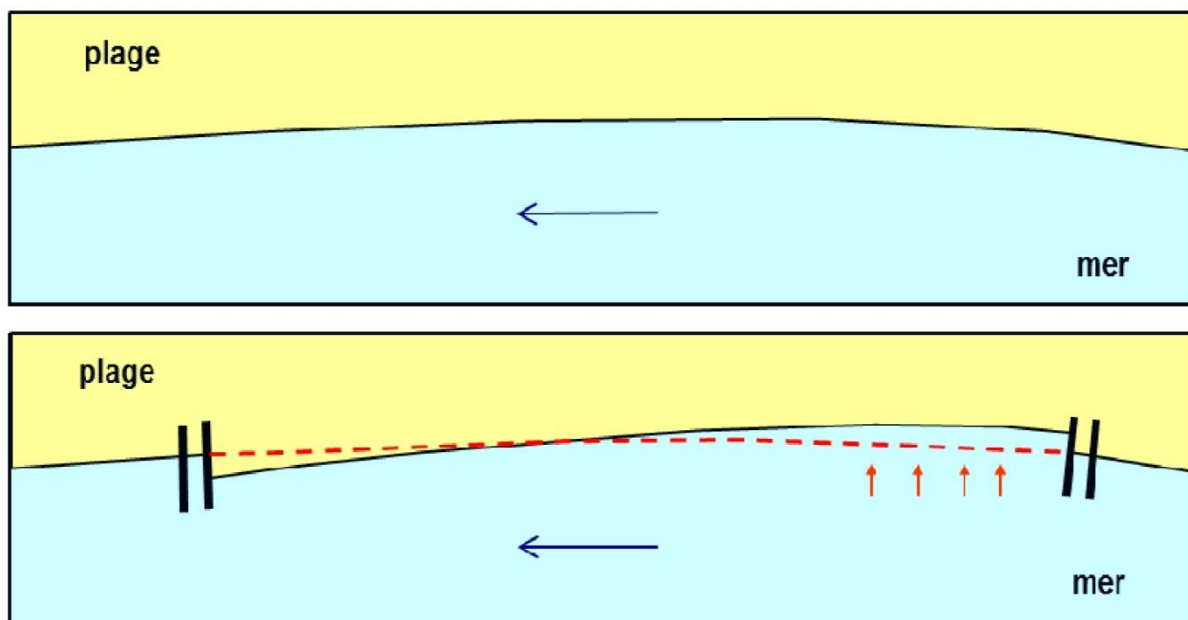
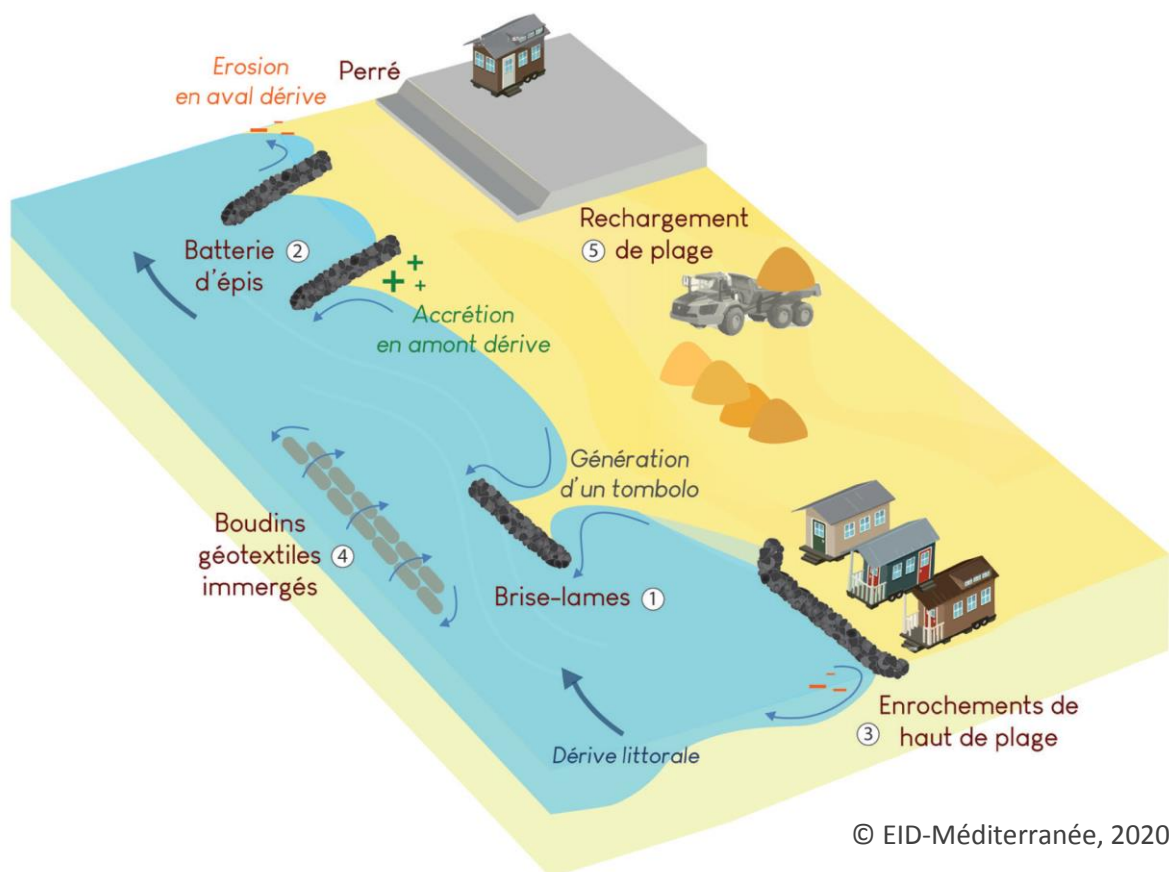


Figure 23 : illustration du blocage de la dérive sédimentaire littorale par des ouvrages transversaux (schéma du rapport CPER BRGM-SOGREAH "aléa érosion" de 2011)

Le schéma ci-après (Figure 24) illustre plusieurs comportements typiques de certains aménagements :

- dans la partie basse du schéma, les digues de haut de plage (puce n°3) favorisent la réflexion des vagues et le creusement de la plage jusqu'à sa disparition, à l'instar des digues de Vias-ouest (qui accélèrent également la canalisation des courants de dérive sous l'eau) ;
- les brise-lames (puce n°1) comme ceux de Valras retiennent le sable à leur pourtour, mais bloquent également la dérive littorale proche de la plage au détriment des zones voisines ;

- les géotubes immergés (comme ceux du site voisin de Sète ; puce n°4) cassent les vagues et leur énergie (capacité de transport) avant la plage, réduisant ainsi les taux d'érosion événementiels (quantités de pertes à chaque tempête), mais le pilonnement des vagues sur la structure force le creusement d'une fosse devant l'ouvrage (côté plage) et à son extrémité (chenaux d'évacuation vers le large de type baïnes) ;
- Comme décrit auparavant, les épis (puce n°2 sur ce schéma) permettent le blocage du sable de la plage et des petits fonds face à l'action de la dérive littorale. Toutefois la dérive continue sur les zones plus profondes devant les épis, et l'entrave aux flux sédimentaire provoque le phénomène d'encoche d'érosion aval-dérive déjà évoqué ;
- enfin, les murs de haut de plage ou les perrés sont également des ouvrages non perméables qui peuvent présenter un effet très réfléchif pour les vagues de tempête, et entraver totalement la possibilité de développement d'une dune, nécessaire à une bonne résilience du système sableux littoral.



© EID-Méditerranée, 2020

Figure 24 : Schéma de principe montrant les différentes perturbations liées aux ouvrages de défense dite "dure" et aux méthodes de génie-civil

Historique des aménagements et interventions humaines

Base de données ouvrages en dur

Un travail d'étude sur les images aériennes d'archives de l'IGN (campagnes ortho-photographiques de clichés argentiques) nous a permis de retrouver ou préciser les dates des différents aménagements, retranscrites sur les 3 cartes suivantes. Ces observations complètent les bases de données existantes (celle de la DREAL-Occitanie et du plan de gestion des sédiments, et la base de données interne à l'EID). Ce travail permet de distinguer 4 grandes périodes de temps vis-à-vis de l'histoire des aménagements du littoral, que nous utiliserons ensuite pour comprendre les mouvements du trait de côte :

- avant 1962 → période anté-aménagement. Quelques digue en mer : à l'embouchure de l'Orb (ouest) et de l'Hérault (XVIII^{ème} siècle) ; ainsi que la digue richelieu à l'extrémité du cap d'Agde
- 1962-1977 → mission Racine : construction des principales digues d'embouchure/ports
- 1977-2009 → période "moderne" post-aménagement avec mise en place progressive de la majorité des épis, brise-lames et épis en T sur les plages pour défendre l'urbanisation. C'est lors de cette période que l'endiguement de l'Aude a été finalisé.
- 2009-2019 → période actuelle ("post-moderne") qui prône davantage les rechargements et les méthodes douces (sauf en zones urbaines à enjeux ; cas des brise-lames du grau d'Agde, les derniers construits sur cette période).



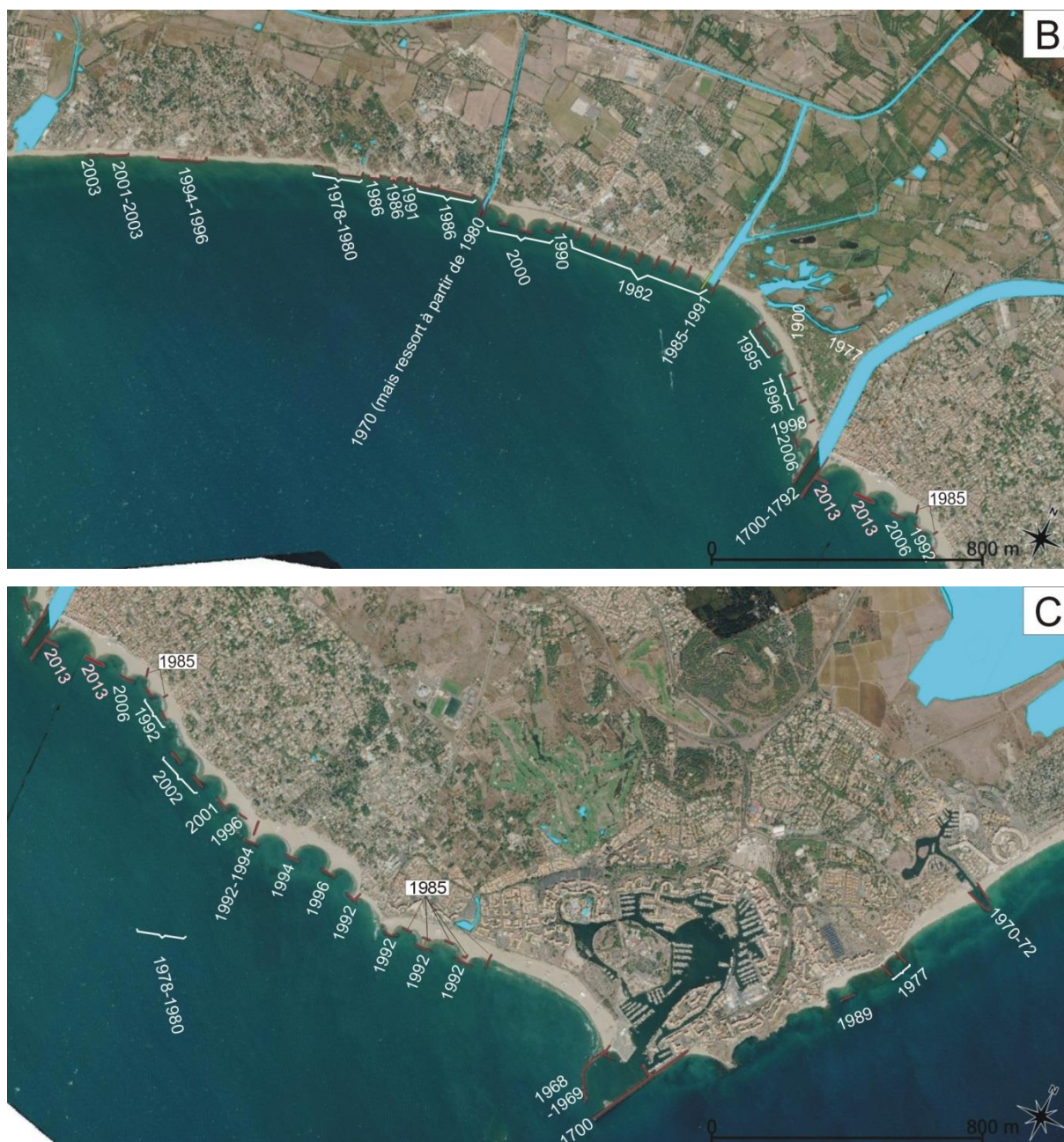


Figure 25 A, B, C : dates de construction des ouvrages en mer édifiés sur les plages de l'ouest-Hérault

Inventaire des rechargements

Les rechargements de sable sur la zone d'étude sont des manifestations récentes d'un mode de gestion, défini comme "souple", en écho à l'aggravation de l'érosion et des risques liés aux reculs du trait de côte sur les secteurs de Valras, Vias et du Grau d'Agde.

La majorité des rechargements effectués depuis 2008 sont connus. Toutefois, nous pensons que des rechargements anciens, associés à la construction de nouveaux épis ou brise-lame n'ont pas été documentés et ne figurent donc pas dans les archives bibliographiques que nous avons pu rassembler et exploiter.

Tableau 6 : inventaire temporel des rechargements et de leur caractéristiques sur la zone d'étude (valeurs issues du PGS en marron : étude CEFREM, rapport A-1, Raynal et al., 2011)

Commune	Localisation	Date	Volume (m3)	Source de sédiment
Vendres	au NE sur le point d'érosion	2008	35 000	Orpellières (850 m de linéaire de barre interne sur la commune de Valras)
Valras-Plage	???	1992	50 000	???
Valras-Plage	???	1995	22 500	???
Valras-Plage	???	1999	60 553	???
Valras-Plage	au sud-ouest derrière 3 nouveaux brise-lames	2008	55 000	Orpellières (850 m de linéaire de barre interne sur la commune de Valras)
Valras-Plage	ouest de Valras	???	90 000	Surement dragage du port (190 000 m3)
Valras-Plage	A côté du port de Valras à l'ouest	???	100 000	Surement dragage du port (190 000 m3)
Portiragnes	répartis sur la plage	2015	10 000	Orpellières (800 m derrière la barre externe sur la commune de Valras)
Vias-plage	entre le camping Petit-Mousse et l'ancien Libron	2015	60 000	Orpellières (800 m derrière la barre externe sur la commune de Valras)
Vias-plage	Farinette derrière les 3 brise-lames	mars-avril 2000	33 000	50 353 m3 prélevé dans l'Ardaillon pour son curage (tout ce stock n'était pas exploitable ?)
Vias-plage	Farinette (reconstitution dune ouest du parking)	2017	estimé faible	
Vias-Agde (limite)	curage Ardaillon (gestion édifice CAHM)	dec. 2019	11 000	curage débuté en décembre curage mis en œuvre suite étude Artelia-EID, puis volumes redistribués sur épis de part et d'autre (Farinette et Tamarisnières, casiers en érosion)
Agde	Tamarisnière	???	4 000	???
Agde	???	1985	???	???
Agde	???	1995	17 000	???
Agde	Grau Agde (derrière nouveaux brise-lame)	oct-nov 2013	estimation 24 000 à 30 000 m3	dragage de l'embouchure de l'Hérault (EMCC-Vinci)
Agde	Saint-Vincent	2005-2006 ?		???
Agde	Cap d'Agde	???	3 000	???
Agde	entre cap d'Agde et Marseillan	???	5 000	???
Marseillan	Marseillan-palge	???	2 000	???

Sur la zone d'étude, l'essentiel des sources de sable utilisées pour les rechargements proviennent des 3 grandes embouchures, de certains graus endigués qui piègent aussi le sable (ex. : l'Ardaillon), et surtout du seul secteur où du sable s'accumule encore fortement sur la plage sous-marine : l'avant-côte des Orpellières.

Détails des projets d'interventions récents

De l'embouchure de l'Aude à celle de l'Orb : le cas de la limite Valras-Vendres

L'aménagement de Vendres est indissociable des aménagements de la commune voisine de Valras. Depuis le début des années 2000, le front de mer à l'extrémité ouest de Valras se trouvait régulièrement impacté par les coups de mer. Une grande encoche d'érosion en aval dérive des brise-lames du centre-ville de Valras s'était formé sur une distance de près d'un kilomètre, à cause de la rétention du sable par les ouvrages (Figure 26). Comme à Vias-ouest aujourd'hui, cette érosion était renforcée depuis 2004 par la construction d'une protection en enrochement sur le haut de plage sur un linéaire de 400 m à l'extrémité ouest de Valras :

21 Aout 2006



09 Mai 2015



Figure 26 : Evolution de la situation du secteur de Valras ouest – Vendres avant et après les travaux, d'après une vue oblique Google Earth ©. Points rouges : limites des brise-lames immergés en enrochements et en géotextile, ouvrages placés sur une même ligne continue. Traits de côte de 2006 surligné sur les deux images

Pour remédier à cette situation critique, un chantier important a été entrepris en plusieurs étapes durant les années 2007, 2008 et 2009 (Clercq-Roques, 2009). Ce chantier comprenait :

- ✓ la construction de trois nouveaux brise-lames en 2007 et 2008 jusqu'à la terminaison ouest de Valras, et l'édification d'un nouveau cordon dunaire avec un apport de 10 000 m³ de sable
- ✓ le rechargement en avril 2008 de 45 000 m³ de sable sur la plage entre ce cordon et les nouveaux brise-lames
- ✓ la construction simultanée d'un brise-lame immergé de type butée de pied en enrochement, sur les 300 premiers mètres du littoral de Vendres (réalisé en mai 2008) ;
- ✓ en accompagnement de cet ouvrage, un rechargement de 35 000 m³ à Vendres, également en avril 2008, sur les 150 premiers mètres depuis Valras
- ✓ et enfin, les travaux se sont terminés en mai 2009 par la prolongation du brise-lame sur 240 m vers le sud-ouest grâce à un boudin géotextile.

Les 90 000 m³ de sable de ces opérations ont été pris sur la barre interne de la plage des Orpellières.

La profondeur d'immersion (submergeance) de la crête des ouvrages atténuateurs de houle était prévue à -1,80 m sous la surface de la mer. Les données LiDAR de 2015 font apparaître cette profondeur à -2 m sur le brise-lame en enrochement, et à -2,50 m sur le géotube. Ce dernier semble avoir été particulièrement mis à mal lors des tempêtes, et seules deux petites portions de l'ouvrage d'une cinquantaine de mètres étaient encore visibles à l'été 2015, alors que les données LiDAR de 2011, montre que l'essentiel des sacs containers géotextiles étaient encore en place (à l'été 2011). Plusieurs containers en géotextiles se sont sans doute ensablés ou au contraire déchirés durant cette période. Sur le brise-lame en enrochements, l'approfondissement de la crête est certainement lié à des effets de tassement de la structure. En 2020, nous n'avons relevé aucune trace des géotubes sur les données bathymétriques et les images satellites.

Comme le montre la figure suivante, la largeur de plage initialement de 40 m au terme du projet en 2009, devant le camping le plus à l'est du site, n'a pas réussi à contenir l'effet d'érosion aval-dérive des brise-lames de Valras. Malgré le déploiement d'un brise-lame immergé, la dune de Vendres est aujourd'hui érodée en falaise sur 300 m de linéaire de cordon face à la terminaison ouest de l'ouvrage marin en enrochements, où la largeur de plage est seulement de 20 m dans la zone la plus érodée.

Comme le montre la Figure 27 suivante, l'érosion semble s'aggraver fortement après l'été 2015. Ce point s'explique par un climat des houles plus énergétique ces dernières années, mais aussi par la disparition de l'ouvrage en géotextile. Les tempêtes du 06/03/2013 et du 28/11/2014 ont probablement fini de démanteler les géotubes immergés.

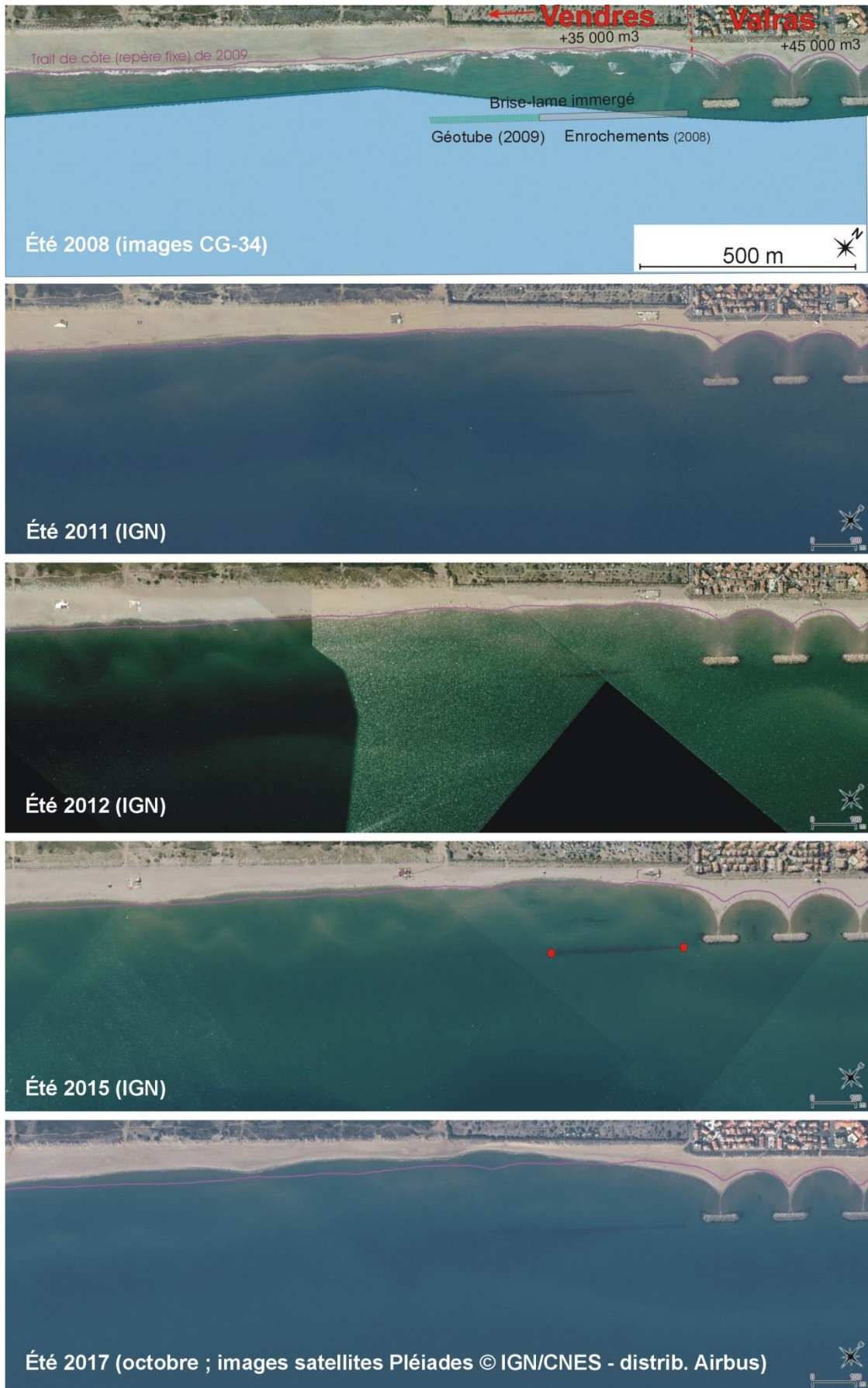


Figure 27 : chronologie sur image aérienne du recul de la plage (et des phases d'ensablement des ouvrages immergés)



Figure 28 : évolution récente de la plage de Vendres/Valras entre 2015 et 2020 ; seuls les enrochements immergés sont visibles aujourd'hui (délimités ici par des points rouges)

Comparaison du cas de Vendres par rapport à celui de Sète

Cet aménagement présente un succès et une utilité nettement plus mitigés que celui de Sète. Si les 3 nouveau brise-lames de Valras semblent avoir fixé de manière efficace la position du trait de côte, ils ont en revanche certainement déplacé et aggravé le problème d'érosion sur le début du secteur de Vendres, mettant en défaut la position du cordon dunaire actuel.

Dans ce cas, l'ouvrage atténuateur de houle semble montrer une efficacité nettement plus mitigée qu'à Sète, et ceci peut s'expliquer par plusieurs raisons :

- Dans le cas de Vendres, le brise-lames paraît plus étroit, et sa profondeur de crête est légèrement inférieure après plusieurs hivers de tassement et affouillement (-1,6 / -2 m). Ce dernier paramètre est le facteur majoritaire conditionnant l'efficacité du coefficient de dissipation de la houle afin de réduire l'agitation et donc les courants proches de la plage.
- L'ouvrage de Vendres est placé plus proche de la plage, sur le revers de la barre interne qui était déjà en place à des profondeurs équivalentes. De fait, cela améliore légèrement la dissipation de la barre sableuse, mais l'absence de fosse devant l'ouvrage témoigne indéniablement que son efficacité réelle pour réduire l'agitation est plus anecdotique. Il fait donc un peu "double emploi" dans ce cas.
- Le brise-lame immergé de Vendres est nettement plus court que celui de Sète.
- Le géotube mono-boudin n'a quant à lui pas tenu face à la forte agitation et n'a pu jouer le rôle escompté. Ceci explique que l'encoche d'érosion se soit formée à l'ouest de l'ouvrage devant le géotube entre 2015 et 2017. Notons que la largeur de 5-6 m de ce géotube sur le profil est de moitié inférieure à celle de l'ouvrage double boudin de Sète, qui est également plus large en crête que la partie sommitale du brise-lame en enrochements de Vendres (voir plans ci-après en Figure 29).

Brise-laves et géotubes de Vendres face aux doubles géotubes de Sète, dimensions :

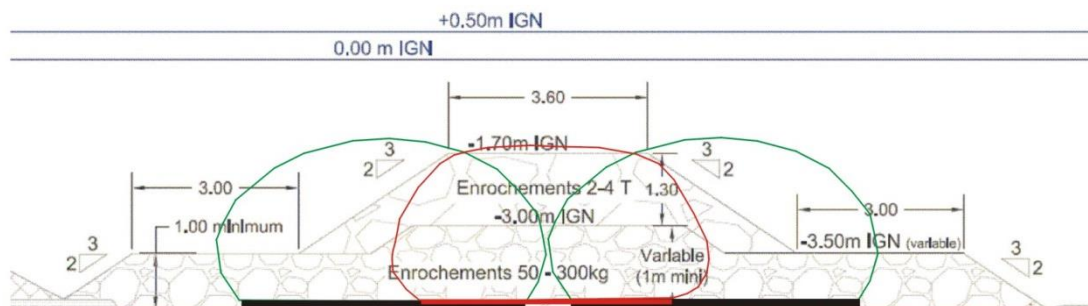


Figure 29 : comparaison du brise-lame en enrochement (plan en noir) et du géotube de Vendres (en rouge) avec le double géotube de Sète (en vert).

De l'Orb à l'Hérault : le cas de Vias en particulier

Afin de remédier à l'érosion chronique sur le secteur de Vias, un dragage des bancs de sable contre l'Orb a été réalisé en mars-avril 2015. Un volume de 70 000 m³ a été prélevé au droit des Orpellières, avant d'être déposé sur la plage et le nouveau cordon à l'extrémité du secteur de Vias-Ouest (60 000 m³), ainsi que pour recharger la plage de Portiragnes (10 000 m³). Le rechargement et le nouveau cordon de Vias concernent un linéaire côtier de 900 m environ. Ces travaux ont permis la suppression des 400 m de digues de haut de plage qui accéléraient par le passé le phénomène d'érosion.

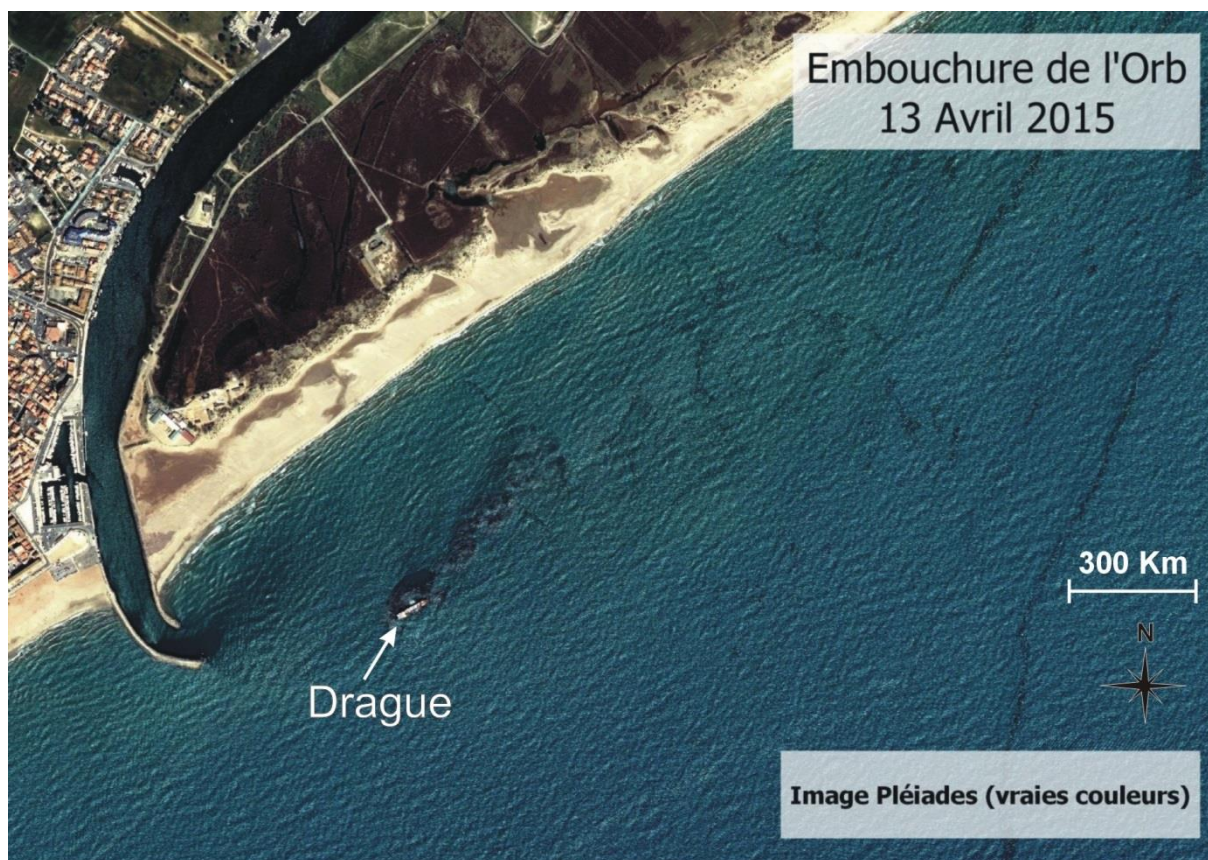


Figure 30 : image satellite haute résolution de 2015 du satellite Pléiades (© CNES/IGN/Airbus) traitée par l'EID (projet SENVISAT, EID, 2018), montrant le dragage en cours des bancs de sable des Orpellières pour le rechargement de Vias et le panache de turbidité induit se propageant vers le nord-est.



Figure 31 : illustration de la situation ancienne à Vias-ouest avec des enrochements devant le parking du camping GCU, (visibles sur la moitié gauche de la photographie ; © photo EID / CD-34, 2012)

Depuis 2015, dès le premier hiver après sa construction, ce nouveau cordon ne cesse d'être attaqué par les vagues et des dégâts sont observés à chaque tempête avec des destructions fortes des ouvrages (lignes de ganivelles, escaliers et rampes d'accès PMR) ; le creusement du cordon a nécessité la modification des accès ainsi que des travaux d'urgence de consolidation pour éviter l'ouverture d'une brèche (risque de submersion marine pour les zones de camping en arrière-plage).



Figure 32 : photo de Vias près du Libron le 03 novembre 2015 © photo EID-Méditerranée



Figure 33 : photo prise de la portion centrale-ouest du cordon de Vias (encoche de très forte érosion) le 27 février 2019 © photo EID-Méditerranée



Figure 34 : photo prise de la partie centrale-Est du cordon de Vias le 21 octobre 2020 (un peu plus à l'Est du point d'érosion de 2018 et 2019)



Figure 35 : évolution du trait de côte entre 2012 et 2020 (sur la base de photographies aériennes de l'IGN (2012, 2015, et 2018) et d'image du satellite Pléiades (© airbus/CNES/spatial IGN, pour 2017, 2019, 2020)). Les flèches rouges indiquent les principales zones d'impacts liés à des coups de mer. Ces zones se déplacent dans le temps en fonction de la topographie de la plage et du mouvement saisonnier du sable (déplacement des barres d'avant-côte et changements de leurs formes de croissant). Le trait de côte affiché en noir est fixe et représente celui de l'été 2015.

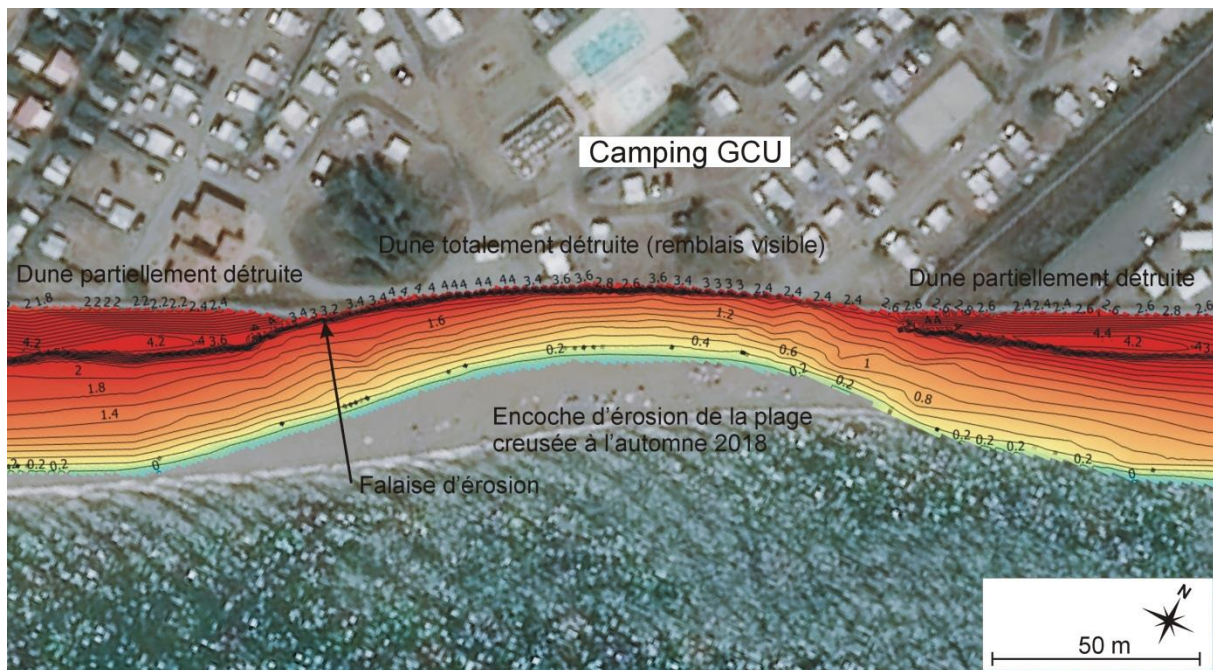


Figure 36 : carte topographique de la zone détruite du cordon de Vias en février 2019 ; courbes de niveau cotées selon le référentiel altimétrique NGF -IGN69 ; fond image satellite Pléiades d'août 2018 IGN- CNES-Airbus ©)



Figure 37 : photo aérienne oblique du nouveau cordon dunaire de Vias-Ouest le 21 juillet 2015 (et barre interne sous-marine en croissants aux festons très marqués cette année-là) ; © EID – CD34, 2015.



Figure 38 : évolution en vue oblique de la plage (images aériennes Google Earth du 9 mai 2015 et du 5 avril 2020.

Ancien grau du Libron

Une procédure d'information et d'enquête publique pour un projet de dragage de l'ancien grau du Libron est en cours. L'objet du projet est de lancer le dragage du grau, qui a tendance à piéger le sable lors des coups de mer. Une évaluation du volume de sable disponible a été faite par l'EID en 2019 pour le compte de la CAHM.

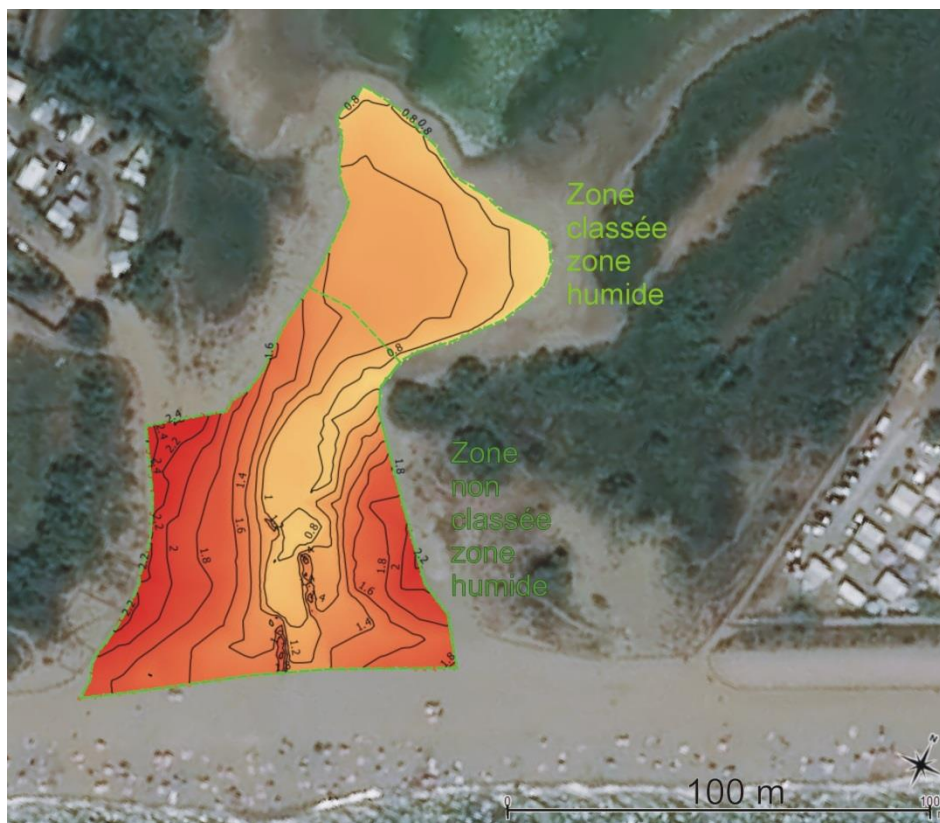


Figure 39 : carte topographique de la zone de prélèvement potentielle de l'ancien grau du Libron (février 2019, courbes de niveau cotées selon le référentiel altimétrique NGF-IGN69 ; fond image satellite Pléiades d'août 2018 IGN- CNES- Airbus ©)

Lors du levé de février 2019, et lors de levés précédents (mai et septembre 2018), nous avons pu constater que **le niveau de la lagune du Libron est en général plus haut que celui de la mer**. Alors que le niveau marin se situe en moyenne au repos (sans houle) autour de 0,10 m NGF, **le niveau de la lagune se situe lui bien souvent entre 0,50 et 0,80 m NGF**, et cela fut observé lors de périodes plutôt sèches et éloignées d'épisodes de fortes pluies. Cette différence s'explique certainement par le fait que la lagune est reliée à un réseau hydrographique, lui-même connecté au canal du midi. C'est pourquoi le rapport préconise de curer le lobe sableux du grau du Libron sans descendre plus bas que le niveau d'eau de la lagune → pour des questions pratiques, pour un dragage par pelle mécanique nous conseillons de ne pas creuser en dessous de l'altitude 0,70 m NGF

D'après les derniers calculs de l'EID, le volume de sable disponible dans l'ancien grau du Libron est de 4 321 m³ au-dessus d'une altitude de terrassement de 0,70 m NGF ; 3 780 m³ de ce volume sont situés en dehors de la zone de classification en zone humide (Figure 39).

L'embouchure de l'Ardailon

En décembre 2019, une opération de dragage a été réalisée dans l'embouchure en mer de l'Ardailon (fleuve côtier de très petite taille), afin de rétablir des possibilités de navigation pour bateaux légers. Ce chenal s'ensable ostensiblement depuis la dernière opération de curage qui a eu lieu en 2000 par l'ancien Service Maritime (SMNLR). Pour cette nouvelle opération, seule la partie sableuse (11 000 m³) des sédiments présents a été extraite, la fraction vaseuse n'a pas été prélevée.

Ces sédiments qui présentent les mêmes caractéristiques que les sables des plages voisines, car de même origine, ont été acheminés sur le littoral dans les deux secteurs où un recul du trait de côte est observé :

- sur la plage de Farinette, dans les casiers centraux de la batterie d'épis ;
- dans la partie centrale de la plage de la Tamarissière sur la commune d'Agde, dans les 3 premiers casiers d'épis coté est.



Figure 40 : image aérienne du chenal de l'Ardailon le 27 juin 2018, montrant son fort ensablement (© photo EID / CD-34)

Malgré l'opération de rechargement des plages (opération légère), aucune avancée du trait de côte n'est visible entre 2019 et 2020 sur les images ci-après (Figure 41).



Figure 41 : comparaison d'images satellites Pléiades récentes (© CNES/airbus/IGN) sur le chenal de l'Ardaillon

Le littoral d'Agde et le cas du grau d'Agde

A Agde, tout comme à Vias, de très nombreux rechargements de petite ampleur ont été effectués par le passé, mais les recherches bibliographiques ne nous ont permis de retrouver que peu de dates.

Au Grau d'Agde, le rechargement de 2013 qui a accompagné le nouveau brise-lames a été annoncé comme de l'ordre de 30 000 m³. Toutefois, la réponse du prisme sableux à cette nouvelle configuration d'ouvrages n'a pas été favorable puisque l'observatoire du front de mer se trouve maintenant directement dans l'eau et réfléchit les vagues lors des tempêtes.

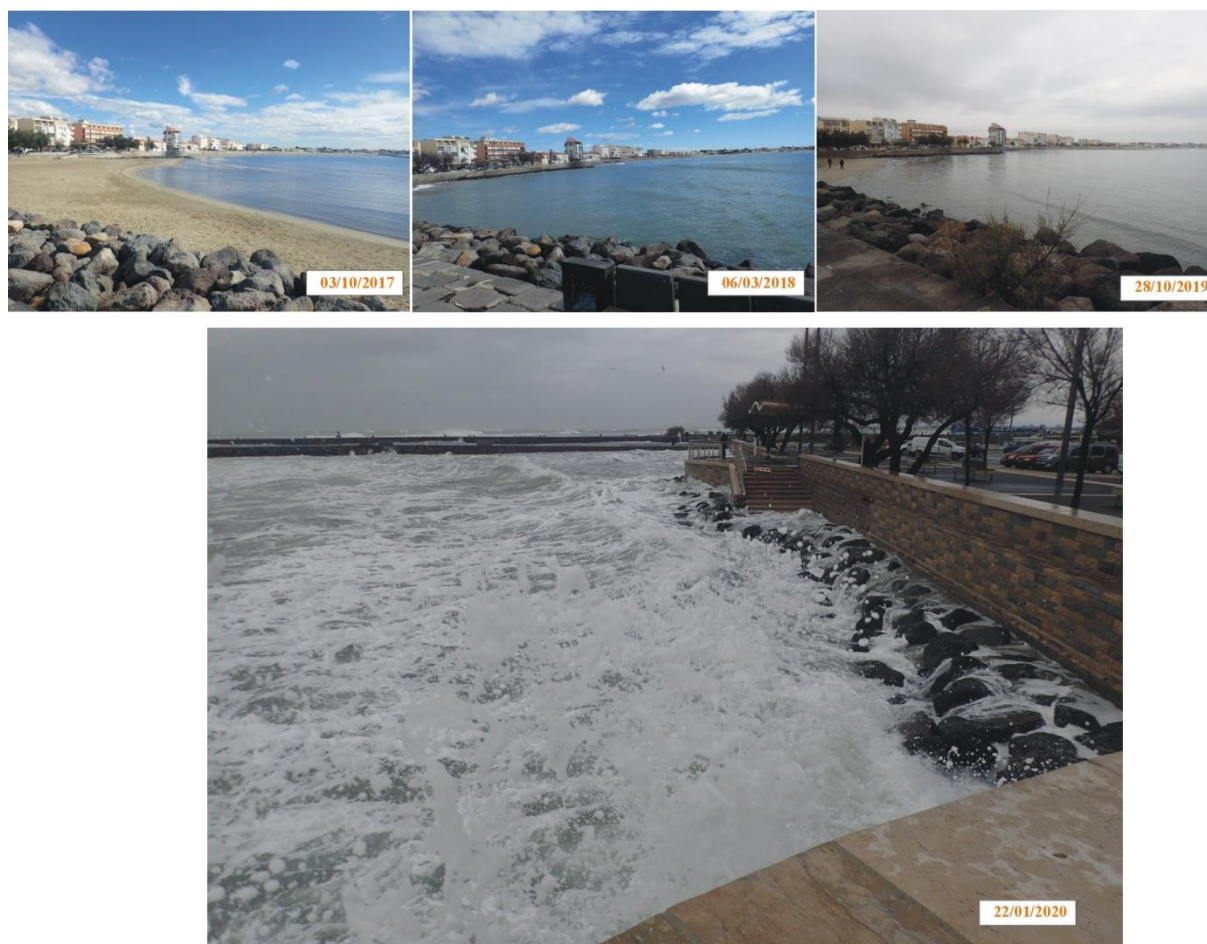


Figure 42 : photos issues du suivi régulier du littoral du grau d'Agde par l'EID-Méditerranée, montrant l'augmentation du processus d'érosion (en haut) suite à l'installation du nouveau brise-lames et l'effet néfaste du promontoire en haut de plage, qui devient un ouvrage réfléchissant lors des tempêtes (photo du bas).

Immédiatement après la tempête décennale du 1^{er} mars 2018, un transfert du sable a été réalisé par les services techniques agathois. L'article <https://www.herault-tribune.com/articles/167712/littoral-apres-la-tempete-la-plage-du-grau-d-agde-est-reconstituee/> (Figure 44) indique: "Nous avons un stock important de sable sur le secteur Saint Vincent. Ces derniers jours, nous en avons prélevé entre 4 et 5 000 m³ pour les repositionner sur la plage du grau d'Agde qui a beaucoup souffert du dernier épisode météorologique " (Christophe Bourdel, Directeur Général des Services).

Des sources à vérifier (réseaux sociaux ; Figure 45) évoquent en 2020 des rechargements réalisés sur le même secteur.



Figure 43 : illustration de l'érosion à l'ouest d'Agde (2009-2020 ; ligne rouge trait de côte fixe ; © EID-Méditerranée, 2020)



Figure 44 : travaux d'urgence de transfert de volumes de sable sur la plage d'Agde entre le secteur Saint-Vincent et la plage du Grau en érosion (<https://www.herault-tribune.com/articles/167712/littoral-apres-la-tempete-la-plage-du-grau-d-agde-est-reconstituee/>)



Figure 45 : rechargement (?) en sable en mars 2020 (<https://zh-cn.facebook.com/LeMagazineduCapdAgde/posts/le-rechargement-en-sable-de-la-plage-du-grau-dagde-est-en-coursdans-le-cadre-de-/3064799526872531/>)

Les différents découpages connus des cellules littorales

Par le passé, de nombreux découpages différents ont été proposés afin de séparer les différentes cellules sédimentaires qui constituent le littoral de l'Ouest-Hérault. Comme le montre la carte de la Figure 46, ces découpages se reposent sur les obstacles naturels que sont le cap d'Agde et les différentes embouchures ou graus de grande taille, mais également les digues en mer calibrant ces graus/embouchures.

Les cellules proposées par Durand, dans sa thèse de 1999, sont fondamentalement similaires aux grandes cellules proposées par la DREAL-Occitanie présentées en Figure 46, à l'exception d'un découpage au niveau de l'embouchure actuelle du Libron et non son ancienne. Le découpage proposé dans l'étude de l'aléa érosion du BRGM et de SOGREAH (aujourd'hui Artelia) en 2011 au cours du CPER est similaire.

Dans son plan de gestion des sédiments et dans le document fondateur qu'est *l'Atlas de l'évolution des fonds et des budgets sédimentaires séculaires de l'avant côte du Languedoc-Roussillon* (Brunel et al., 2012), le CEFREM propose un découpage plus fin où les "unités sont définies en fonction du budget sédimentaire et de limites structurales naturelles ou anthropiques qui contraignent le comportement morphodynamique de l'avant côte". Ce découpage se base donc sur une réalité terrain liée aux conditions de dépôt et d'érosion historiques, principalement d'après l'évolution des anciennes bathymétries du SHOM entre 1895 et 1984. La zone d'étude inclut les cellules 20 à 27 de ces travaux (la 20 et la 27 étant à considérer partiellement).

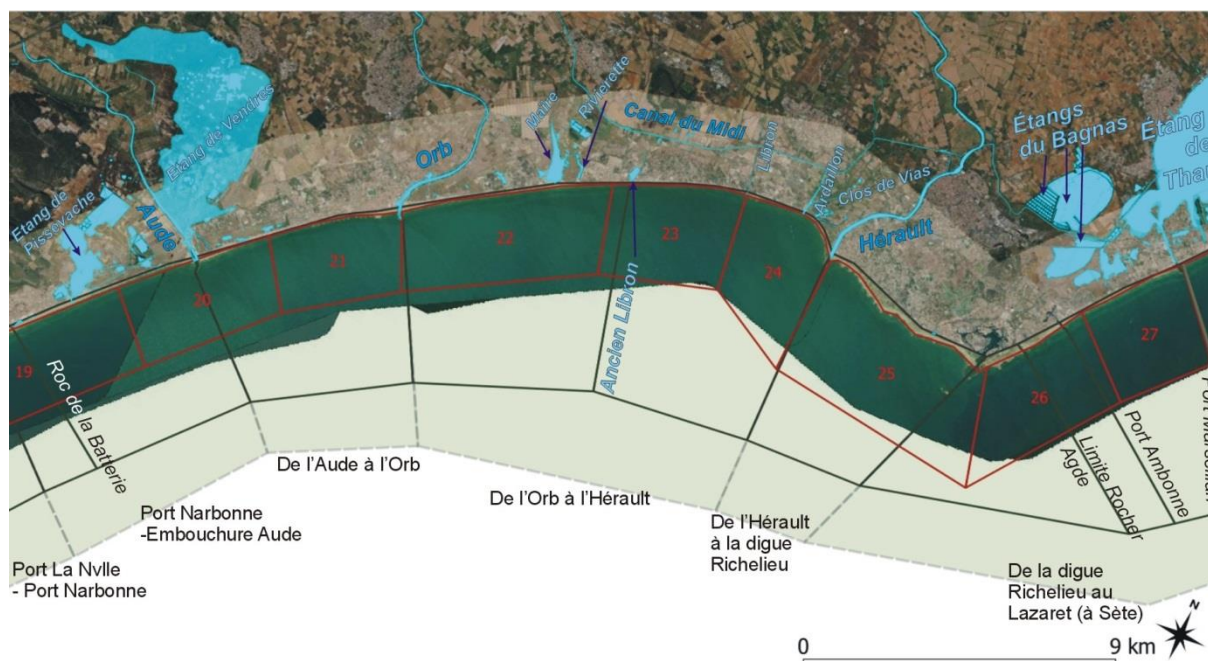


Figure 46 : les différentes cellules sédimentaires littorales décrites dans la bibliographie : en rouge, les "unités" (en réalité sous-unités) proposées par le CEFREM, et en noir et gris pointillés les cellules et sous-cellules proposées par la DREAL-Occitanie.

Constats :

- Aucun des découpages ne tient compte d'une séparation de cellule au niveau de la zone de divergence et de séparation des dérives sur le littoral à l'ouest du cap d'Agde (zone de séparation d'une cellule selon la définition qui lui est propre)
- Ces résultats montrent, s'il est nécessaire de l'évoquer, que le littoral ouest-héraultais présente des obstacles qui ne coïncident évidemment pas avec les limites administratives. Aussi, est-il essentiel de rappeler que la majorité des limites qui sont décrites n'est pas totalement imperméable au transit du sable et que seules les grandes embouchures et la digue Richelieu (au cap d'Agde) forment des obstacles à la dérive vraiment conséquents, en particulier pour la fraction du volume de sable la plus grossière qui constitue la plage émergée.

Les Obstacles en enrochements suivants ont été classés par ordre d'importance d'après les données bathymétriques LiDAR de 2015 (ce classement doit légèrement varier dans le temps selon les crues et la dynamique des bancs de sable):

1. Embouchure de l'Hérault (-9 m devant le musoir des digues)
2. Digue Richelieu (-7 m devant la digue ouest)
3. Embouchure de l'Aude (-5,2 m sur la barre externe sableuse qui ferme l'embouchure)
4. Embouchure de l'Orb (-4,4 m sur la barre)
5. Dignes de Port Ambonne (-2,5 m sur la barre qui passe devant la digue)
6. Embouchure de l'Ardailon (-1,5 m)
7. Embouchure du Libron (-1,2 m)...

A noter cependant que les deux derniers ne semblent pas perturber davantage le transit du sable que les brise-lames de Valras, de Farinette (Vias-est), ou bien du littoral ouest du Cap d'Agde (Grau d'Agde, Saint-Vincent, Rochelongue, Richelieu).

A propos des structures naturelles, les petites dalles rocheuses peu profondes du cap d'Agde comme celles de Rochelongue ou du Môle ne bloquent en aucun cas le sable, qui peut passer en suspension au-dessus de ces roches lors des coups de mer ; l'ensablement de ces roches varie d'ailleurs avec les saisons. La pointe rocheuse du Cap d'Agde (la plus proche de la digue Richelieu) et l'anse de la Conque sont des obstacles plus difficiles à franchir (on trouve des fonds de -3 m devant la pointe). Seul du sable transite visiblement sur la barre d'avant-côte du large, dont le sommet se situe vers 3 m. de profondeur. Au niveau du cap, la forme des fonds induit une réfraction des houles très forte autour de Brescou et du secteur de Richelieu, ce qui empêche par effet de convergence des dérives le passage du sable entre l'ouest et l'est du cap d'Agde, le sable du secteur de Richelieu restant certainement "piégé" sur la zone.

Ainsi, d'après notre expertise, seules les digues d'embouchure de l'Hérault cap ainsi que celles du cap d'Agde (digue Richelieu) peuvent constituer un obstacle vraiment imperméable au transit longitudinal par la dérive du sable de la plage et de l'avant-côte. Les autres digues d'embouchures bloquent néanmoins l'essentiel du sable des plages émergées.

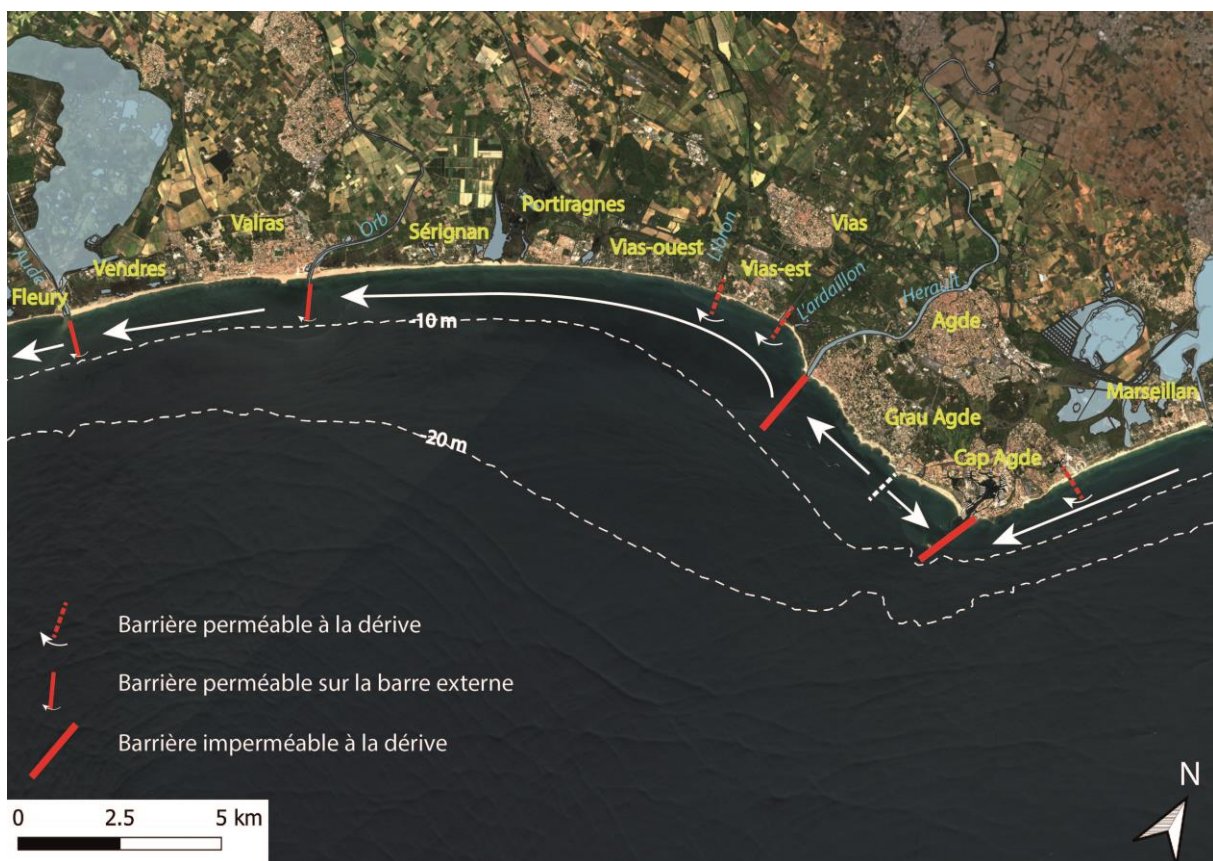


Figure 47 : synthèse des barrières (ouvrages transversaux) créées par l'Homme qui entravent de manière plus ou moins marquée le déplacement longitudinal des sables sous l'action de la dérive littorale

Résultats quantitatifs sur l'érosion et l'accrétion

Evolution du trait de côte depuis 1895

D'après l'indicateur national d'érosion côtière (Figure 48) du Cerema (2015), qui présente ce phénomène entre 1935 et 2011 dans l'ouest-Hérault, les zones d'érosion sont :

- Le littoral de Valras-Ouest / Vendres-est ;
- Le littoral de Vias (surtout les plages de Vias-Ouest et autour du clos de Vias)
- La plage du Grau d'Agde

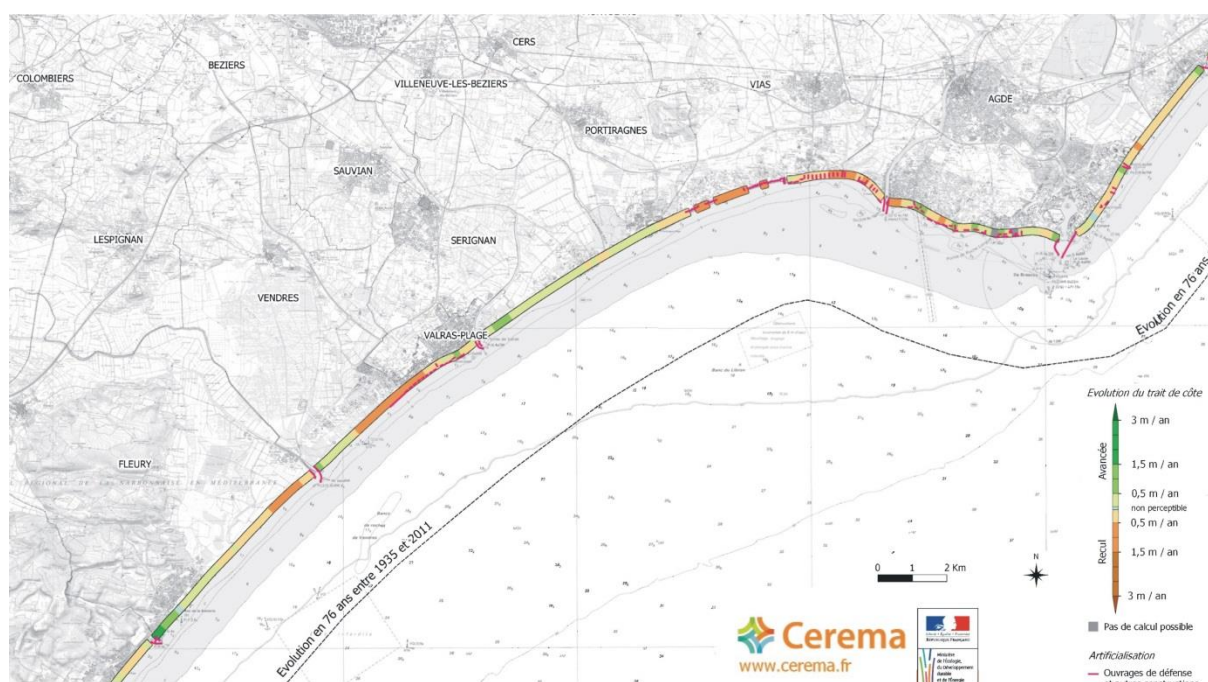


Figure 48 : l'érosion dans l'ouest Hérault entre 1935 et 2011 selon l'indicateur national d'érosion côtière du Cerema (2015)

Cette représentation cartographique donne une bonne vision des sites sensibles de l'étude, néanmoins aucune indication n'est donnée sur les effets de l'érosion naturelle (avant 1970 en gros) et les effets d'aggravation dus aux aménagements (après 1970 surtout).

Pour répondre à cette question de temporalité et d'impact anthropique, **une nouvelle analyse** a été réalisée par l'EID en 2018 (rapport pour le CD-34), en reprenant les données anciennes des évolutions du traits de côte et des surfaces de plage reprises de l'étude de Sabatier et Hanot (2012), et en mettant à jour ces données avec les dernières images aériennes du trait de côte.

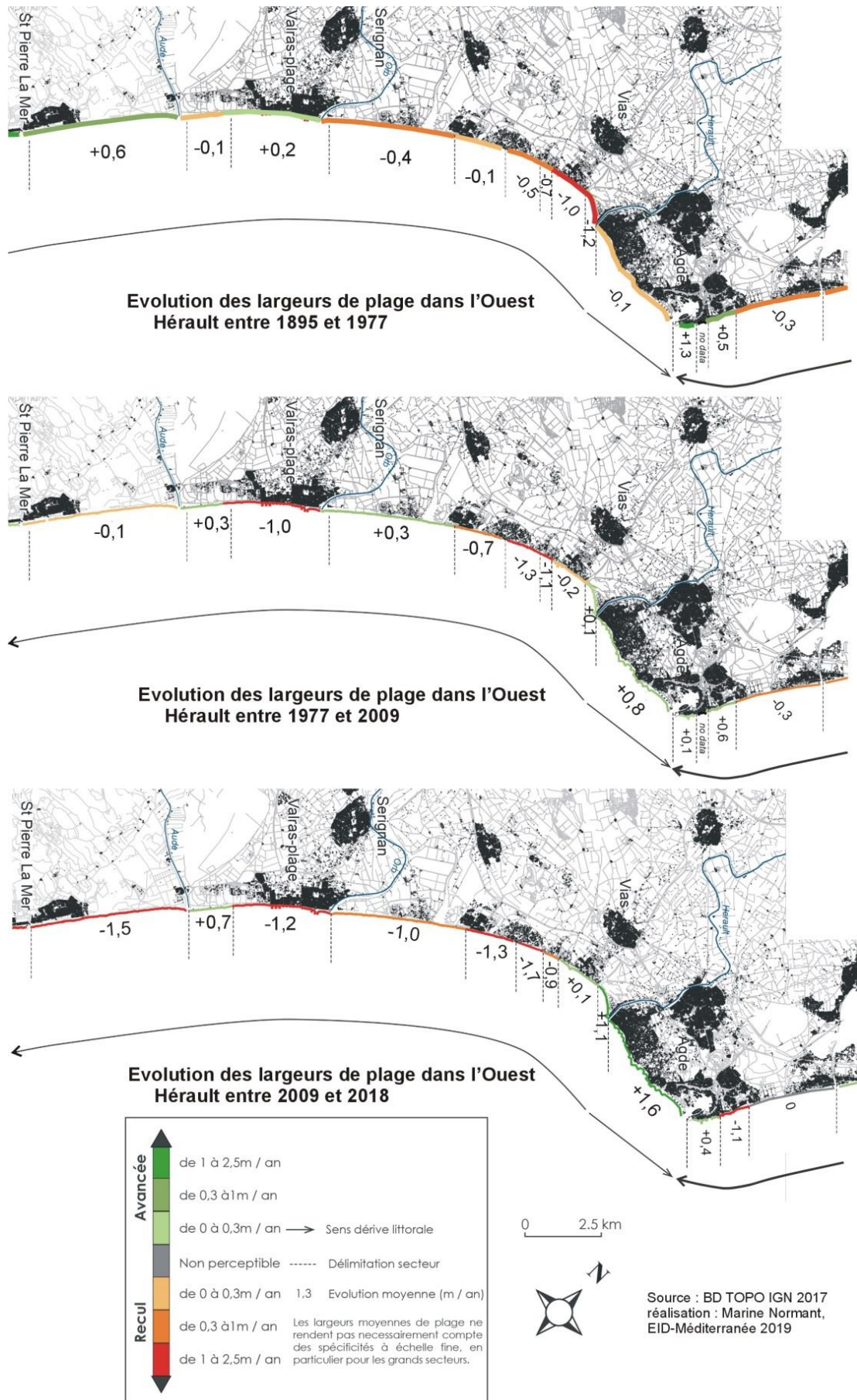


Figure 49 : évolution des largeurs de plage moyennes par compartiments en m/an entre 1895 et 2018

Les cartes de la Figure 49 montrent différents points importants, dont certains seront décrits plus en détail et illustrés par des nouvelles données plus loin dans ce rapport :

- 1) En premier lieu, l'érosion s'accélère sur la majorité des sites qui présentaient historiquement (entre 1895-1977) une tendance à l'accrétion : la surface de plage diminue de plus en plus vite sur la majorité des cellules littorales, comme montré par les pertes annuelles moyennes des périodes 1977-2009 et 2009-2018 (même sur un site peu aménagé, comme celui au sud-ouest de l'embouchure de l'Aude)
- 2) La construction des digues d'embouchure a favorisé l'accrétion en amont-dérive et l'érosion en aval-dérive des digues de l'Aude et de l'Orb (comparaison des périodes 1895-1977 et 1977-2009)
- 3) La construction de nombreux ouvrages, avec quelques rechargements, sur le littoral de l'ouest agathois (à l'ouest du cap), ont favorisé l'avancée du trait de côte (depuis 1977) ; de même, cela semble avoir permis de stabiliser le phénomène d'érosion sur la plage de Farinette (Vias-est)
- 4) La construction de nombreux ouvrages a accéléré le phénomène d'érosion sur les secteurs aval-dérive, comme le site de Vias-ouest notamment
- 5) L'érosion s'est accélérée sur la dernière période 2009-2018 pour le littoral oriental du Cap d'Agde au sud-ouest de Port-Ambonne (plages du Môle et de la Roquille), sans interventions humaines apparentes.

La carte de la Figure 50 constitue un zoom sur les déplacements du trait de côte sur la période 2009-2018. Ce zoom est réalisé grâce à des transects d'analyse placés transversalement à la plage tous les 100 m le long du littoral (au lieu de présenter un recul moyen par cellule littorale en fonction des variations de surface de plage). Sur cette carte, il est clair que l'érosion domine fortement sur tout le littoral de la zone d'étude, sauf à l'ouest de Vendres et à Agde :

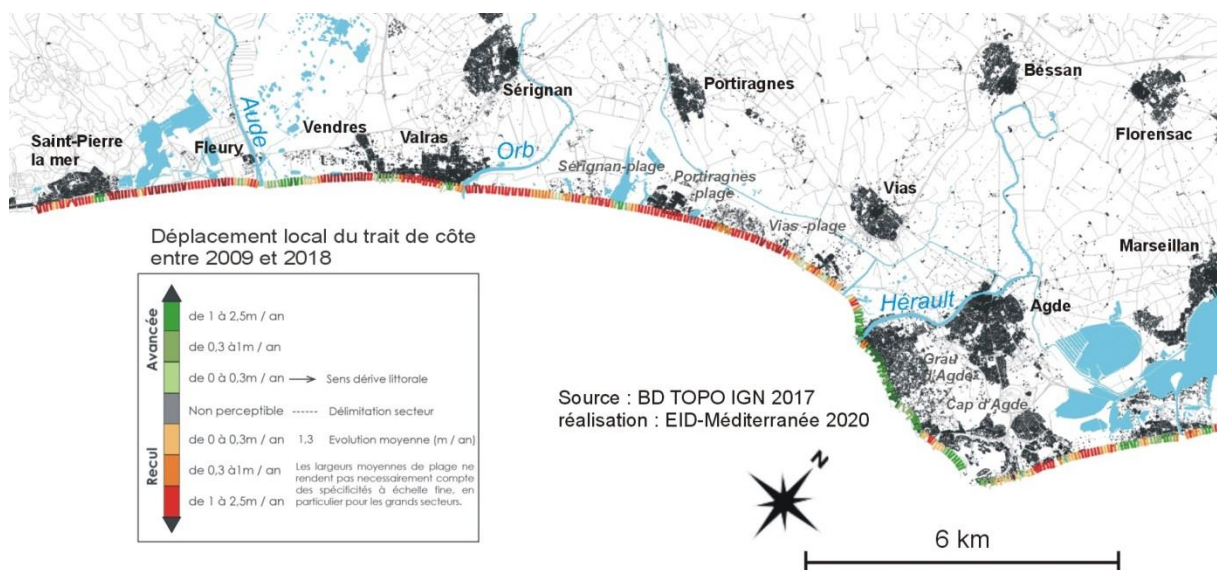


Figure 50 : évolution des largeurs de plage localisées, tous les 100 m, au cours de la phase récente 2009/2018

Exemples illustrés des mouvements du trait de côte sur certains secteurs particuliers entre 1935 et 2019

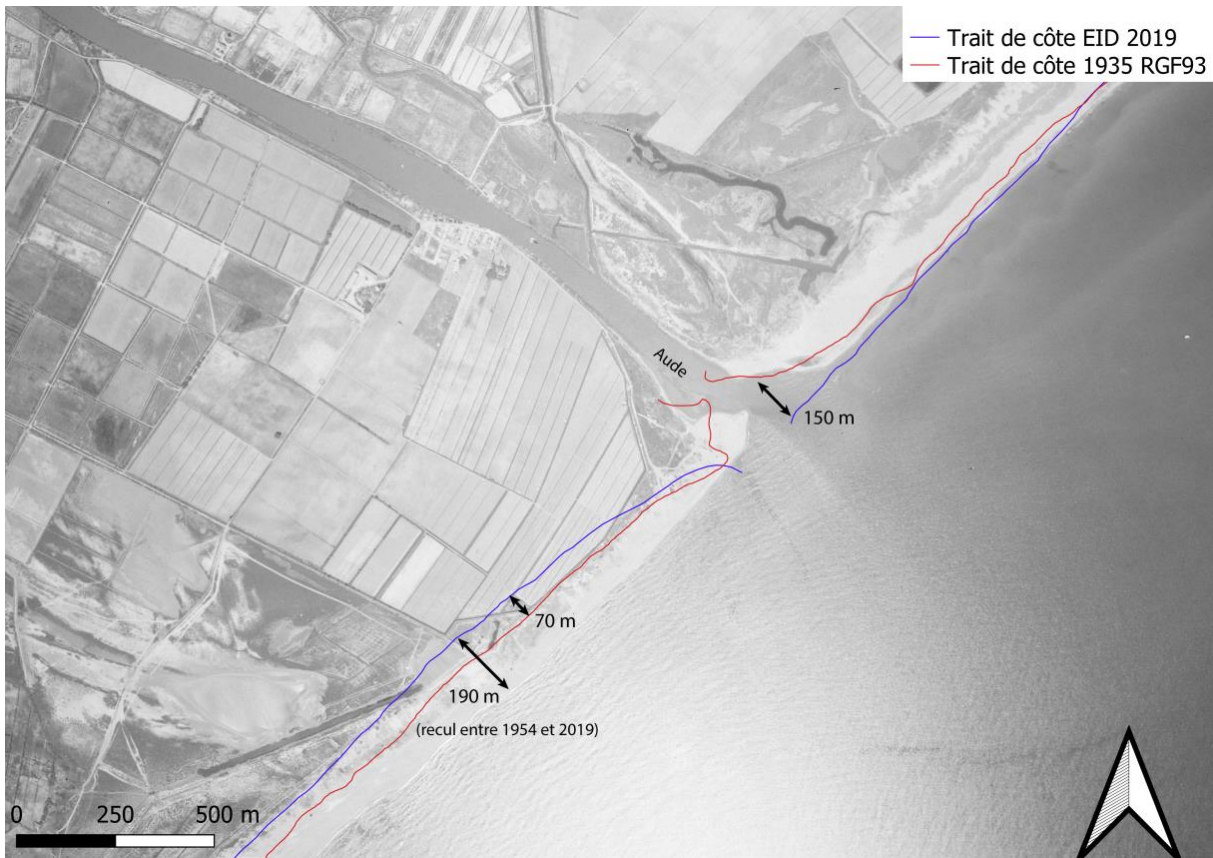
Dans cette partie, les traits de côte de 1935 et 2019 sont superposés à des images aériennes de l'IGN de 1954 et aux images récentes des satellites pléiades datées de l'été 2019 :

Figure 51 (20 cartes à venir) : évolution historique 1935-1962-2019 du trait de côte pour 10 secteurs de la zone d'étude



Le littoral méditerranéen s'est considérablement modifié depuis le siècle dernier. Il a subi une transformation d'origine essentiellement anthropique, ayant pour but de fixer le trait de côte et ainsi protéger les différentes stations balnéaires bordant le Golfe du Lion. Les images ci-dessus (datées de 1954 en haut et de 2019 en bas) témoignent de cette modification du paysage avec les ports d'Agde et de Port Ambonne, qui n'existent que depuis les années 60-70.

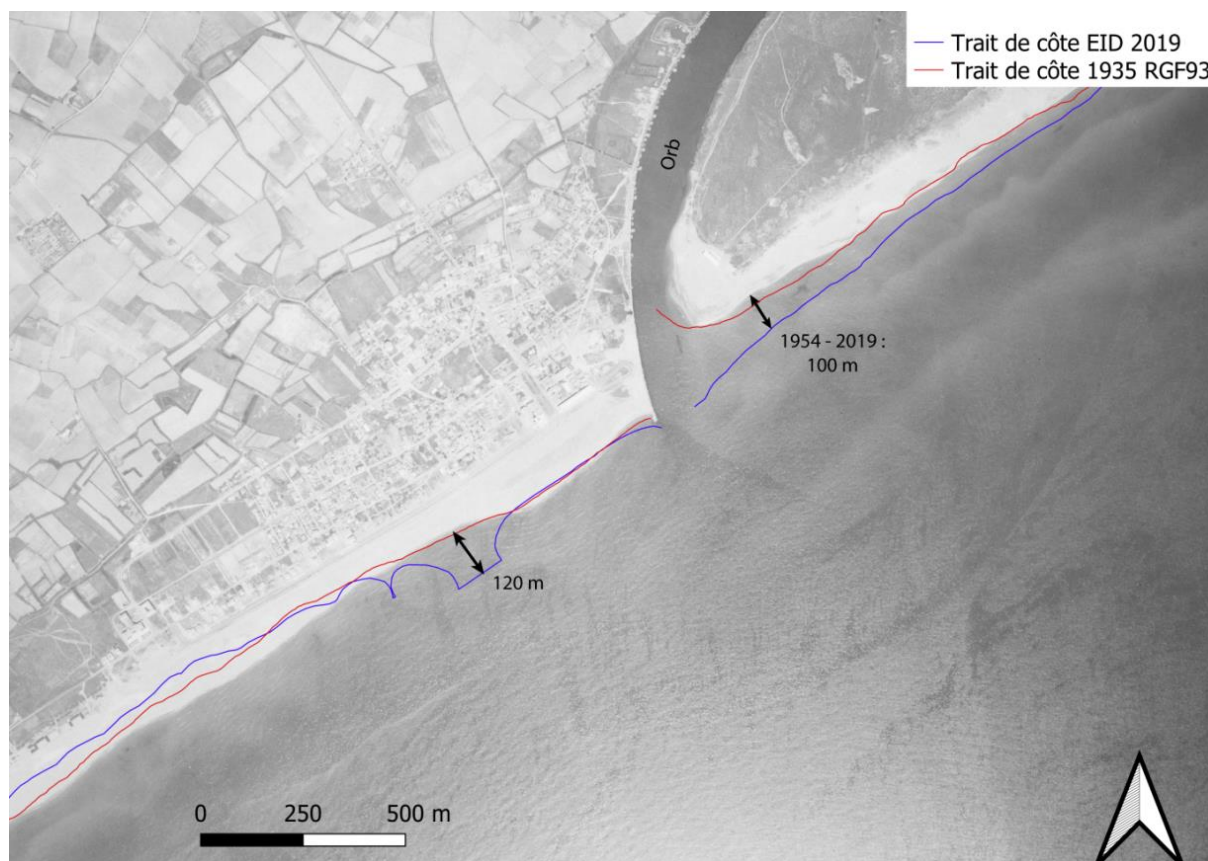
Embouchure de l'Aude



L'embouchure de l'Aude présente un gain de plage d'environ 150 m entre 1935 et 2019 sur sa partie nord-est. Au contraire, un recul du trait de côte de 70 m est observé au sud-ouest pour la même période d'étude. L'image ci-dessus montre que le recul est encore plus important si l'on prend en compte l'image de 1954. Il est évident que la construction des digues entre 1966 et 1989 a fortement impacté les largeurs de plage du site.

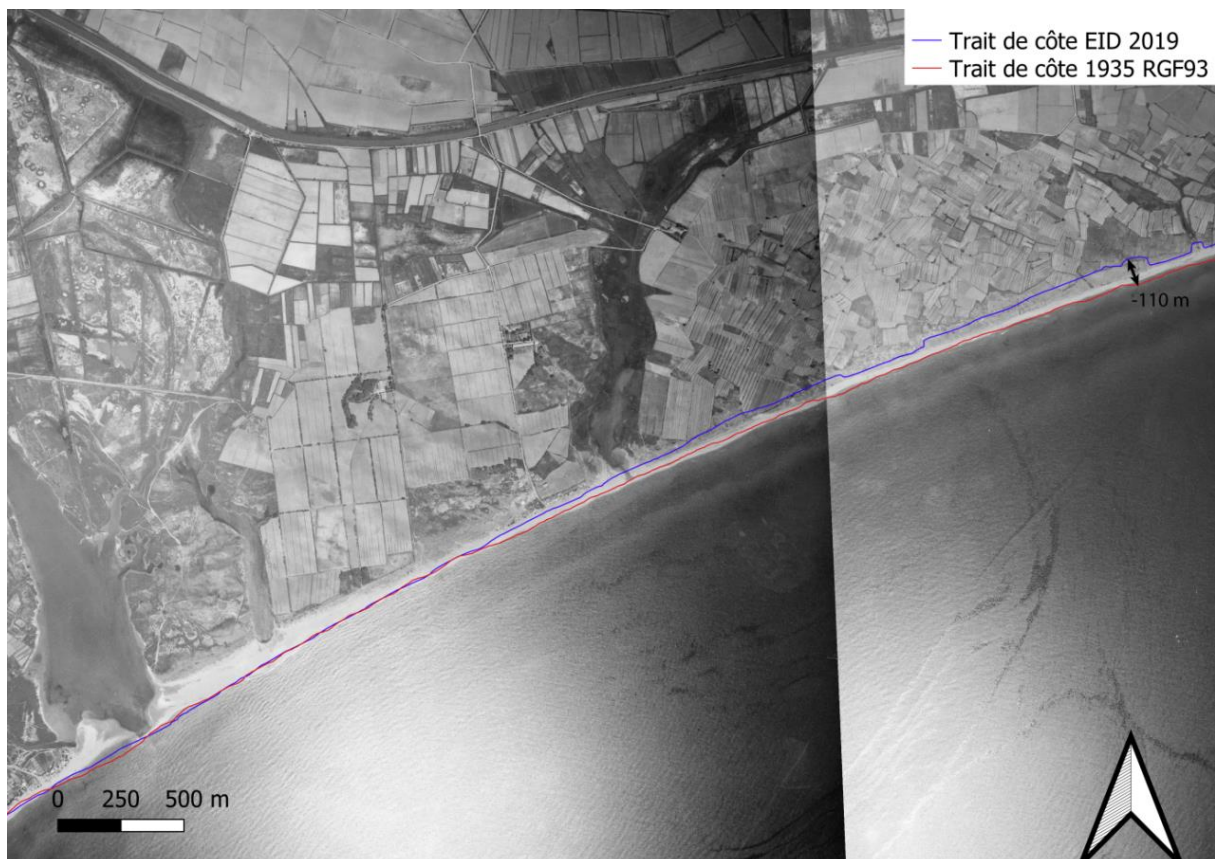
Embouchure de L'Orb

L'embouchure de l'Orb présente une évolution similaire à celle de l'Aude. Un gain de 100 m de sable sur la partie nord-est fait suite à la construction de la digue est en 1965 ; l'autre digue a été mise en place en 1977. Cependant, la construction de brise-lames a permis de maintenir le trait de côte à proximité directe de l'embouchure et ainsi décaler l'érosion des plages vers le sud-ouest (vers le secteur de Vendres-plage).





Littoral de Portiragnes et Vias-plage

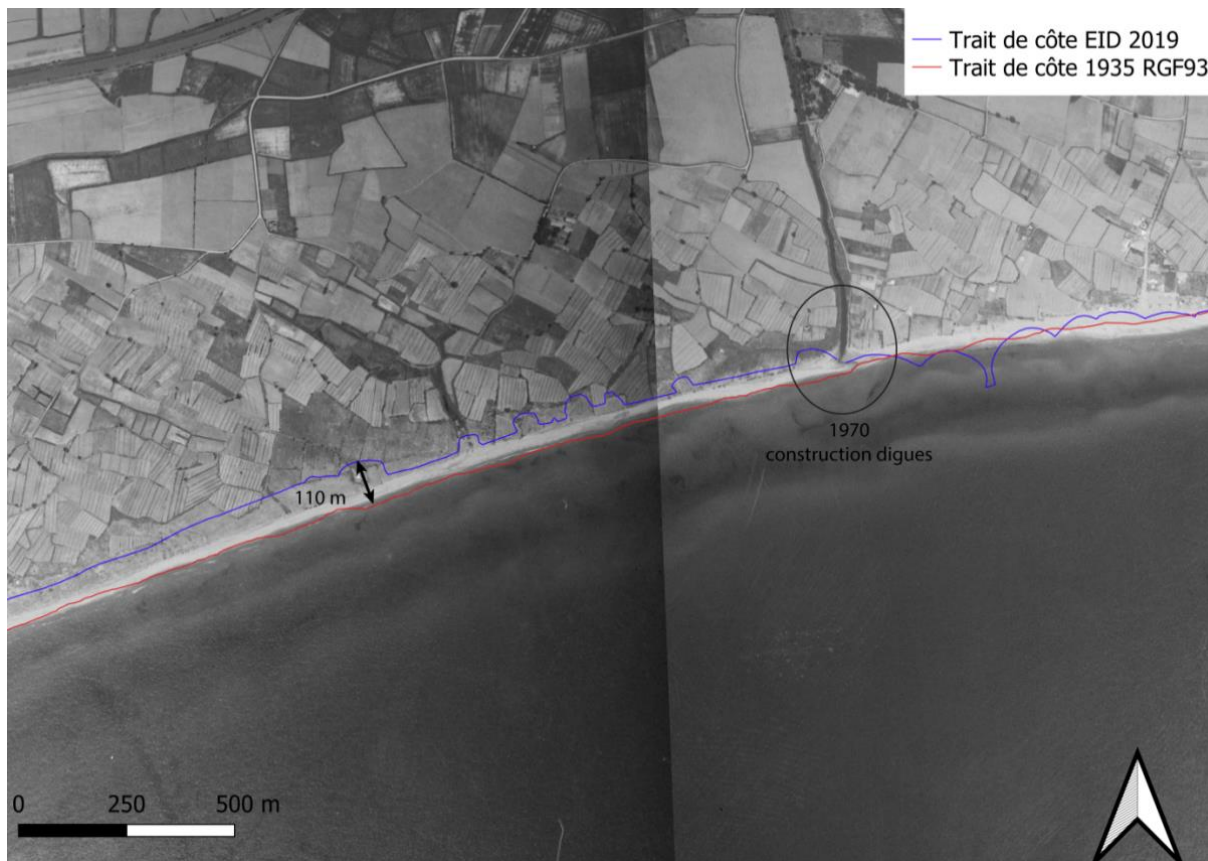




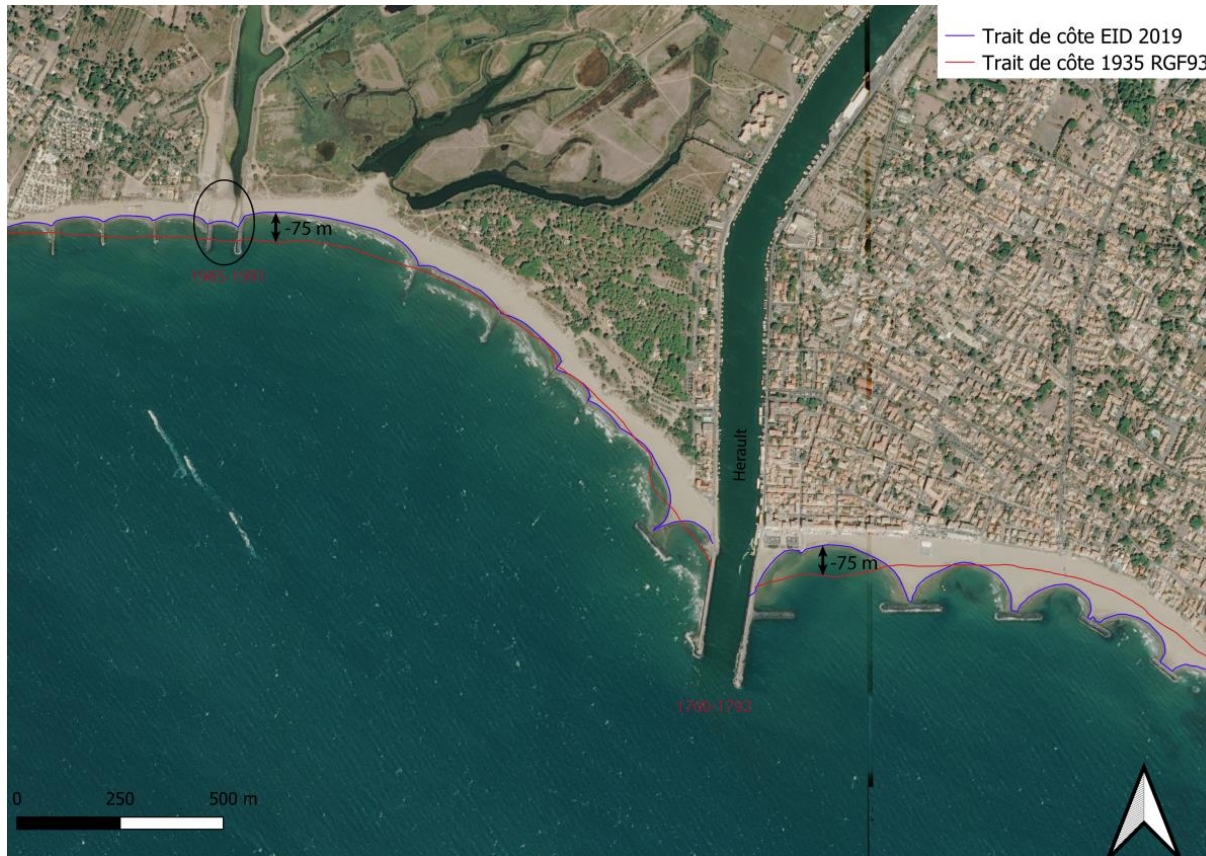
Le secteur de Vias est particulièrement touché par ce phénomène d'érosion. Toute la zone présente un recul du trait de côte allant jusqu'à 100 m par endroits. Plusieurs ouvrages sont venus protéger les campings de bord de mer, entraînant ainsi une discontinuité du trait de côte sur cette partie du littoral. Le littoral à l'est de Portiragnes est aussi touché sur la période 1954-2019.

Embouchure du Libron

L'embouchure du Libron a également été transformée, avec des digues construites au début des années 70. Celles-ci ont entraîné une érosion particulièrement marquée sur la partie sud-ouest, qui concerne le littoral de Vias et les différents campings impactés, avec des reculs supérieurs à 100 m. La partie nord-est ne présente pas pour autant de gain de stock sableux sur ces plages. Le trait de côte est maintenu notamment à partir d'ouvrages durs (épis et brise-lames).



Embouchure de l'Hérault



L'embouchure de l'Hérault est un des rares sites présentant des ouvrages datés d'avant le XX^{ème} siècle. La partie ouest de l'Hérault, sur la plage de la Tamarissière, présente une stabilisation du trait de côte jusqu'au canal de l'Ardaillon, mais ces ouvrages, obstacle à la dérive vers l'ouest, n'ont pas empêché un recul fort et localisé devant le Clot de Vias. La partie est montre une augmentation du stock sableux lié également aux différents brise-lames présents sur le site. Seule la partie située juste derrière la digue, au grau d'Agde, montre une érosion importante.

Littoral central du cap d'Agde



Le cap d'Agde a considérablement évolué depuis les années 60 avec l'anthropisation de son littoral. Ce fait a entraîné l'accrétion des plages de la commune à partir des constructions de brise-lames depuis 1992 avec une avancée de 130 à 140 m sur la mer. Nous pensons également qu'une grande partie de cette avancée est due à la construction du port et le creusement de la marina vers 1968. A cette occasion des volumes de sable très importants ont pu être ajoutés sur les plages de l'ouest du cap.



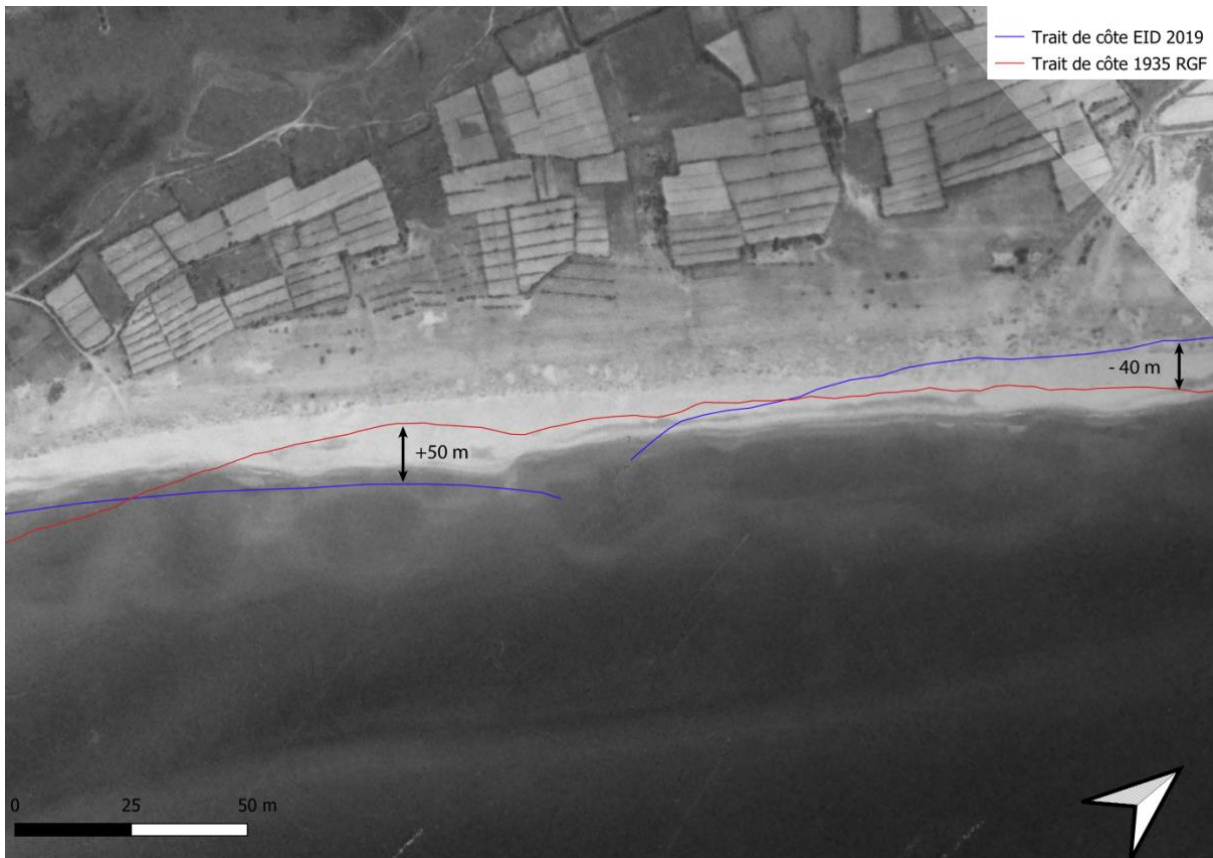
Du Cap d'Agde au port naturiste





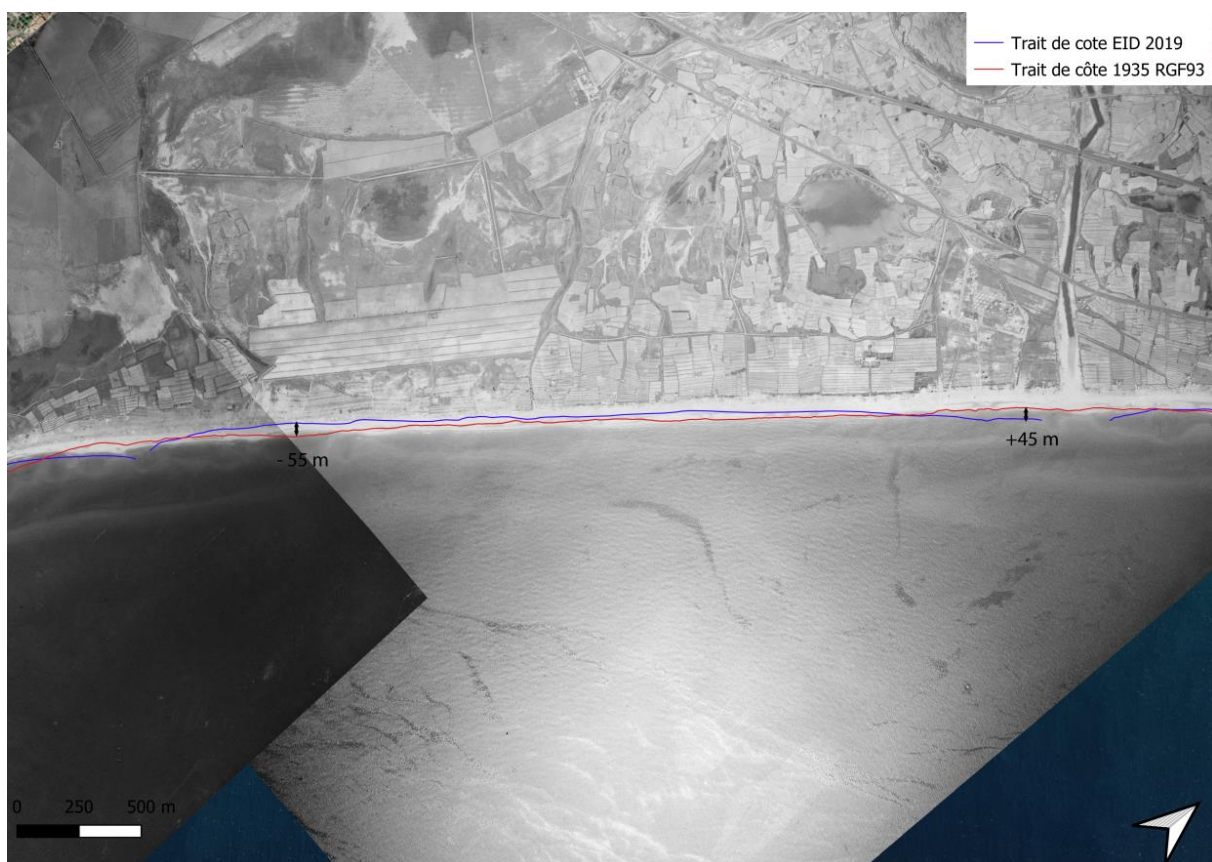
La partie à l'est du port du cap d'Agde est composée de falaises rocheuses qui n'ont pas été particulièrement érodées depuis 1930. Cependant, le recul du trait de côte se précise dès le retour des plages sableuses, en se rapprochant du port naturiste (port Ambonne), avec en moyenne 20 à 30 m de perte vers les terres sur le début de la plage de la Roquille. La construction du port naturiste a permis d'accumuler jusqu'à 50 m de sable à proximité directe des digues.

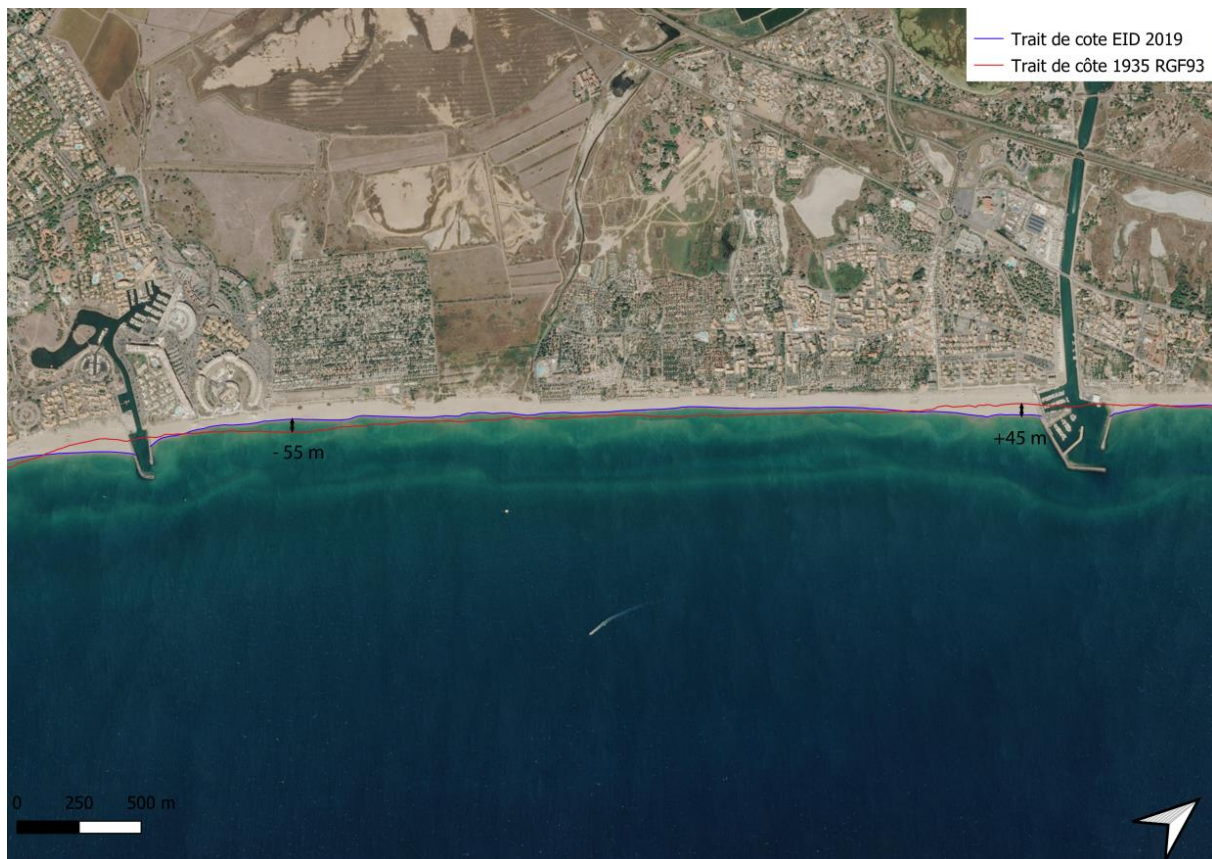
Port naturiste du cap d'Agde (port Ambonne)



Le port naturiste du cap d'Agde a été construit entre 1970 et 1972. Sa création a entraîné un écart du trait de côte de part et d'autre de l'édifice. La partie sud a ainsi gagné 50 m de plage directement devant la digue du port alors que la partie nord s'est érodée jusqu'à 40 m vers les terres. L'érosion est plutôt généralisée sur l'ensemble de cette partie du littoral, que ce soit en allant vers le cap d'Agde au sud ou vers le port de Marseillan au nord (quelques dizaines de mètres).

Du port naturiste au port de Marseillan





Il n'y a aucune construction entre les deux ports et l'on remarque une érosion généralisée le long de ce littoral, avec des valeurs moyennes comprises entre 20 et 55 m de recul. La construction du port de Marseillan a entraîné l'accumulation de 45 m de stock sableux près de ses digues (laissant penser qu'il est fréquent que la dérive littorale et le déplacement du sable au sud-ouest du port de Marseillan se réalisent en direction du nord-est).

Evolution des volumes sur l'avant-côte et la plage

Cette partie reprend les principaux résultats sur l'évolution des volumes de sable des travaux d'étude du laboratoire CEFREM et du groupe de travail LMUSCA de l'Université de Perpignan Via Domitia (différents rapports en téléchargement sur le site : <https://elmusca.wordpress.com/documents/>).

Dans ces travaux, des analyses diachronique des zones de dépôt et d'érosion ont été faites pour toute l'avant-côte et les plages de la région Occitanie entre 1895 et 2015, grâce aux anciens levés bathymétriques du SHOM, de 1895 et 1984, et aux campagnes récentes de levés LiDAR qui ont eu lieu sous l'impulsion de la DREAL et du SHOM (projet Litto3D) en 2009, 2014 et 2014/2015. A signaler que le levé Lidar de la campagne 2014/2015 s'est réalisé en 2 ans en raison de mauvaises conditions météo lors du premier levé d'octobre 2014 ; une nouvelle acquisition a dû être programmée. Ainsi, sur la zone d'étude, la donnée à l'ouest du grau d'Agde date de 2015, et la partie à l'est date de 2014.

Sur l'avant-côte, les données montrent les informations suivantes :

- Historiquement, entre 1895 et 1984, la zone la plus en érosion est celle située entre l'embouchure de l'Orb et Portiragnes, avec une érosion prononcée des fonds devant Sérignan-plage et devant les lagunes de la grande Maire et de la Riviérette, d'après l'étude des cartes de différentiels bathymétriques calculés avec les levés du SHOM (Brunel *et al.*, 2012). Si un dépôt est constaté sur les parties profondes au large devant la Tamarissière, il semble que les apports en sable de l'Hérault, certainement importants au début du XXème siècle, n'ont pas pu contrer l'érosion des petits fonds sous l'action présumée de la dérive littorale vers l'ouest ;
- Entre 1984 et 2009, à l'instar des mouvements du trait de côte, l'érosion s'accélère partout ; toutefois, on remarque que les volumes de l'avant-côte ne réagissent pas comme ceux de la zone émergée, puisqu'on observe une érosion également sur les zones qui ont été protégées par de nombreux brise-lames et quelques épis. Si le sable est retenu par les ouvrages sur la partie supérieure du profil de plage, en revanche les fonds perdent du sable partout. Le site où l'érosion est la moins forte est celui entre l'Orb et Portiragnes, certainement en raison de l'accumulation contre la digue fluviale de l'Orb. Les sites les plus en érosion sont ceux du delta de l'Aude, de Valras et des fonds devant Vias d'après les cartes de différentiels de volume (Brunel *et al.*, 2012) ;
- Sur la période récente des levés LiDAR, entre 2009 et 2015, l'essentiel des sites voit un retour du sable, certainement du fait de la remontée d'une fraction de sable perdu temporairement au large lors des hivers précédents (les hivers avant 2015 s'étant montré plutôt cléments du point de vue de l'énergie des houles). Le seul site en érosion sur sa partie sous-marine est le secteur d'Agde, malgré l'avancée constatée du trait de côte ; et les sites où ces apports par le large ont tout juste compensé les pertes par la dérive littorale sont sur le secteur de Vias.

Les auteurs signalent cependant que les calculs réalisés associent des marges d'erreur importantes liées à la méthode des levés (imprécision des levés bathymétrique anciens du SHOM de 1895, et imprécision des capteurs bathymétriques LiDAR pour les levés de 2009-2011 et 2014/2015). Cependant, l'ampleur des changements verticaux des fonds sableux montre une dynamique érosive certaine depuis 1895, surtout très présente à l'ouest du cap d'Agde.

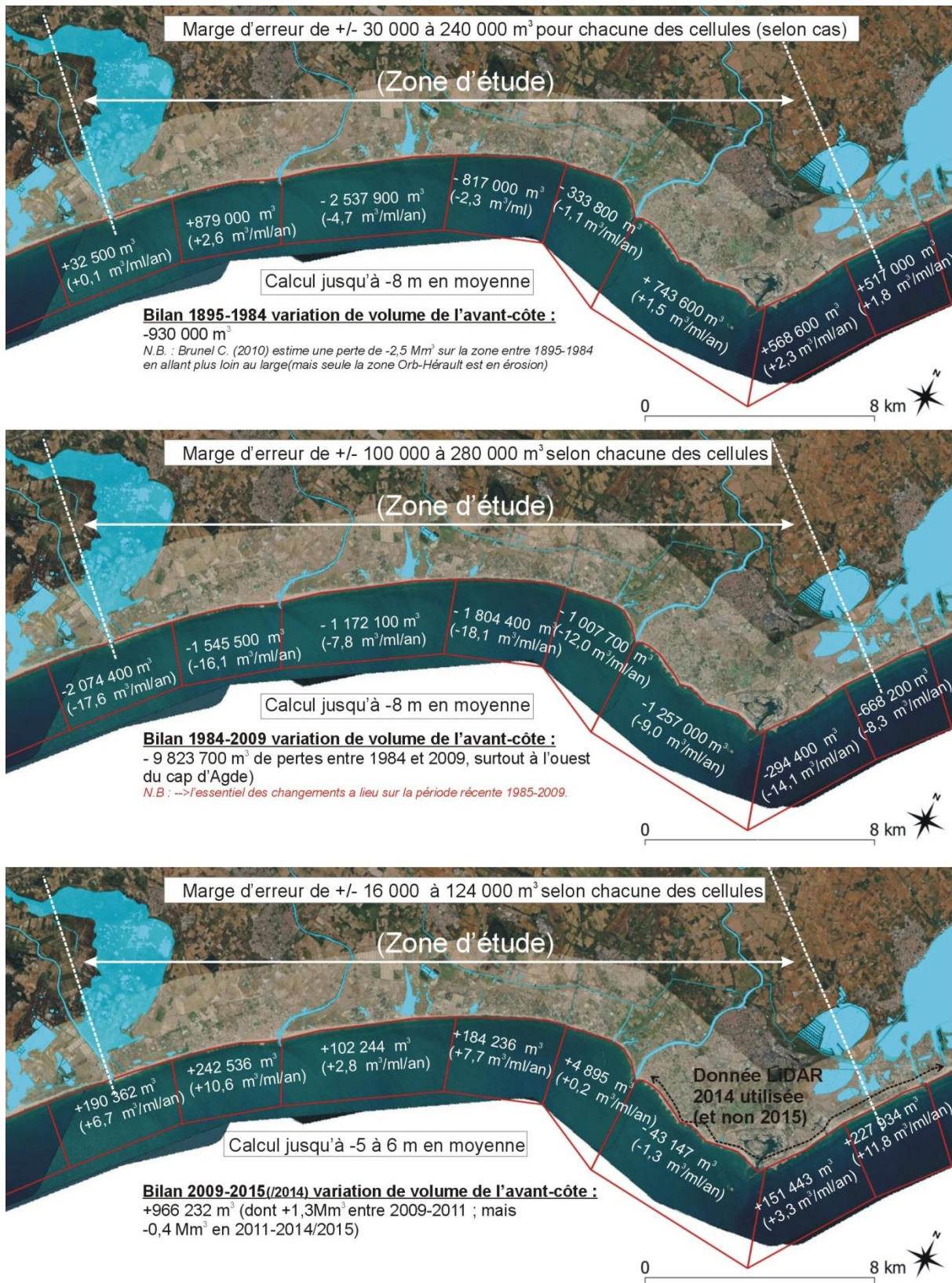


Figure 52 : bilan des variations de volumes de sable sur l'avant-côte depuis 1895, d'après les différents levés bathymétriques traités dans les études du CEFREM (levés SHOM et Lidar). N.B. : selon les auteurs, plus la variation de volume est faible, plus la marge d'erreur associée est faible (cette marge d'erreur correspond aux changements de volume de sable dans l'enveloppe -0,5 à +0,5 m de changement vertical des fonds)

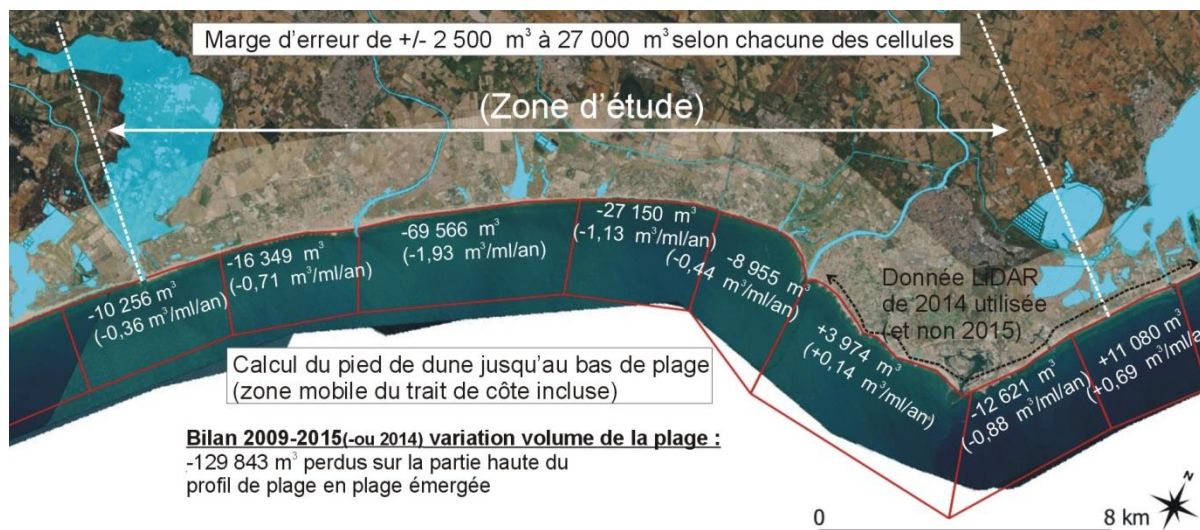


Figure 53 : évaluation par le CEFREM des changements de volumes de sable sur la plage émergée et la zone du trait de côte, d'après les derniers levés topo-bathymétriques LiDAR entre 2009 et 2015. N.B. : selon les auteurs, plus la variation de volume est faible, plus la marge d'erreur associée est faible.

Sur la plage émergée, l'érosion domine partout entre 2009 et 2015. On peut distinguer une exception sur les secteurs très ouvrés où les taux d'érosion sont plus faibles (Vias-est et Tamarissière), voire positifs avec une légère accumulation (secteur d'Agde). Le secteur de plage non-ouvré entre Port-Ambonne et Marseillan présente également un apport de sable sur la plage émergée lors des cinq hivers entre 2009 et 2014, apport certainement naturel (hypothèse de conditions de houles favorables). Les plages de Vias-ouest subissent de fortes pertes. De manière plus surprenante, le volume de sable émergé diminue très fortement entre Portiragnes et les Orpellières (même si le sable s'accumule encore à cet endroit, surtout en partie sous-marine du fait de la dérive qui se trouve bloquée par les digues de l'Orb). La comparaison des levés (Aleman *et al.*, rapports de 2017 et 2019) montre une dynamique de changement important de la plage émergée et des petits fonds entre 2009 et 2015.

La Figure 54 montre ce changement de la plage comprise entre les Orpellières et Portiragnes de 2009 à 2015 d'après deux campagnes de levés topo-bathymétrique aéroportés LiDAR. D'une manière générale, la barre interne a reculé et la barre externe s'est effacée entre 2009 et 2015 sur l'ensemble de ce linéaire côtier. En réponse à ce changement sur la zone immergée, la plage a clairement changé de forme et de relief avec une plage en moyenne un peu plus large, mais surtout nettement moins haute. Le relief de la berme ou du haut de plage est nettement moins prononcé en 2015, et la plage montre un décaissement vertical moyen de -0,6 m (plus de -1 m localement). Sur la Figure 54, on peut observer que la plage entre la dune (en rouge vif) et le trait de côte (en pointillé noir), montre une teinte orange foncé à rouge en 2009 puis orangée à jaune clair en 2015. Cette perte d'altitude de la plage explique la diminution du volume de la plage émergée et le chiffre présenté en Figure 53.

Il semble donc que les plages changent de largeur, mais aussi et surtout de forme (reliefs plus ou moins plats, ou à l'inverse « gonflés ») d'une année à l'autre. Pour ce phénomène, nous supposons une conséquence directe du changement des distances à la côte des systèmes de barres (internes et externes) suite à des événements de tempête particulièrement puissants.

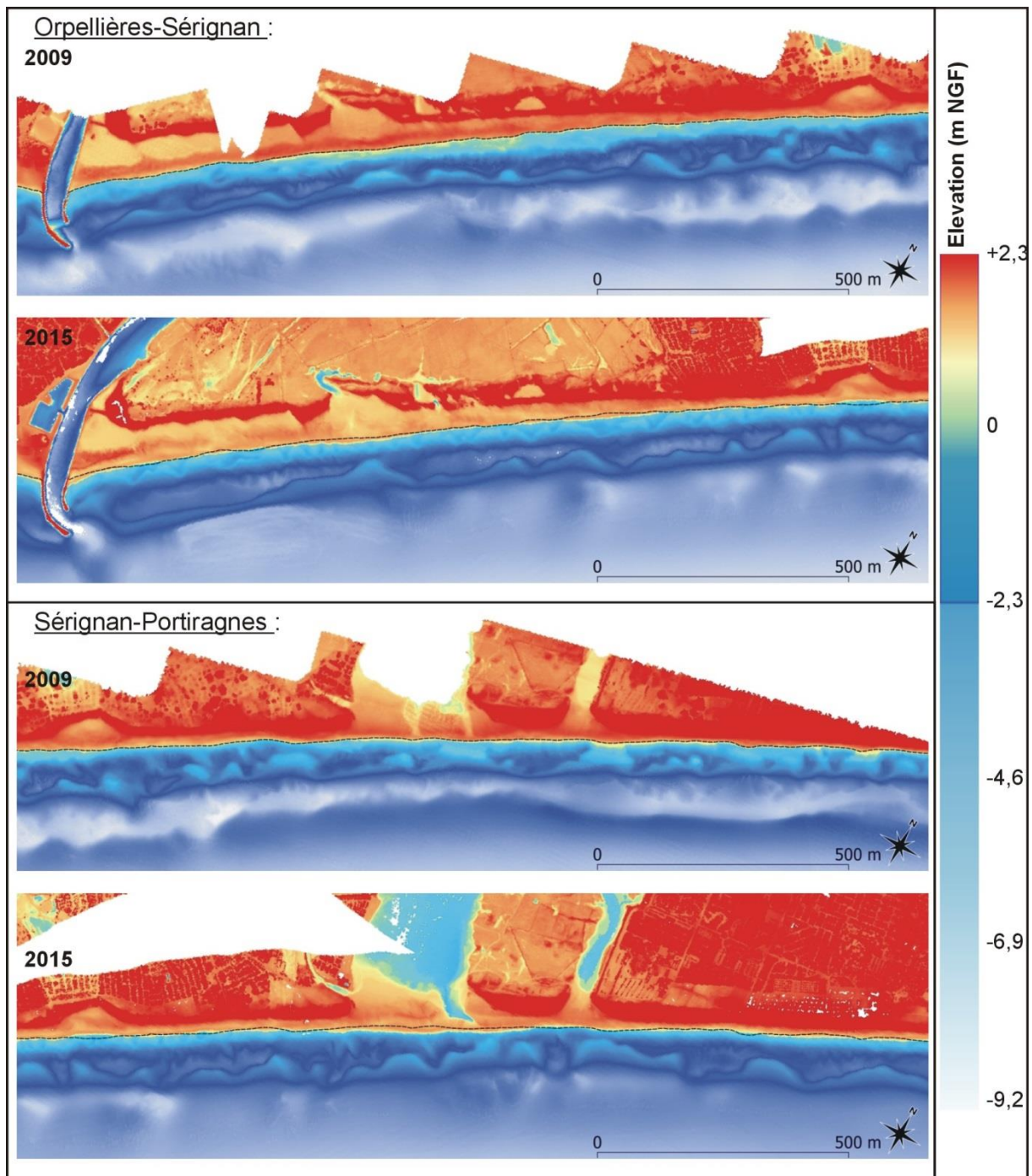


Figure 54 : Evolution de la topo-bathymétrie des plages de l'Orb à Portiragnes entre 2009 et 2015 d'après les levés LiDAR. Le trait de côte représenté en pointillé noir forme un repère fixe associé à la ligne de rivage de 2009.

Evolution de la topo-bathymétrie de la plage du Casino à Valras, des Orpellières, et de Portiragnes-Vias (ouest) entre 2015 et 2018

L'EID-Méditerranée bénéficie d'une longue expérience de suivi du littoral de l'ouest Hérault avec des méthodes de levés topo-bathymétriques. De nombreux profils ont été levés depuis 2002 sur le territoire, ainsi que quelques MNT (Figure 55).

Pour les besoins des futurs travaux sur le littoral de Vias et de Valras (CAHM), et en partenariat avec le bureau d'étude Artelia, l'EID a effectué entre juin et septembre 2018 une campagne de levés incluant plus de 123 profils topo-bathymétriques. Réalisés au sondeur et au DGPS, ces profils espacés de 60 mètres permettent de constituer un MNT mixte terrestre et marin ; cette donnée de très haute résolution permet d'évaluer l'état du stock sableux et des morphologies du système plage-dune, et s'accompagne de levés photogrammétriques par drone sur le haut de plage et la dune (non présentés ici). Au total, la campagne couvre un linéaire côtier de 680 m à Valras-plage (un peu plus en bathymétrie), 1650 m aux Orpellières et 4 800 m à Portiragnes et Vias.

Dans cette partie, les 3 grands MNT de cette campagne, en vert sur la Figure 55, sont comparés au levé LiDAR de 2015 qui couvre de manière uniforme toute la zone d'étude.

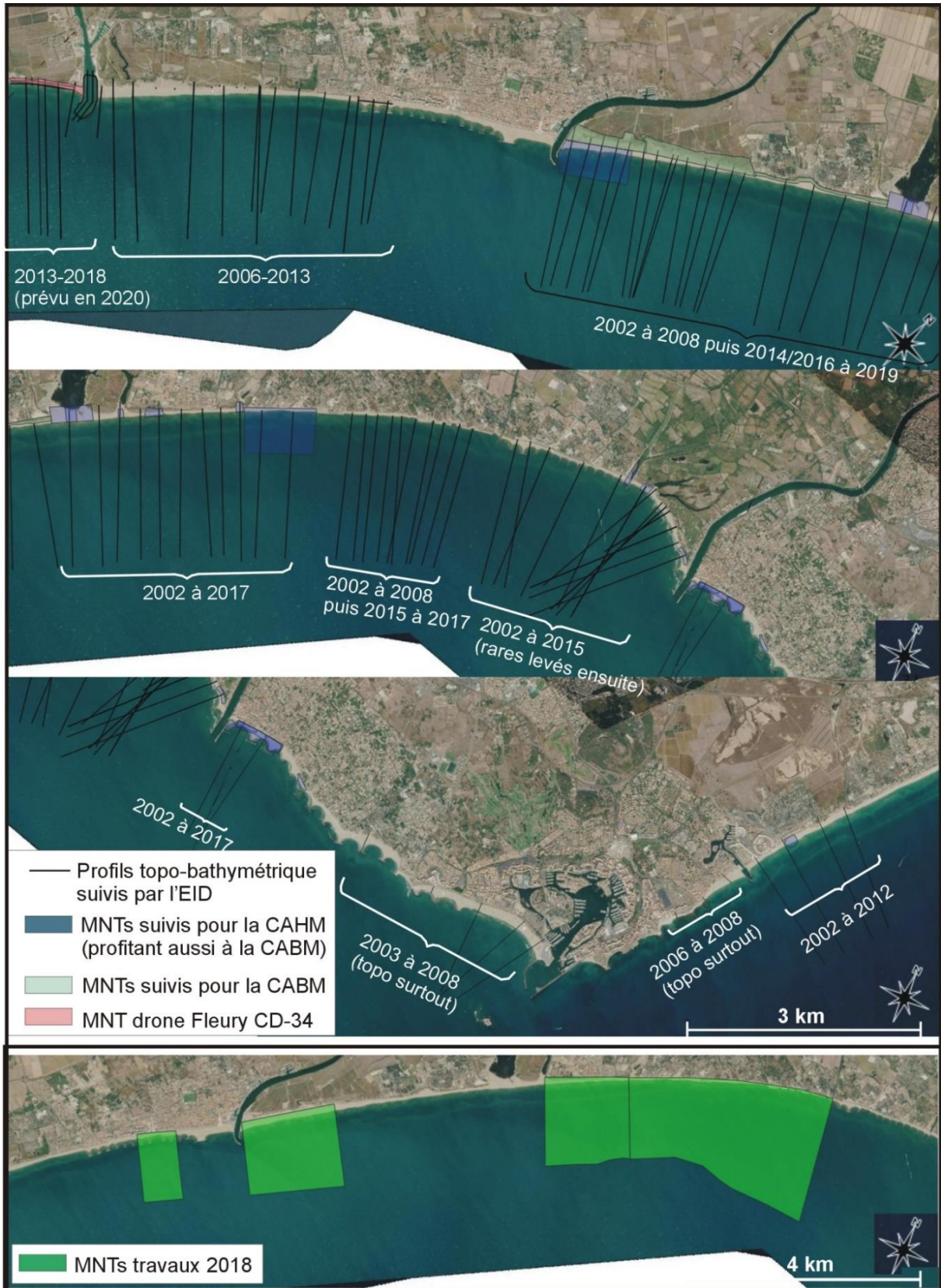


Figure 55 : synthèse des suivis du littoral ouest-Hérault réalisés depuis les années 2000 par l'EID Méditerranée : profils (3 premières cartes) et MNT topo-bathymétrique (carte du bas) en septembre 2018 (mission de maîtrise d'œuvre Artélia/EID pour la CAHM et la commune de Valras).

Les cellules visibles sur la carte ci-après (Figure 56) montrent l'évolution du stock sableux entre 2015 (données LiDAR aéroportés datés du mois de septembre) et 2018 (levé topo-bathymétrique de l'EID datés aussi de septembre) pour les différents compartiments de la zone qui ont été suivis en 2018. Le changement de volume est exprimé ici pour la plage émergée (correspond au changement du volume de sable émergeant de l'eau, donc > à 0 m NGF), et pour la plage immergée entre 0 et -7 m (à savoir dans ce cas le volume restant qui a varié sur l'avant-côte [= sous l'eau], essentiellement en réponse aux changements des systèmes de barres).

Les bilans des volumes en mètres cubes calculés sur les 3 secteurs dans leur totalité sont exprimés dans le Tableau 7 suivant. Dans ce tableau, le changement de volume calculé au large, en dehors de la zone de calcul habituelle se limitant à l'isobathe -7 m, est également affiché. Ce chiffre montre que de grandes quantités de sable se sont accumulées au large entre les étés 2015 et 2018.

Tableau 7 : résultats des calculs de volume (en m³ et m³/m.l./an) entre 2015 et 2018 sur toute l'étendue commune des 3 zones de levés ; puis dedans et en dehors des boîtes de calculs de volume (plage émergée et proche avant-côte ; puis zone en dehors de ces boîtes, au large) :

Site	variation volume total sur la zone de levé commune	variation volume plage émergée	variation volume plage immergée (cadre -7 m)	variation volume au large (hors boîte de calcul ; extension des levés)
Valras (680 mètres linéaires)	+56 791 m³ (+28 m ³ /m.l./an)	-4 836 m ³ (-3 m ³ /m.l./an)	-3 437 m ³ (-2 m ³ /m.l./an)	+65 065 m ³ (+32 m ³ /m.l./an)
Orpellières (1600 m.l)	+64 195 m³ (+13 m ³ /m.l./an)	+16 123 m ³ (+3 m ³ /m.l./an)	-41 097 m ³ (-9 m ³ /m.l./an)	+89 169 m ³ (+19 m ³ /m.l./an)
Portiragnes-Vias (4830 m.l)	-140 307 m³ (-10 m ³ /m.l./an)	-77 104 m ³ (-5 m ³ /m.l./an)	-275 962 m ³ (-19 m ³ /m.l./an)	+212 759 m ³ (+15 m ³ /m.l./an)

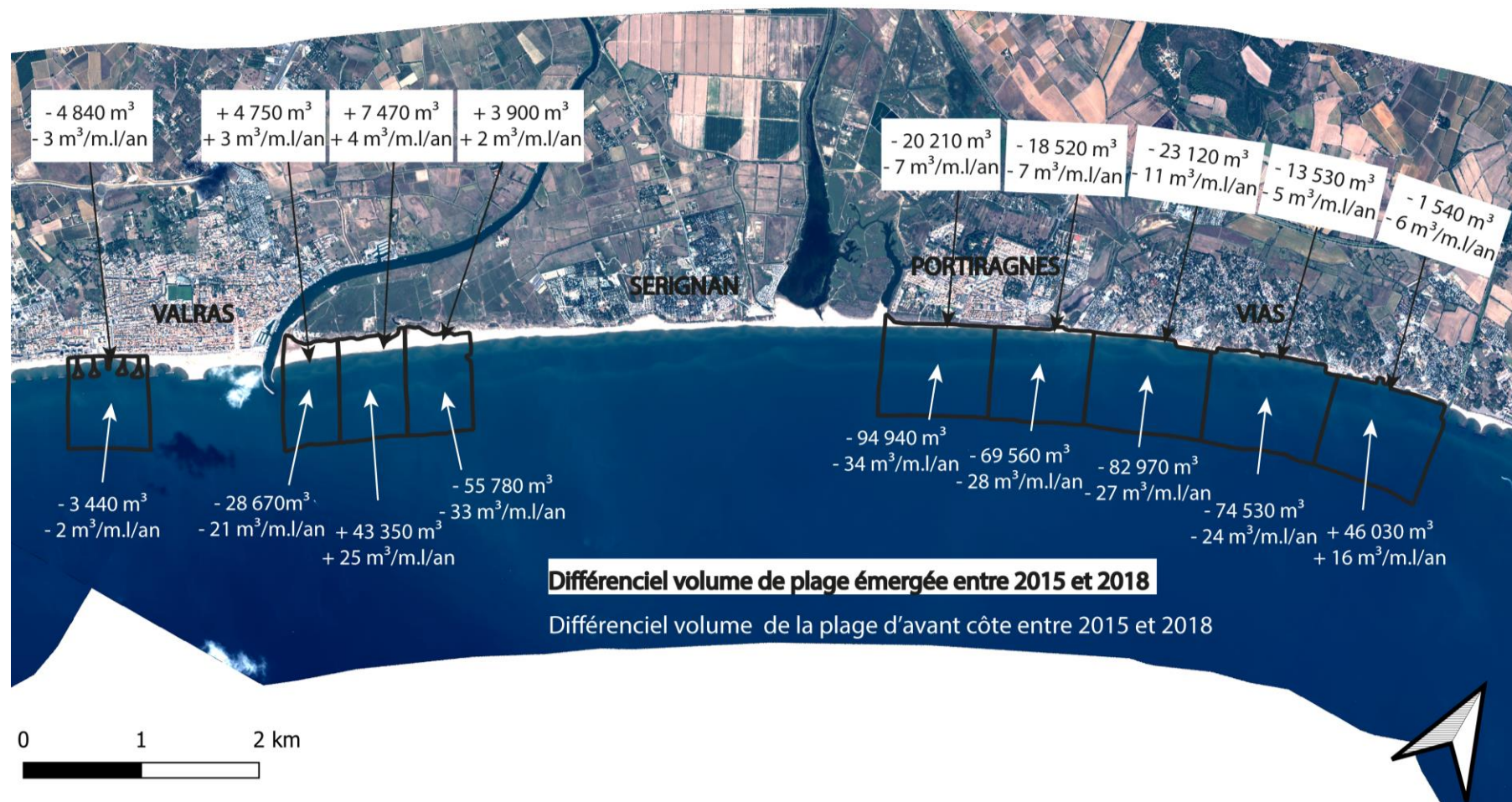


Figure 56 : évolution du stock sableux sur les secteurs de Valras, les Orpellières et Portiragnes-Vias. Moyennes des changements entre 2015 et 2018 pour la plage émergée et la plage immergée, exprimées par an pour une bande de 1 m de plage (bande perpendiculaire au trait de côte allant du pied de dune à -7 m)

Les 3 planches cartographiques suivantes (Figure 57, Figure 58, Figure 59) apportent un éclairage sur les changements topo-bathymétriques qui ont réellement eu lieu, responsables des chiffres de volume annoncés, et leur localisation sur les 3 secteurs d'étude. Pour cela, des cartes de différentiel d'élévation montrent le changement de relief du fond (variation verticale) grâce à une échelle de couleur (érosion en bleu, accrétion en rouge).

Les différentiels topo-bathymétriques révèlent un recul généralisé des systèmes de barres vers le large sur le site des Orpellières, ainsi que ceux de Portiragnes et Vias. Le système de barres aux formes festonnées en 2015 a été linéarisé suite au passage de la tempête de mars 2018, et la barre interne s'est déplacée significativement vers le large. A Valras, la grande barre se rapproche des brise-lames. Sur les 3 sites (Valras inclus), on constate un dépôt généralisé de sable au large au-delà de -6 m de profondeur, dans une zone située majoritairement donc en dehors de la limite des boîtes de calcul fixée à -7 m. **Cette export du sable vers le large consiste à un drapage de sable de l'ordre d'une dizaine de centimètres déposés sur de très grandes surfaces (parfois certaines zones montrant + 20 à 30 cm de dépôt). Ces pertes au large sont supposées partiellement temporaires et liées à la tempête de mars 2018, d'envergure décennale.** Il est présumé que ce sable va se rapprocher de la plage si le climat de houle le permet, ce que les nouveaux levés devront confirmer.

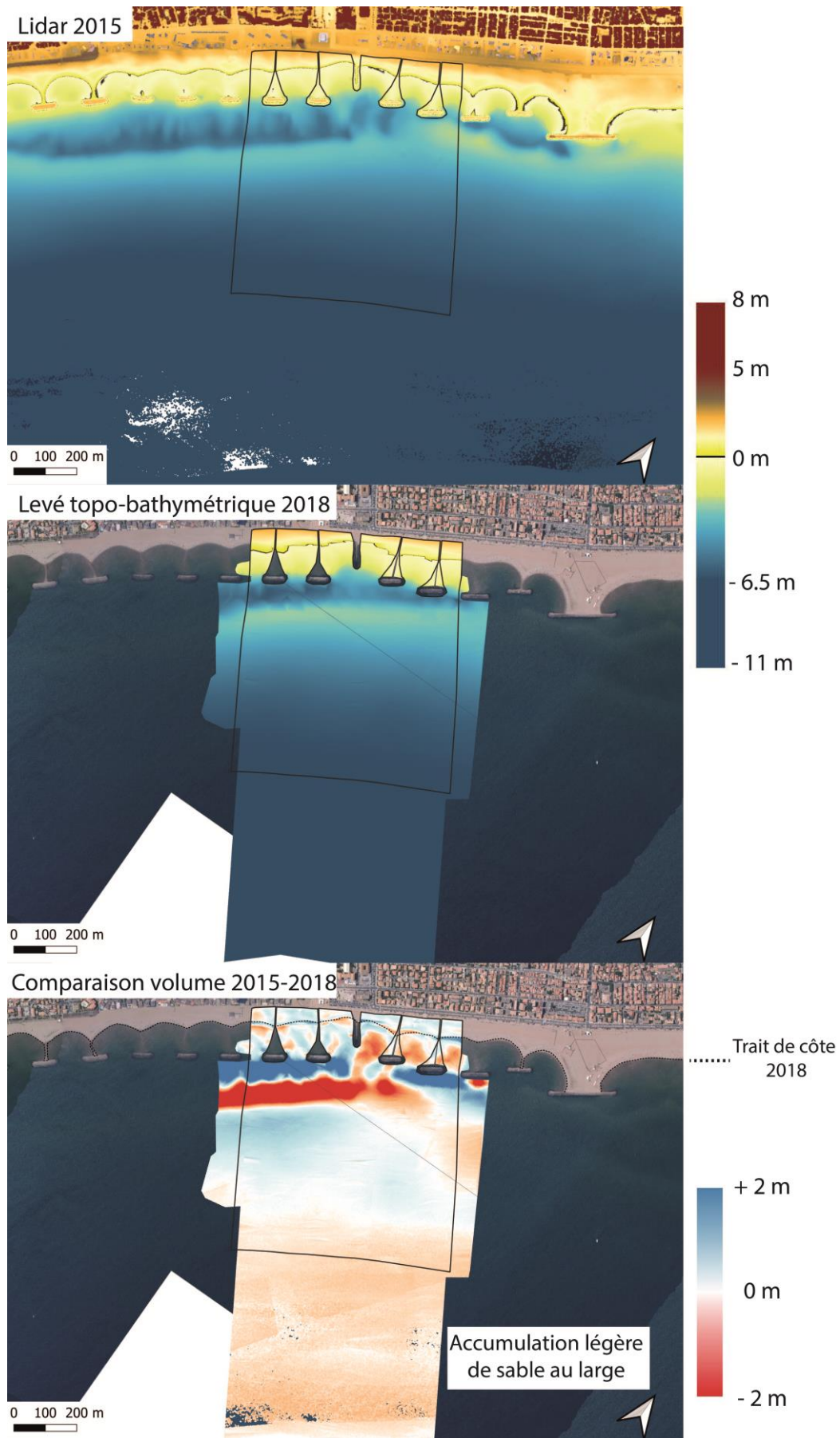


Figure 57 : Comparaison des changements topo-bathymétriques entre 2015 et 2018 sur la plage du casino de Valras

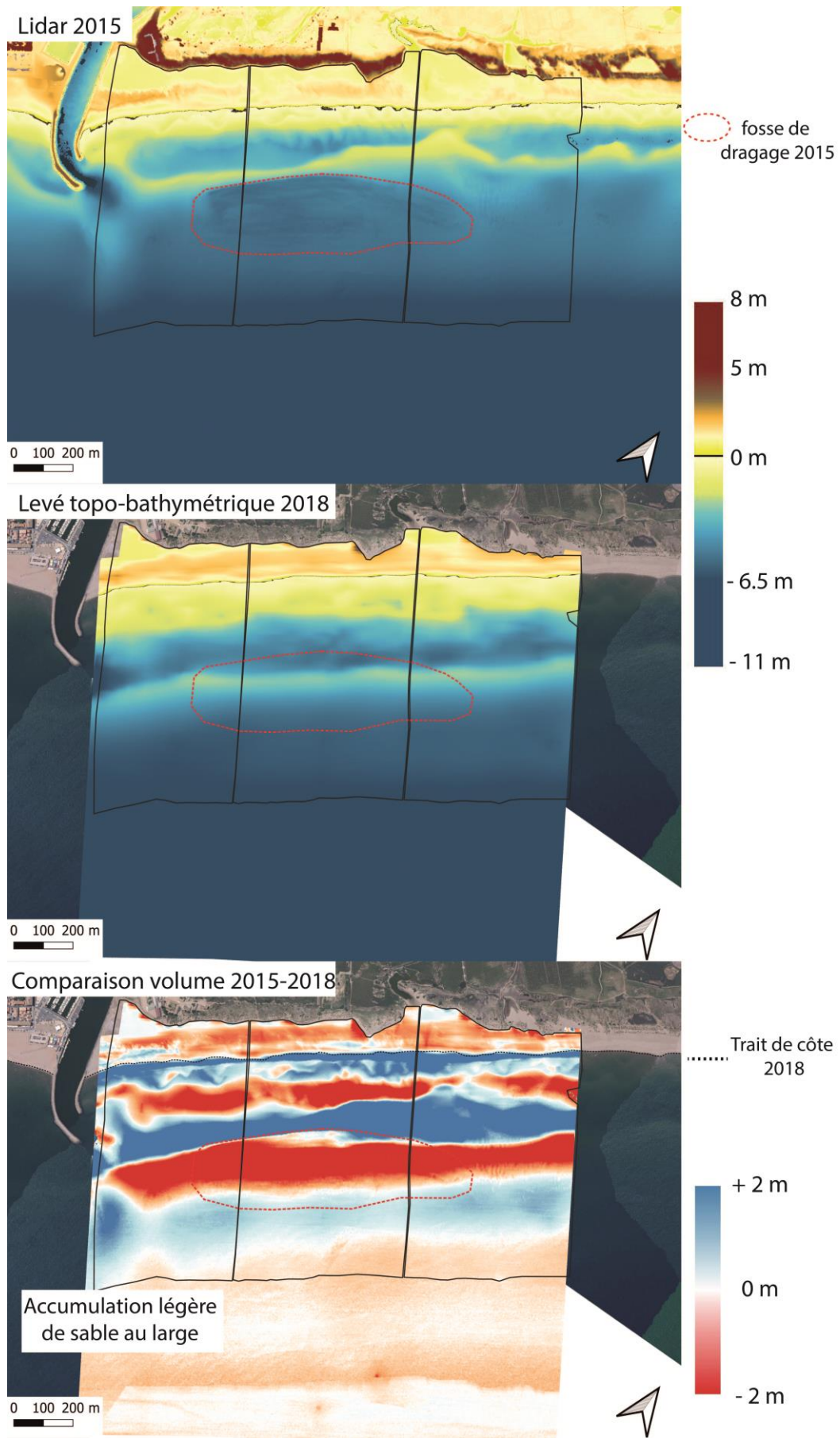


Figure 58 : Comparaison des changements topo-bathymétriques entre 2015 et 2018 sur le secteur des Orpellières

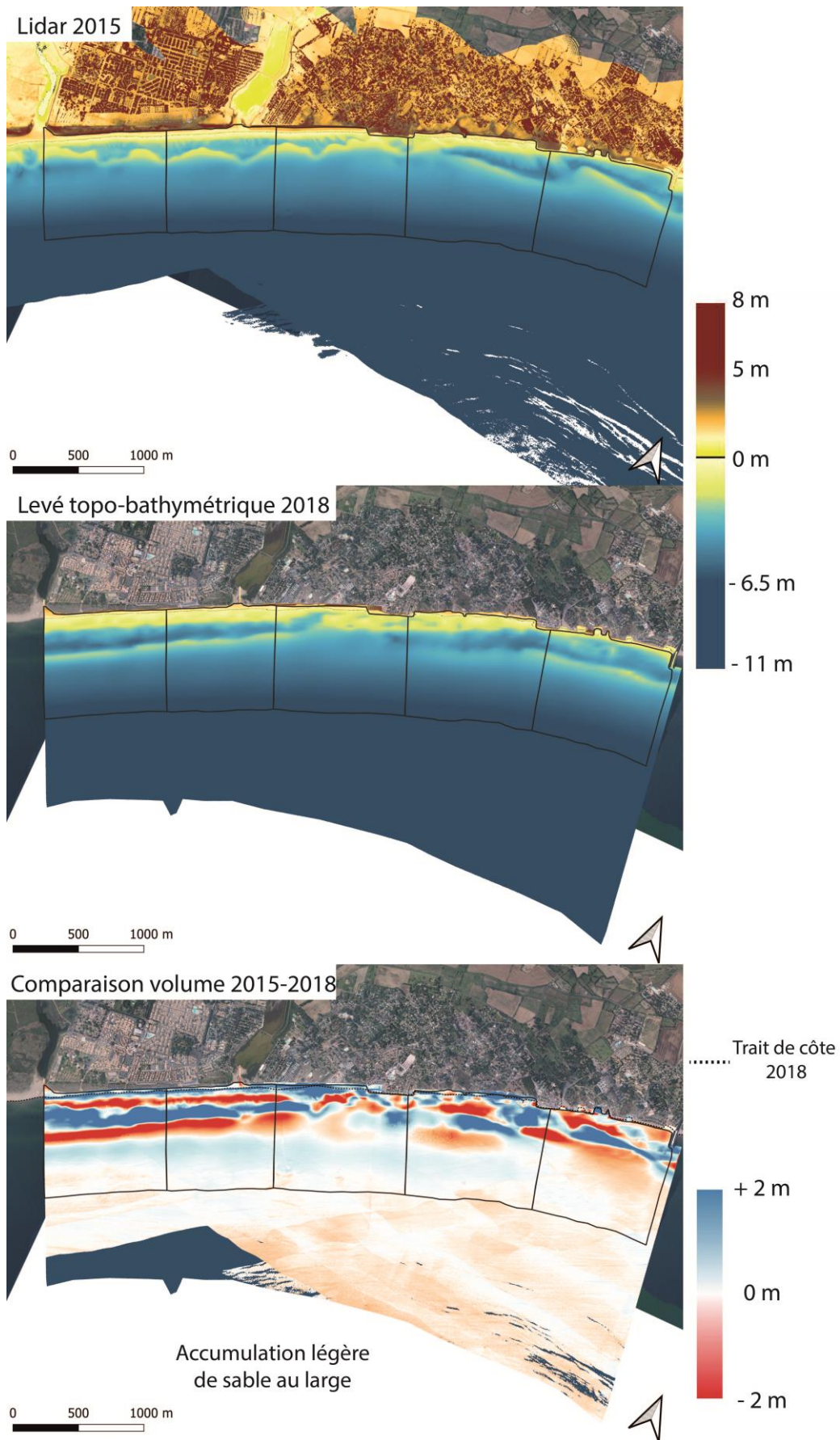


Figure 59 : Comparaison des changements topo-bathymétriques entre 2015 et 2018 sur les plages de Portiragnes et Vias Ouest

Pour chacun des sites nous constatons entre 2015 et 2018 :

- Les plages autour du casino à Valras forment une zone en érosion malgré la présence de brise-lames et d'épis, mais les taux d'érosion semblent ici plus lents qu'ailleurs. Contrairement à la plage des Orpellières voisine, la plage émergée de Valras perd du sable, au même titre que la plage immergée (Figure 57).
- Le secteur des Orpellières est un des rares secteurs du littoral à présenter un bilan clairement positif sur la plage émergée, comme le confirment les chiffres. Cependant, les levés topo-bathymétriques ayant été effectués peu après la tempête d'intensité exceptionnelle de mars 2018, les valeurs pour la partie immergée qui sont négatifs laissent penser que les courants ont emporté une partie du sable des barres au large, et que 6 mois après la tempête, les barres n'ont pas eu le temps nécessaire pour se recharger naturellement. Seule la zone centrale située face aux graus de la dune des Orpellières montre une accumulation de sable sur l'avant-côte, en raison du **rebouchage de la fosse de dragage creusée au printemps 2015** pour les travaux Vias-ouest. Sur cette zone, entourée sur les cartes (Figure 58), plus de 177 000 m³ de sable (!) est venu reboucher la dépression laissée par la drague (soit un dépôt moyen proche de 1 m verticalement, équivalent à + 62 m³/ml/an localement selon l'unité de la Figure 56).
- Tout le secteur Portiragnes-Vias déclare un bilan très largement négatif, avec des taux d'érosion particulièrement élevés pour toute la portion de plage émergée. Un pic d'érosion est visible en aval-dérive des rochers du camping "Le Petit Mousse", à l'est de l'ancien grau du Libron, avec des valeurs atteignant - 11 m³/ml/an de sable perdu sur la zone réaménagée (avec le nouveau cordon). Le secteur dans son ensemble présente un fort recul de la barre la plus visible sous l'eau entre 2015 et 2018, et simultanément un système de barre plus interne se forme au bord. Ce changement s'accompagne de fortes pertes de volumes sur la zone sous-marine proche de la plage. Une seule exception est visible sur la partie la plus à l'est, sur la zone sous-marine au droit des nombreux enrochements, où curieusement le système de barres a gagné en volume, potentiellement en raison de pertes et déplacements de sédiments depuis la zone voisine de Farinette-plage (Figure 59).

Dans cette méthode utilisée, l'appui des MNT pour chaque période permet de bien appréhender les mouvements des barres d'avant-côte. Le point le plus intéressant reste la différence de réponse entre les sites, avec une érosion nettement plus forte à l'est (même si on tient compte des dépôts au large), et la preuve que les mouvements du sable ne se limitent pas à la profondeur de -7 m lors des tempêtes exceptionnelles.

Il semble donc que l'avant-côte et les systèmes de barres, "garants" de la bonne stabilité de la plage et de sa pente subissent, comme pour la plage, des changements, ou potentiellement des "cycles" liés aux climats de houle variables selon les hivers, et marqués surtout par des tempêtes de puissances différentes. Ces cycles s'opèrent sur de grandes échelles spatiales qui peuvent concerner tout le site d'étude. Un export de sable vers le large et un recul des barres a ici été observé quasiment partout entre 2015 et 2018. Les levés ultérieurs de ce projet de 3 ans qui s'amorce apporteront un éclairage sur l'aspect réversible du phénomène de "pertes au large".

Avertissement

Les auteurs préviennent cependant que le levé Lidar de l'été 2015 présente une marge d'erreur supérieure pour l'estimation des profondeurs, erreur liée à la méthode de mesure indirecte par optique laser. Cette marge d'erreur pourrait impliquer en réalité des pertes supérieures aux chiffres annoncés sur les systèmes de barres d'avant-côte proches de la plage si le dépôt au large se révélait en réalité être un artefact (mauvais calage des instruments laser/DGPS du système aéroporté LiDAR). Toutefois, les auteurs s'accordent à dire que ce dépôt au large est de leur avis réel, puisque ce type de comportement a été observé à plusieurs reprises par le passé, en particulier sur des comparaisons de levés de profils bathymétriques effectués au DGPS-sondeur (par exemple, suite aux fortes tempêtes de l'hiver 2003-2004). Par ailleurs, suite à de nombreux travaux de comparaisons antérieurs, le calage du Lidar de 2015 semble très bon. Le rapport de l'EID pour la CAHM montre à ce propos également des dépôts de sable importants derrière la barre externe entre l'année 2015 et 2017 en comparant deux levés réalisés avec la même méthode { DGPS + sondage bathymétrique en bateau } sur les secteurs de Portiragnes-Vias, ce qui démontre ici l'export de sable vers le large suite à l'hiver 2016-2017 fortement marqué par des tempêtes marines répétées.

Données de volumes sur les profils de plage suivis par l'EID depuis 2002 entre les embouchures de l'Orb et de l'Hérault

L'EID a déjà procédé à un tri important et une première mise en forme de tous les levés de profils topo-bathymétriques sur la zone (à ce titre les données levées pour le CD-34 ont été livrées à nouveau aux gestionnaires du département).

Comme le montre la carte en Figure 61 ci-après, 49 profils sont suivis historiquement sur la grande cellule sédimentaire ouest-Hérault, limitée par les embouchures de l'Hérault et de l'Orb. L'espacement entre deux profils est en moyenne de 250 m. Sur cette cellule, le transit des sédiments par la dérive littorale est très important et augmente globalement en allant vers l'est.

Les différents profils se situent tous dans un contexte d'aménagement variable allant, dans le sens de la dérive, de secteurs très aménagés à l'est avec des épis et brise-lames en mer (Tamarissière et Farinette) ; des secteurs d'enrochements en haut de plage (Vias ouest), ayant provoqué la disparition totale de la plage émergée ; des secteurs urbains plus classiques avec cordon dunaire étroit (Portiragnes et partie est de Sérignan), et enfin un grand secteur de plage naturelle à l'ouest (site des Orpellières sur les communes de Sérignan et Valras).

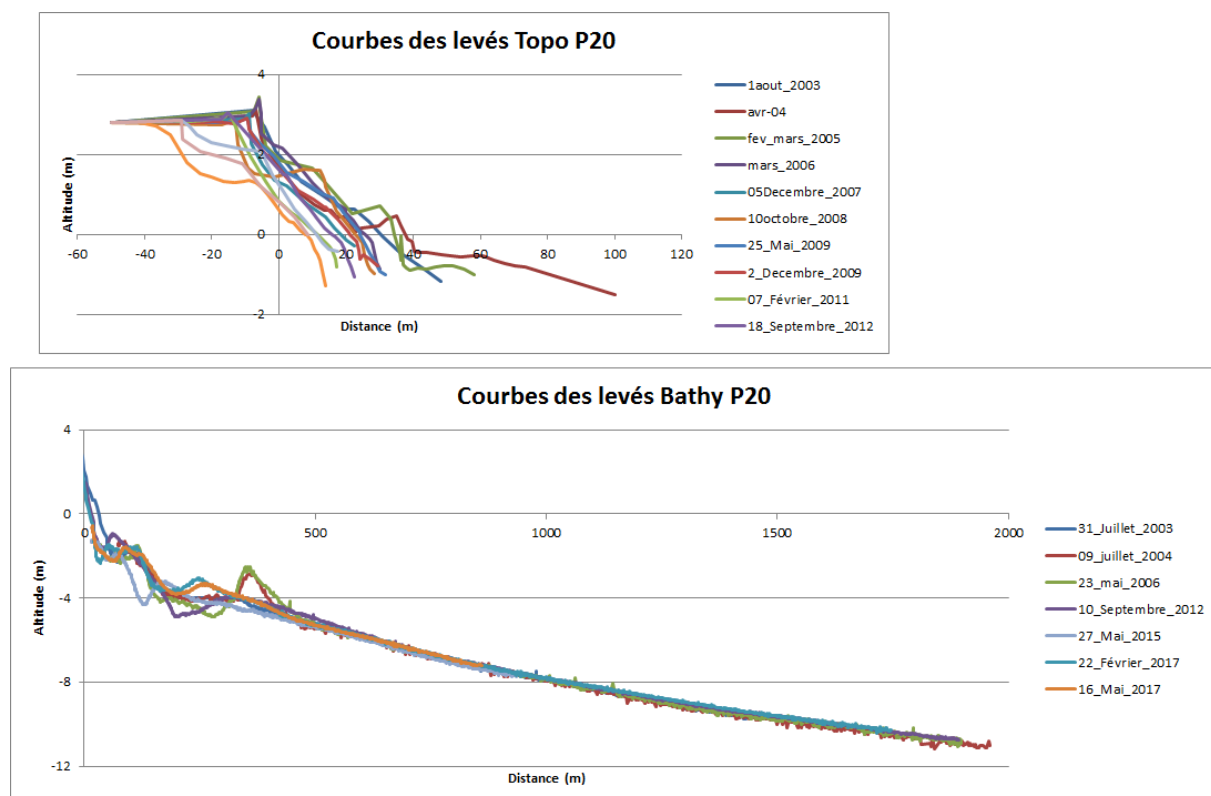


Figure 60 : exemple de données topo-bathymétriques sur le profil n°20 de Vias

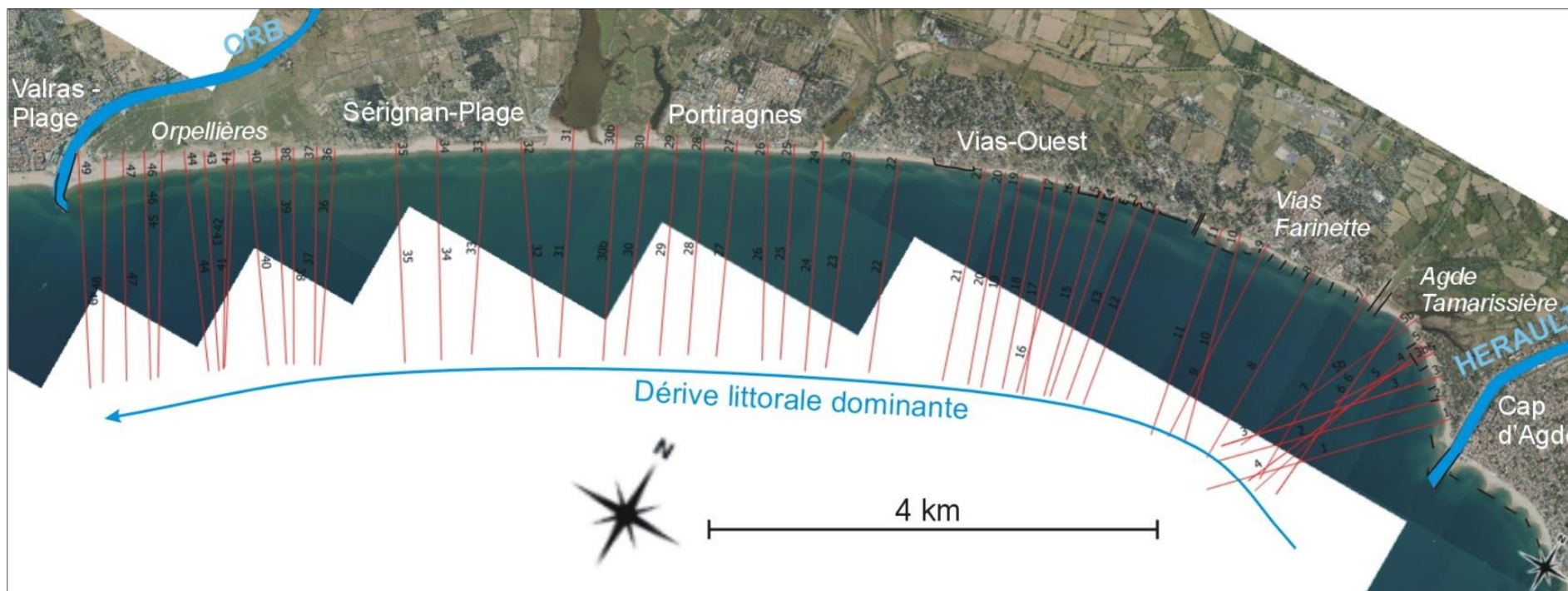
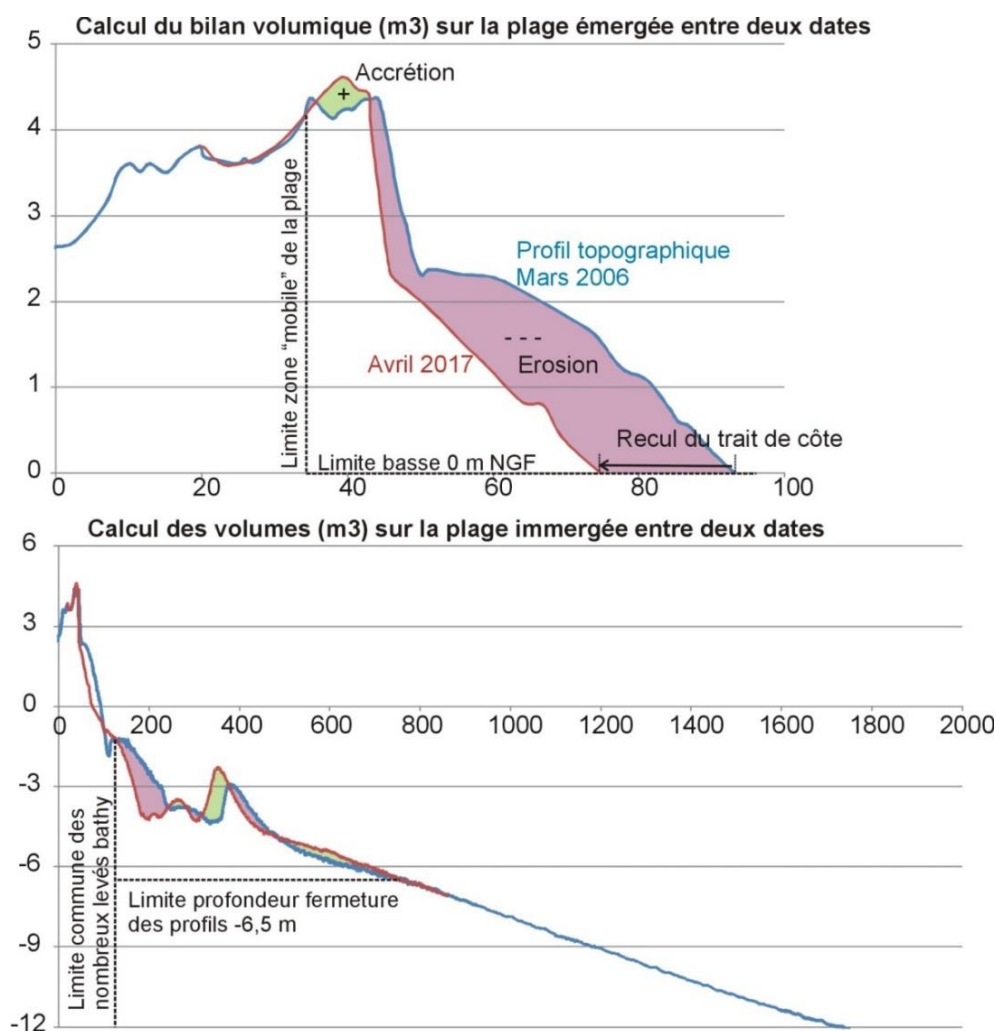


Figure 61 : les 49 profils suivis historiquement par l'EID et traités dans la base de donnée BD-profil (rendu étude EID - CD34 en 2018)

Dans cette base de données, l'intégralité des profils qui ont été levés a subi le même traitement, et les calculs de volumes suivent la même procédure (Figure 62) :

- un calcul des évolutions des volumes de sable sur la plage émergée jusqu'à la limite basse de 0 m NGF (contact du profil avec l'eau)
- un calcul des variations des volumes de sable sur la plage immergée (avant-côte), depuis la limite commune de tous les levés bathymétriques côté terre jusqu'à la profondeur de -6,50 m, qui a été levée a minima sur l'ensemble des campagnes.

La profondeur de -6,50 m correspond à la zone de l'avant-côte derrière les barres où les variations de bathymétrie deviennent plus faible. L'idéal aurait été d'avoir pu couvrir les profils jusqu'à la profondeur d'au moins -10 m afin de vraiment couvrir toute l'enveloppe de variation des profils jusqu'à une zone où les changements à l'échelle pluri-décennale sont d'un ordre inférieur (et la majorité du temps en dessus de la précision des instruments de mesure). Malheureusement, tous les profils, en particulier les plus anciens, ne couvrent pas cette zone du large.



N.B : sur ces deux figures seulement deux profils sont présentés, mais sur chacun des 49 profils suivis, en général le nombre de levé varie entre 4 et 16 levés en 14 ans --> les volumes sont donc calculés entre chacune de ces dates

Figure 62 : représentation graphique de la méthode de calcul des variations de volume sur les profils entre deux dates sur la base de données profil de l'EID

Le rapport qui accompagne ce travail de traitement massif de la donnée montre qu'en moyenne :

1/ un recul du trait de côte correspond à une perte de volume sur la plage dans un rapport de l'ordre de 5 m³ perdus pour un recul de 1 m du trait de côte. Ce phénomène reste une moyenne statistique mais n'est absolument pas systématique. **Certaines pertes ou gains de volumes sur la plage ne sont pas associés à un déplacement significatif de la ligne de rivage.** Dans ce cas, le profil de la plage change de forme, et la plage peut paraître plus ou moins haute (+/- "gonflée").

2/ Entre les premiers levés de 2003 et les derniers levés réalisés à la date du rapport de 2018, on remarque une perte de sable sur les parties émergées et immergées des profils, d'autant plus forte que l'on se déplace vers l'est, comme le montrent les deux figures suivantes (Figure 63). Ce résultat reste une grande tendance, qui varie selon les profils.

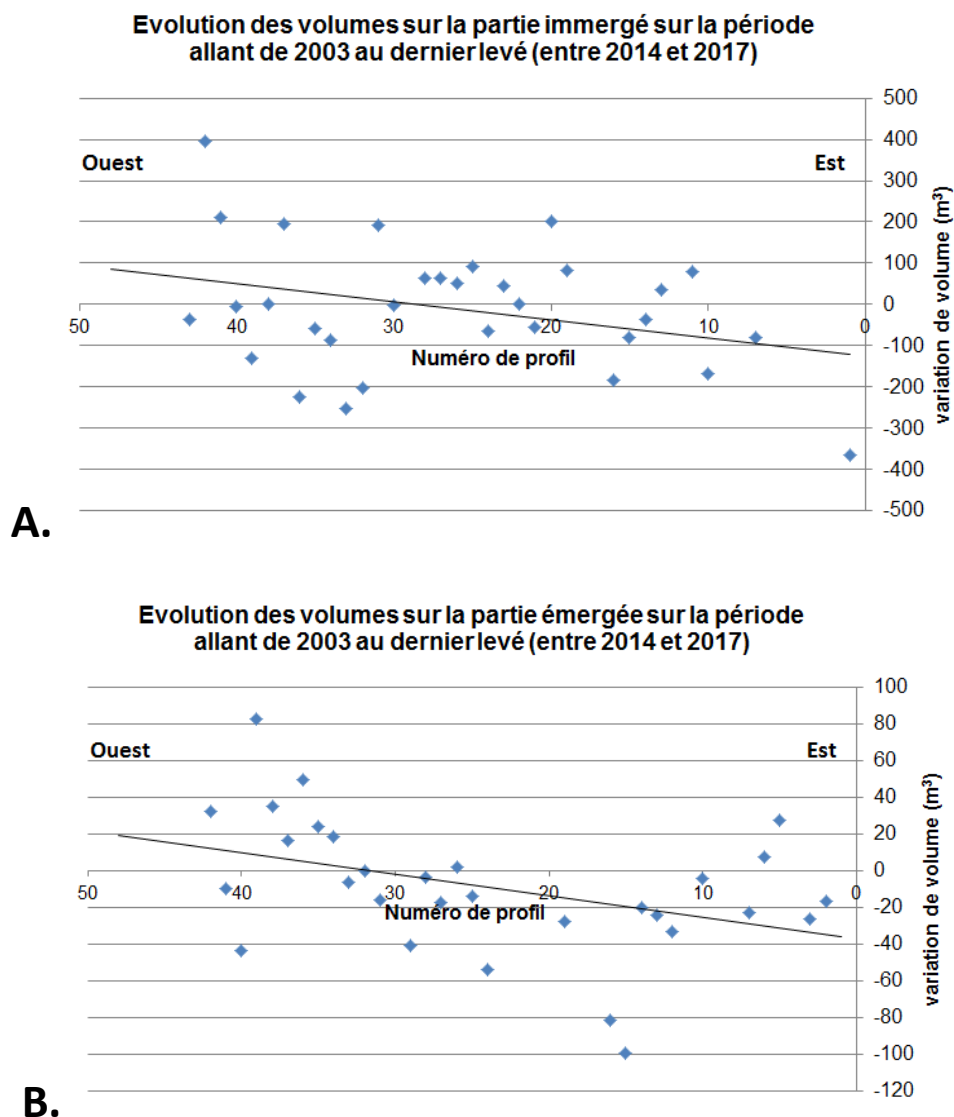


Figure 63 : variation totale cumulée des volumes selon les différents numéros de profils pour toute la période d'étude de la BD-profil (EID, 2018), pour la plage immergée (A) et la plage émergée (B). Volumes exprimés en m³ perdus ou gagnés par bande de 1 m de plage transversale au trait de côte.

3/ Enfin, dernier point, l'analyse des volumes sur les profils entre les deux levés des étés 2003 et 2004 montrent une érosion massive et généralisée à la fois de la plage émergée et de la plage immergée, en réponse indéniablement aux deux très fortes tempêtes de l'hiver 2003-2004 (4 décembre 2003 et 21 février 2004), d'une période de retour décennale. Dans ce cas, l'érosion a été très variable selon les profils avec une dominance des pertes sur la plage émergée au niveau de la partie est, sur les communes de Vias et d'Agde (plage de la Tamarissière).

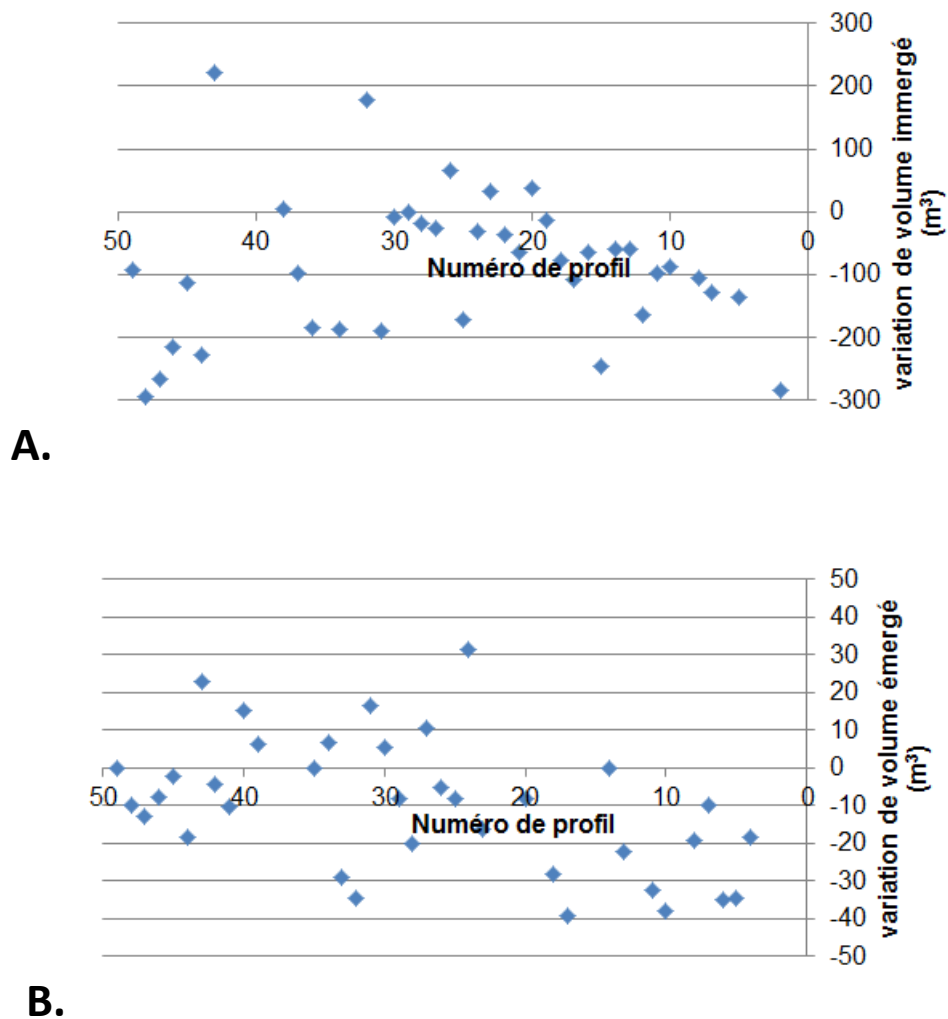


Figure 64 : variation de volume de la plage immergée (A) et de la plage émergée (B) lors des hivers 2003-2004 sur l'ensemble des 49 profils de la zone de suivi de la BD-Cubature. Volumes exprimés en m³ perdus ou gagnés par bande de 1 m de plage transversale au trait de côte

Réanalyse actualisée de la "BD-profils"

Pour les besoins de ce rapport, une version simplifiée de la base de données profils est présentée, d'après une mise à jour de la table initiale produite en 2018, ceci grâce à l'ajout des nouveaux levés de 2018 et 2019 sur les Orpellières qui ont été effectués après le rendu de cette étude ("BASE DE DONNEES : BD-CUBATURES, Synthèse de l'évolution historique des volumes sableux sur les profils de plage suivis par l'EID", 2018, pour le CD 34). L'information est ici homogénéisée et simplifiée avec la variation de volume cumulée entre le premier levé de 2003 (ou à défaut de 2004 pour les profils topographiques 7, 9, 14, 19, 35 à 38) et le dernier levé qui a eu lieu entre 2017 et 2019, au cours ou terme d'une phase tempétueuse (hivers 2016-2017 et 2017-2018).

Les données montrent qu'entre le premier levé de 2003 et les derniers levés de 2017-2018-2019 :

- L'extrémité ouest des Orpellières perd nettement du sable en partie sous-marine, probablement suite à la tempête de mars 2018, mais l'ensemble de la zone gagne de nouvelles quantités de sédiments, comme elle l'a fait depuis des décennies avec la construction des digues d'embouchure de l'Orb. L'essentiel de la plage émergée montre à ce titre de l'accumulation.
- Sur l'étendue géographique de la zone urbanisée de Sérignan-plage, entre la fin des Orpellières et les lagunes de la Grande-Maire et de la Riviérette, la bathymétrie révèle une perte de sable dominante ; toutefois la plage est stable ou en accumulation : elle gagne en épaisseur malgré le léger recul constaté du trait de côte à cet endroit (Figure 50).
- A Portiragnes-plage (profils 30 à 25), la zone sous-marine gagne du sable alors que la plage s'amaigrit, en accompagnement du recul du trait de côte.
- A Vias-ouest (entre l'ancien Libron et son actuelle embouchure), la plage sous-marine et la plage émergée s'érodent toutes deux fortement. Seuls les profils bathymétriques 21 et 20, localisés à l'ouest de la plage Saint Geneviève montrent une évolution différente. Toutefois, sur ce dernier point, il faut rester très prudent puisque les derniers levés datent du printemps 2017, peu de temps après le rechargement de 2015, et avant la grosse tempête de mars 2018.
- A Farinette (Vias), nous ne disposons pas d'assez de données récentes pour conclure, mais les levés intermédiaires entre 2003 et 2015 indiquent en majorité des pertes de sable. Les nouveaux levés de la campagne de suivi de l'ouest-Hérault apporteront des précisions sur ce secteur.

A signaler que dans un travail d'étude des profils de plage, il est possible qu'un profil en particulier sur un secteur géographique de taille kilométrique révèle un comportement différent des autres, avec des taux d'accumulations ou d'érosions différents des profils voisins. Ce biais n'apparaît en général qu'à une date, lors d'un levé en particulier, du fait de l'influence de changements locaux importants liés aux formes de la plage (en relation avec les formes des barres d'avant-côte, alternant bancs de sable en formes de croissants et portions creusées par des chenaux).

Evolution de la plage des Orpellières entre 2011 et 2019

Afin de compléter l'analyse sur les profils de plage, il apparaît pertinent de comparer le volume total de la plage des Orpellières. Pour cette comparaison diachronique les anciennes données lidar de 2011 et de 2015 sont utilisées et mises en parallèle avec les données photogrammétriques drone de 2019. Le levé de 2009 n'est pas utilisé car il ne couvre pas toute la plage (un trou dans la donnée apparaît vers le secteur des Tellines).

Les résultats montrent une cyclicité dans le profil de plage, avec une diminution du volume de la plage entre 2011 et 2015, puis une augmentation entre 2015 et 2019. Ceci est lié pour l'essentiel aux mouvements sur le milieu et le bas de plage avec une berme plus gonflée en 2011 et 2019 qu'en 2015.

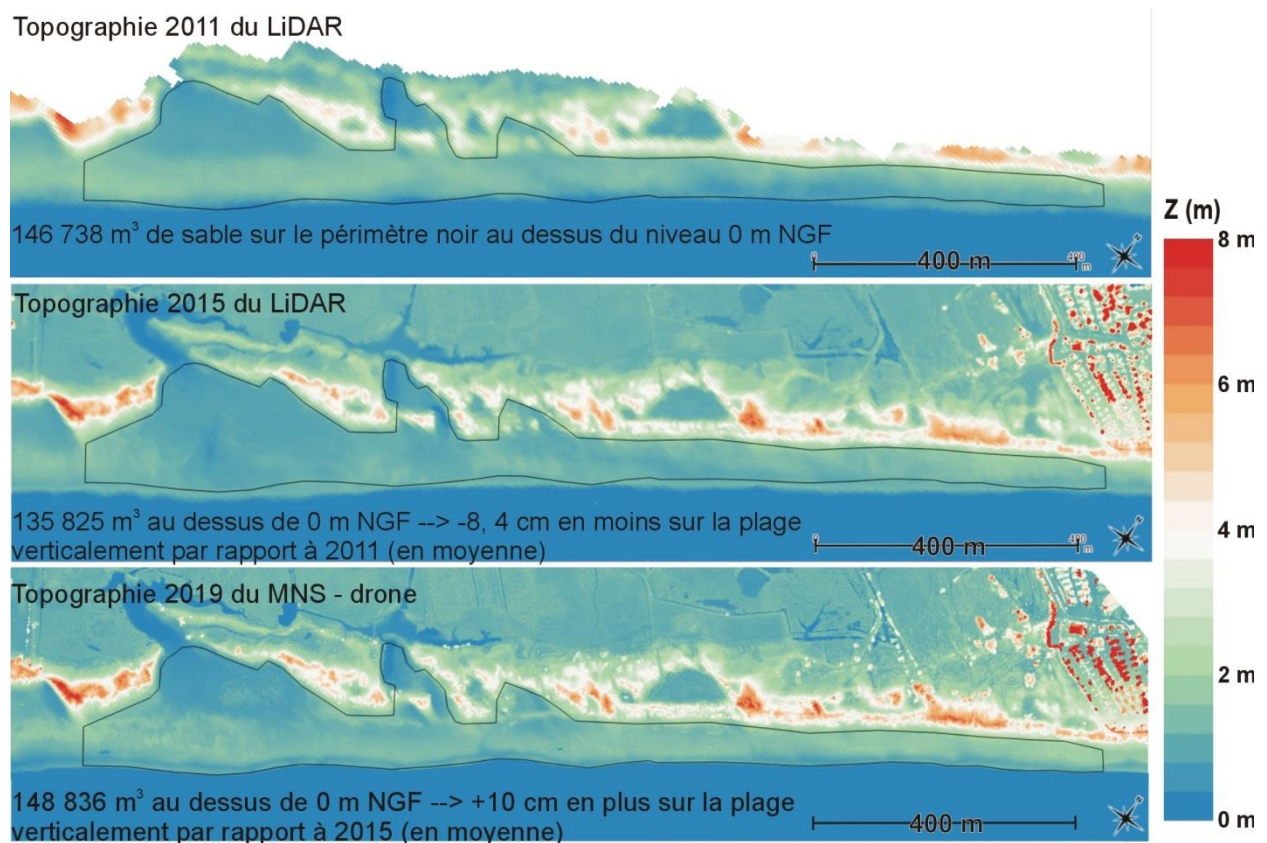


Figure 66 : comparaison des volumes sur la plage émergée des Orpellières en 2019 par rapport aux données LiDAR anciennes

Ainsi, si le trait de côte a légèrement reculé sur la zone naturelle des Orpellières ces dernières années, en particulier suite à la tempête de mars 2018, la plage se montre nettement plus épaisse en 2019. A signaler toutefois que de grandes quantités de bois flottés apportées sur la plage suite à des crues de l'Orb ont été recouvertes par le sable.

Conclusion générale

Ce travail fait la synthèse des connaissances actuelles sur la dynamique sédimentaire du littoral de l'ouest-Hérault, et en particulier des phénomènes d'érosion des plages situées entre les communes de Fleury d'Aude et de Marseillan (non incluses). Le rapport reprend les principales informations de la bibliographie et des diverses études scientifiques produites, mais apporte également de nouvelles analyses afin d'offrir l'éclairage le plus large.

Le rapport fait tout d'abord un retour sur la géologie récente et la création des cordons littoraux. Suite à la remontée du niveau de la mer à la fin de la dernière glaciation, et grâce à l'action de la dérive littorale, ce sont les apports des fleuves Hérault et Orb qui ont contribué à nourrir et créer les cordons littoraux à l'ouest du cap d'Agde. A l'est, il s'agit plutôt des apports distants du Rhône (comme l'essentiel des cordons de l'Hérault) qui ont permis de relier le cap de Sète (Mont Saint-Clair) et celui d'Agde (complexe volcanique avec le Mont Saint-Loup) et ainsi créer le lido. Les plages entre l'embouchure de l'Hérault et le cap d'Agde auraient quant à elles une origine mixte.

Les stocks de sable sont aujourd'hui peu renouvelés sur les plages, les fleuves ne transportant plus que des boues et des argiles/silts. Le matériel et le volume de sédiment existant sont intensément redistribués par la dérive littorale et la dynamique marine, ce qui explique les phénomènes d'érosion et de recul du trait de côte. Des pertes de sédiment avec la dérive se font vers le sud-ouest (au-delà de l'Aude), mais également vers le large lors des tempêtes, avec une partie du volume de sable déplacé qui ne revient plus sur les plages. La connaissance des flux et des sens de dérive sont améliorées dans ce rapport.

Le trait de côte recule de manière historique, et cela bien avant la phase d'aménagement des années 60-70 liée à la mission Racine, durant laquelle l'Homme a commencé à fortement marquer de son empreinte le paysage littoral. Ce recul ancien, que l'on constate dès le début du XX^{ème} siècle sur les données, concerne d'ailleurs la grande majorité des secteurs à l'exception de ceux au sud-ouest de l'Orb et à proximité de l'Aude. Néanmoins, la perturbation des conditions de transport due à la construction de nouvelles digues d'embouchure (ou de ports), puis les ouvrages de défense en mer (épis, brise-lames...), a manifestement aggravé le phénomène d'érosion sur la fin du XX^{ème} siècle. La mise en place ou le rallongement des digues d'embouchures a accéléré les phénomènes d'érosion à Valras-Vendres et à Fleury d'Aude (en dehors de la zone d'étude), mais a favorisé le dépôt de sable au sud-ouest de Vendres et aux Orpellières.

Une séquence illustre ici avec des photographies aériennes anciennes et des relevés de trait de côte les phénomènes qui se sont produits sur plusieurs secteurs répartis sur toute la zone d'étude, avec des variations de la ligne de rivage comprises fréquemment entre 50 et plus de 100 mètres au terme des 50 dernières années.

Concernant les chiffres, dans tout l'ouest-Hérault, ce serait près de 10 millions de mètres cubes de sédiments qui auraient été perdus depuis la fin du XIX^{ème} siècle sur le système sableux des barres d'avant-côte, en zone de plage immergée. Le trait de côte a reculé dans le même temps d'environ 30 m en moyenne, mais de plus de 100 m localement. Avec ce recul, ce sont certainement 3 à 4 millions de m³ supplémentaires qui auraient été perdus sur les 31,5 km de linéaire de plage émergée de la zone, mais aucune donnée ne permet d'évaluer correctement ce creusement.

Les données topo-bathymétriques existantes montrent à la fois une accélération du phénomène d'érosion depuis les années 1970-80, ainsi qu'une inégalité dans le phénomène avec les sites de Vendres et de Vias qui sont actuellement les plus touchés en raison du manque d'apports latéraux, liés aux ouvrages de défense en mer (épis et brise-lames) placés à leur voisinage nord-est : "on retient le sable sur la plage, effectivement, mais toujours au détriment des secteurs voisins".

La phase d'aménagement après 1980 est également synonyme de pertes massives et accélérées sur l'avant-côte, puisqu'on note une accélération de plus de 10 fois des pertes annuelles de volumes à l'ouest de l'embouchure de l'Hérault. Dans ce cas, il est clair que la diminution des apports de sable par les fleuves est également responsable de cette aggravation, même si la carence est apparue bien avant ces années 1980, probablement dès la fin de la première moitié du XX^{ème} siècle.

Les résultats récents montrent une forte variabilité du phénomène érosif selon les années, avec sur certaines périodes un retour du sable sur le système immergé (cf. 2009-2015), et un trait de côte beaucoup plus stable. Les très fortes tempêtes comme celle de mars 2018 induisent des pertes de sable sur tous les secteurs, même ceux connus comme en accrétion, comme celui des Orpellières (transferts de sable au large de l'avant-côte). Toutefois, on observe sur ce site que les tempêtes peuvent dans certains cas faire reculer le trait de côte tout en éjectant de grandes quantités de sable sur le haut de plage, ce qui implique au final un bilan positif des volumes sur la zone émergée avec un profil de plage plus haut et plus gonflé que dans la situation antérieure.

Dans l'ensemble, le secteur en érosion de l'ouest de Vias (qui se prolonge sur Portiragnes) montre actuellement des pertes de sable de plus de 25 m³/ml/an. Sur la plage émergée, plus de 5 m³/ml/an disparaissent dans le même temps.

Une partie du stock sédimentaire de l'ouest-Hérault est également piégé dans les embouchures et dans certains graus, comme le montrent les dernières études à ce sujet (curage de l'embouchure de l'Aude en 2014 ; piégeage dans les lagunes de la Grande Maïre, de la Riviérette, de l'ancien Libron ; curage de l'Ardaillon fin 2019 ; et enfin, dragage de l'Hérault pour les travaux du grau d'Agde). Mais il semble que les volumes mis en jeu dans ce cas sont d'un ordre de grandeur inférieur aux quantités perdues sur le système sableux côtier de l'ouest-Hérault, en particulier sur la partie sous-marine ("partie invisible de l'iceberg" qui comprend parfois 90% des variations de volume à l'échelle événementielle). Même sur les secteurs qui paraissent à première vue stabilisés par le recours massif aux ouvrages de génie civil sur la plage (brise-lames, épis), comme les secteurs de Valras, du cap d'Agde ou de Farinette, les données révèlent indéniablement que l'érosion se poursuit plus au large des ouvrages sur l'avant-côte, et qu'on peut craindre, à terme, que cette abaissement des fonds menace l'équilibre de ces secteurs et induise des dommages sur la partie haute du profil de plage.

Les nouveaux levés qui seront réalisés dans le cadre du suivi de l'ouest-Hérault apporteront indéniablement une vision plus uniforme des changements qui se produisent sur les plages à l'échelle du territoire de l'ouest-Hérault. Ces données permettront certainement de répondre en partie aux questions soulevées dans ce rapport, comme par exemple le retour supposé du sable vers la plage après une forte tempête comme que celle de mars 2018, et donc l'effet de résilience du système plage/dune. Le suivi devra apporter aussi des réponses sur la dynamique des pertes de sable en aval dérive des ouvrages de défense comme à Vias-ouest ou à Valras.

Bibliographie

Ambert, P., 1987. Modifications historiques des paysages littoraux en Languedoc central : état actuel des connaissances. Actes du colloque international CNRS « Déplacement des lignes de rivages en Méditerranée », Ed. du C.N.R.S, Paris, 35-43.

Ambert, P., 1991. L'évolution géomorphologique du Languedoc central (Grands Causses méridionaux, piémont languedocien) depuis le Néogène. Thèse de Doctorat, Aix-en-Provence, 2 t, 224 p..

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 de l'université de Perpignan. 240 p. sans les annexes.

Aleman, N., Robin, N., Certain, R., Anthony, E. J., et Barusseau, J.-P., 2015. Longshore variability of beach states and bar types in a microtidal, storm-influenced, low-energy environment. In : *Geomorphology*.2015. Vol. 241, p. 175- 191. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.029>.

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.

Aleman, N., Raynal, O., Certain, R., Robin, N., 2019. Atlas de l'évolution morphologique et du budget sédimentaire du littoral d'Occitanie 2011-2014/15. Rapport axe 2 - PAUL, 64 p.

Barusseau, J.P., 2011. Influence of mixtures of grain-size populations on the parametric and modal characteristics of coastal sands (Hérault, Mediterranean Sea, France). *Journal of Sedimentary Research*, 2011-vol. 81, pp. 611-629.

Bourrin, F., 2007. Variabilité et devenir des apports sédimentaires par les fleuves côtiers : cas du système Têt-littoral roussillonnais dans le golfe du Lion. Thèse. Perpignan : Université Perpignan Via Domitia.

Buchou, S. 2019. Quel littoral pour demain ? Vers un nouvel aménagement des territoires côtiers adapté au changement climatique. Rapport du député de Vendée Stéphane Buchou remis à Monsieur le Premier Ministre et à Madame la Ministre de la Transition Écologique et Solidaire et à l'assemblée nationale en octobre 2019. (https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2019.11.29_Quel-littoral-pour-demain.pdf)

BRGM. 2011. Actualisation de l'aléa érosion en Languedoc-Roussillon. Rapport final. N°1713060.

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 de doctorat de l'Université Aix-Marseille 1. 443 p. sans les annexes.

Brunel, C., Certain, R., 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), 27p.

CEREMA (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement), 2015. Indicateur national de l'érosion côtière – fascicule Languedoc-Roussillon.

Publication Cerema – Ministère de l'écologie, 2015. Atlas cartographique comportant 7 planches. (<http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/les-cartes-a960.html>)

CEREMA : Trmal, C., Gervais, M., à paraître. Dynamiques et évolution du littoral Synthèse des connaissances des côtes françaises de la frontière espagnole à Port de Bouc. Cerema Edition, Ministère de la transition écologique. Documentation MTES (à paraître ; versions provisoires consultables sur : <http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/fascicules-locaux-a949.html>).

CEREMA : Fiches synthétiques de mesure des états de mer Tome 2 – Méditerranée - Janvier 2020. Collection : Données. ISBN : 978-2-37180-434-0. Rédigé par Xavier Kergadallan, Alain Le Berre et Ronan Sanquer du Cerema Eau, mer. 170 p.

Certain, R., 2002. Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barres : le Golfe du Lion (Languedoc-Roussillon. Thèse de doctorat de l'université de Perpignan. 209 p. sans les annexes.

Clerc-Roques, G., 2009. Protection du littoral de l'Orb à l'Aude, secteur 2b. Rapport DRE Languedoc-Roussillon -Service Espaces Littoraux, Aménagements et Risques Littoraux (ARL). 6 p.

DREAL, 2018. Stratégie Régionale de Gestion Intégrée du Trait de Côte. Littoral Occitanie 2018 – 2050. Directeur de Publication : Didier KRUGER, Directeur DREAL ; Réalisation : DREAL Occitanie - DRN/DPRN - Laurent MONTEL. 87 pages. (http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/20180821_-_srgitcv2.pdf)

Durand, P. 1999. L'évolution des plages de l'ouest du Golfe du Lion au XXème siècle. Cinématique du trait de côte, dynamique sédimentaire, analyse prévisionnelle. Thèse de doctorat de l'université Lyon 2. 419 p. (sans les annexes)

EID-Méditerranée, 2015. Suivi morphologique, écologique, et photographique du littoral de Portiragnes, de Vias et d'Agde. Rapport d'étude pour la Communauté d'agglomération Hérault-Méditerranée.

EID-Méditerranée, 2016. Suivi de la bande littorale des Orpellières – proposition de gestion. Rapport d'étude pour la Communauté d'agglomération Béziers Méditerranée.

EID-Méditerranée, 2017. Suivi morphologique du littoral – propositions d'aménagement. Rapport d'étude pour la Communauté d'agglomération Hérault-Méditerranée.

EID-Méditerranée, 2017. Suivi morphologique, écologique, et photographique du littoral de Portiragnes, de Vias et d'Agde. Rapport d'étude pour la Communauté d'agglomération Hérault-Méditerranée.

EID-Méditerranée, 2017. Suivi topographique par drone de plusieurs sites héraultais. Rapport d'étude pour la DREAL-Occitanie.

EID-Méditerranée, 2017. Suivi de la bande littorale des Orpellières – proposition de gestion. Rapport d'étude pour la Communauté d'agglomération Béziers Méditerranée

EID-Méditerranée, 2018. Bathymétrie de l'embouchure de l'Ardailon (Vias). Prestation pour le bureau d'étude Artélia, dans un marché d'accompagnement de la Communauté d'agglomération Hérault-Méditerranée.

EID-Méditerranée 2018. Mission de suivi morphologique du littoral de la communauté d'agglomération Hérault Méditerranée. Prestation pour le bureau d'étude Artelia de levés topo-

bathymétrie sur le littoral de Valras, Portiragnes et Vias. Accompagnement de la mission en cours de maîtrise d'œuvre et écriture du rapport de mission d'avant-projet : protection du littoral sur les communes de Vias-plage et de Valras-plage (Artelia, 2018).

EID-Méditerranée, 2019. Contrat de partenariat et de cofinancement relatif à l'estimation des stocks sableux disponibles dans les exutoires marins et étangs du Languedoc et du Roussillon. Contrat d'étude pour la DREAL-Occitanie.

EID-Méditerranée, 2019. Suivi de la bande littorale des Orpellières et propositions de mesures de gestion. Rapport d'étude pour la Communauté d'agglomération Béziers Méditerranée.

EID-Méditerranée, 2020. Mission d'accompagnement du conseil départemental de l'Hérault. Rapport annuel de bilan sur les tempêtes marines.

Ferrer, 2010. Morphodynamique à multi-échelles du trait de côte (prisme sableux) du Golfe du Lion depuis le dernier optimum climatique. Thèse de doctorat de l'université de Perpignan Vias Domitia. 288 p. sans les annexes.

Gervais, M., 2012. Impacts morphologiques des surcotes et vagues de tempêtes sur le littoral méditerranéen. Thèse de doctorat de l'université de Perpignan –UPVD. 370 p.

Kergadallan, X., 2015. Estimation des niveaux marins extrêmes avec et sans l'action des vagues le long du littoral métropolitain. Thèse de doctorat de l'université Paris-Est. 176 p. (sans les annexes)

Kulling B., Sabatier F., 2015. Atlas du potentiel de transport sédimentaire longitudinal résultant annuel de l'avant-côte du Languedoc-Roussillon. Rapport d'avancement de la thèse pour la DREAL-LR.

Kulling, 2017. Déformation du rivage et dérive littorale des plages du Golfe du Lion. Thèse de doctorat de l'université Aix-Marseille, laboratoire CEREGE, 270 p.

Mazeiraud, V., Viguier J., Paireau, O., Rihouey, D., Dailloux, D., Dugor, J., 2010. Protection du littoral de Valras-Plage et de Vendres (Hérault) par une digue sous-marine : suivi des évolutions du trait de côte un an après réalisation. Proceeding Conference: Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil de 2010.

Monaco, A., 1971. Contribution à l'étude géologique et sédimentologique du plateau continental du Roussillon (Golfe du Lion). Thèse d'Etat. Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Montpellier, 285 p.

Perherin, C., Kergadallan, X. et Trmal, C., 2013. Analyse des surcotes extrêmes le long des côtes métropolitaines. CETMEF, CETE Méditerranée.

Raynal, O., Certain, R. et Guérinel, B., 2011. Elaboration des éléments sédimentologiques de référence du PGSLR : les pratiques de gestion des sédiments dans le Languedoc-Roussillon. Rapport de tâche A1 du Plan de Gestion des Sédiments du Languedoc-Roussillon, DREAL LR & UPVD, pp. 49.

Raynal, O., Certain, R. et Guérinel, B., 2013. Elaboration des éléments sédimentologiques de référence du PGSLR : évaluation du bilan sédimentaire et proposition de gestion des sédiments par cellule sédimentaire. Rapport de tâche C du Plan de Gestion des Sédiments du Languedoc-Roussillon, DREAL LR & UPVD, pp. 56.

Sabatier, F. Hanot, B. 2012. Les variations du rivage du Languedoc-Roussillon. Phase 1. Les variations du rivage du Languedoc-Roussillon entre 1895 et 2009. Rapport du CEREGE -UMR 7073 pour la DREAL-LR, 57p.

SHOM, 2020. Références Altimétriques Maritimes - Cotes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée. SHOM édition, 2020. <https://diffusion.shom.fr/pro/references-altimetriques-maritimes-ram.html>

SOGREAH, 2010. Etude de la protection du littoral de Vias. Etude AVP, phase 1.

SOGREAH, 2010. Protection du littoral du grau d'Agde. Etude d'accompagnement de la communauté d'agglomération Hérault Méditerranée.

SOGREAH, 2011. Actualisation de l'aléa érosion en Languedoc-Roussillon. Rapport N°1713060 SOGREAH-ARTELIA pour le compte du BRGM, la région Languedoc-Roussillon et la DREAL-LR. Rapport d'octobre 2011, 176 pp.