

Synthèse bibliographique des connaissances de la dynamique du littoral sableux

Secteur de Marseillan à la Grande-Motte



Convention de partenariat
Conseil Départemental de l'Hérault / EID Méditerranée

Février 2024

CONTACTS

Hugues Heurtefeux
hheurtefeux@eid-med.org

Alexian Ajas
aajas@eid-med.org

EID Méditerranée

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



Le pôle Littoral de l'EID Méditerranée s'investit dans la protection et la restauration des cordons dunaires et des plages. 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.

A propos du rapport :

Auteur : Alexian AJAS, chargé de missions (aajas@eid-med.org)

Validation technique et relecture :

Philippe RICHARD, chef de projets (prichard@eid-med.org)

Hugues HEURTEFEUX, directeur du pôle littoral (hheurtefeux@eid-med.org)

Sommaire

1. Préambule	4
2. Contexte général	5
2.1. Cadre physique (géologie, géographie, hydrographie)	5
2.2. Dynamique locale (vents, houles, courants, dérive, sédiments)	9
a) Variations du niveau d'eau	11
b) Bilan sédimentaire du Golfe d'Aigues Mortes	12
c) Climatologie des houles	14
d) Climatologie des courants	16
e) Climatologie des vents	17
f) Bilan des tempêtes recensées sur le littoral du Golfe d'Aigues Mortes	18
3. Évolution du trait de côte sur les plages est/centre Hérault	24
3.1. Évolution historique et récente du trait de côte.....	24
a) Évolution récente : la méthode DSAS	24
b) Évolution historique du littoral héraultais	27
3.2. Évolution des surfaces de plage de la zone d'étude	37
4. Aménagements et impacts.....	41
4.1. Ouvrages présents sur la zone d'étude.....	41
4.2. Ouvrages historiques.....	44
4.3. Gestion sableuse (prélèvements/rechargements).....	46
5. Conclusion	51
6. Bibliographie.....	53

1. Préambule

Le paysage des littoraux s'est progressivement transformé au fil des années, notamment depuis l'avènement des stations balnéaires avec la mission Racine, mission interministérielle d'aménagement du littoral du Languedoc-Roussillon (créée le 18 juin 1963 par l'État pour développer le littoral des départements de la région Occitanie). Cette anthropisation a impacté la dynamique sédimentaire à l'œuvre sur les plages méditerranéennes. Le changement climatique apporte aussi son lot de variations sur le profil de plage, aussi bien sur le stock sableux que sur l'évolution du trait de côte.

Dans le même cas de figure que l'étude bibliographique réalisée en 2020 sur la partie littorale ouest du département de l'Hérault (secteur Vendres à Agde), ce rapport présente une synthèse des références bibliographiques du secteur centre et est du littoral héraultais (de Marseillan à La Grande-Motte). Les informations sont issues de différents documents (articles, sites internet, archives etc.) et synthétisées afin de partager ces connaissances et de les rendre accessibles et compréhensibles de tous. Les principales références utilisées à la rédaction de ce mémoire sont les différentes études effectuées par les acteurs du littoral, et notamment le plan de gestion des sédiments réalisé par la DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) et l'UPVD (Université Perpignan Via Domitia). Le reste des documents ayant servi à la rédaction de ce rapport est à retrouver dans la bibliographie.

Ces documents, accompagnés de diverses cartes, articles et connaissances liées à des précédents projets, ont permis de rassembler la donnée nécessaire à l'élaboration de cette étude. Tous les éléments extraits de ces différents documents sont complétés également par des expériences et observations de terrain (photos, mesures) réalisées par les agents de l'EID ces dernières années.

Le contenu du rapport est divisé en plusieurs parties. Une première étape consiste à cadrer le contexte général et les données météorologiques et climatiques. Un deuxième chapitre vient traiter des principaux événements et faits qui ont marqué le secteur de l'étude récemment. Enfin, la dernière étape se concentre sur l'action de l'homme et l'aménagement des espaces littoraux, notamment depuis la mission Racine dans les années 60 et le développement des stations balnéaires.

2. Contexte général

2.1. Cadre physique (géologie, géographie, hydrographie)

Pour compléter l'étude bibliographique de 2020 sur l'ouest de l'Hérault, ce rapport se concentre sur la partie centrale et orientale du littoral départemental. Le secteur d'étude s'étend sur un linéaire côtier de près de 58 km (Figure 1), du port de Marseillan à l'ouest jusqu'à l'embouchure de l'étang du Ponant à l'est, et concerne sept communes littorales (Marseillan, Sète, Frontignan, Villeneuve-Lès-Maguelone, Palavas les Flots, Mauguio-Carnon et La Grande-Motte). Les agglomérations correspondantes sont :

- Sète Agglopôle Méditerranée (SAM) : communes de Marseillan, Sète et Frontignan,
- Montpellier Méditerranée Métropole (3M) : commune de Villeneuve-lès-Maguelone,
- Pays de l'Or Agglomération (POA) : communes de Palavas, Mauguio-Carnon, La Grande-Motte.



Figure 1 : site d'étude limité à ses extrémités par des traits rouges

Parmi les cours d'eau présents dans le secteur, seul le Lez se jette directement dans la mer Méditerranée. Son embouchure se situe au niveau du port de plaisance de Palavas-les-Flots. Il prend sa source sur la commune de Saint-Clément-de-Rivière et s'écoule sur 28 km, pour un bassin versant de 194 km². Même si son débit annuel moyen oscille aux alentours de 3 m³/s selon les stations, son débit centennal est estimé à 900 m³/s au niveau de l'A9 à Montpellier.

Nom du fleuve	Données hydro-physiographiques			Hydrologie aux stations			
	Longueur (km)	Surface totale du bassin versant (km ²)	Principaux affluents	Nom de la station hydrométrique la plus aval (disposant de données)	Surface du bassin versant depuis la station (km ²)	Années mesurées à la station	Débit annuel moyen (m ³ /s)
Lez	29,6	194	Lironde, Verdanson, Lirou, Mosson	Lattes (3 ^{ème} écluse)	/	Depuis 2008	3.62

Tableau 1 : données hydrologiques du principal cours d'eau de la zone d'étude : le Lez (source banque hydro Portail eau France)

D'autres rivières comme le Vidourle ou la Vène se jettent dans l'un des nombreux étangs qui bordent le littoral héraultais. En effet, le secteur d'étude se caractérise par la présence d'une dizaine de lagunes, séparées de la mer Méditerranée par un lido parfois large de quelques dizaines de mètres seulement.

Étang répertorié dans le secteur	Superficie (ha)
L'étang de Thau	7500
L'étang de La Peyrade	45
L'étang d'Ingril	685
L'étang de Vic	1340
L'étang de Pierre Blanche	577
L'étang de l'Arnel	640
L'étang du Prevost	250
L'étang du Méjean	730
L'étang du Grec	190
L'étang de l'Or	3100

Tableau 2 : Inventaire des étangs présents sur le site d'étude, ainsi que leur superficie

L'étang du Ponant (qui reçoit les eaux du Vidourle) est une étendue d'eau artificielle de 280 ha située à l'est du département de l'Hérault mais principalement dans le département du Gard. Il n'est pas décrit dans le présent rapport.

L'étang de Thau se distingue des autres par sa superficie (7 500 hectares soit le plus grand de la région et la troisième plus grande étendue d'eau naturelle en France) mais aussi sa profondeur (8 m en moyenne). Le volume des eaux contenu dans l'étang est évalué à 340 millions de mètres cubes (Ferrer, 2010 ; d'après différentes sources). De nombreux petits cours d'eau viennent se jeter dans la lagune de Thau tels que la Pallas ou le Joncas, mais également la source hydrothermale de la Vène. L'étang est en constante communication avec la mer Méditerranée du fait de sa taille et des apports externes. Ce processus permet ainsi un échange régulier des eaux et une meilleure oxygénation, ce qui permet le développement

d'activités telles que la conchyliculture. Quelques graus actifs subsistent, 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.

La lagune de Thau aurait pour origine la formation d'un bassin suite à un effondrement des terres sous l'action de mouvements tectoniques il y a plus de 23 millions d'années (Ferrer et al, 2010). Par la suite, plusieurs étapes successives de comblement et de creusement sont intervenues lors des phases glaciaires, entre 80 000 et 18 000 ans BP¹, époque où la mer était plus basse ; celle-ci est alors venue inonder le bassin. Grâce à l'apport de sédiments du Rhône déplacés jusqu'ici par le biais de la dérive littorale le long des côtes, le lido se forme peu à peu pour donner à la lagune une forme proche de l'actuelle, lors du haut niveau marin de 6 500 BP. 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 5 500 ans. La thèse de Pierre Ferrer de 2010 apporte une chronologie précise à cette mise en place.

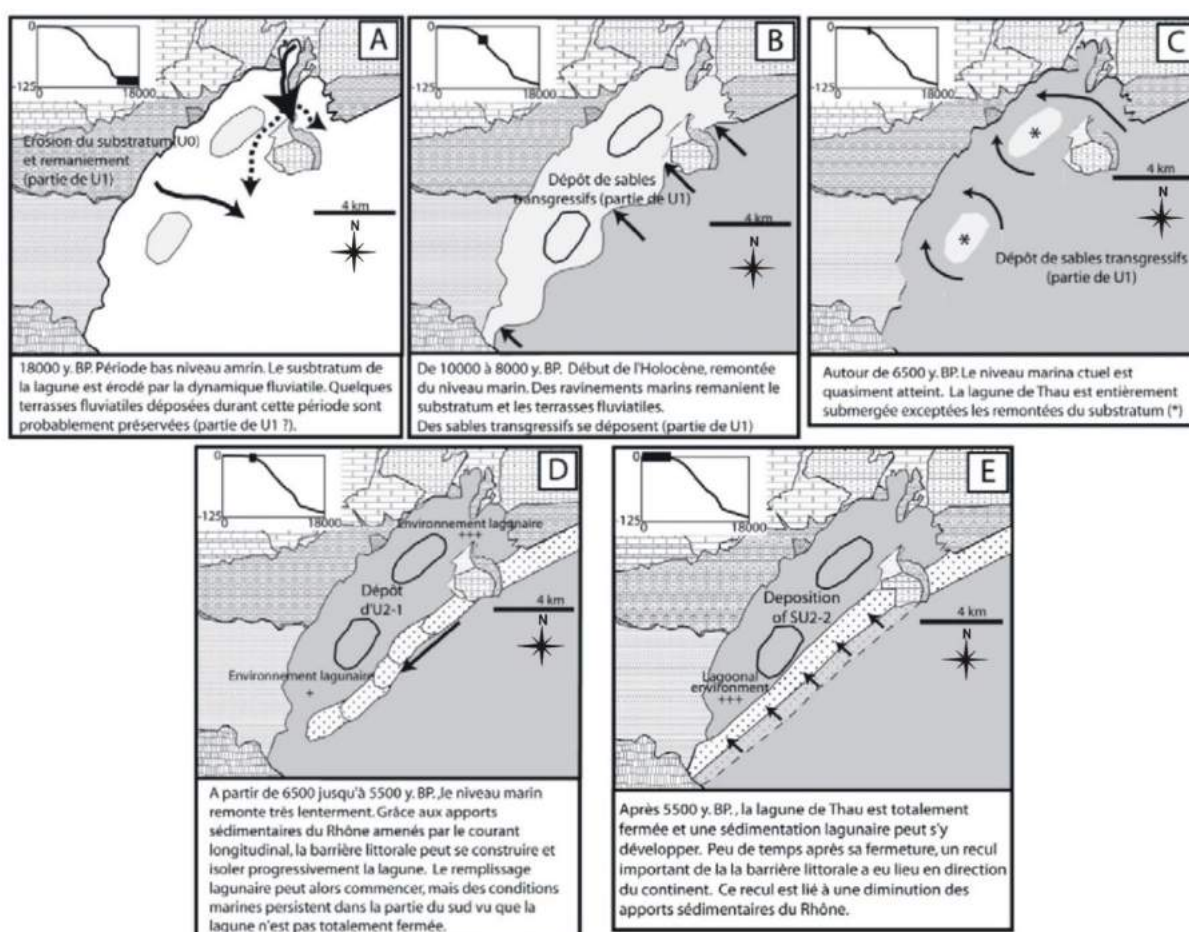


Figure 2 : reconstruction paléogéographique de la formation de la lagune de Thau [Ferrer et al., 2010].

¹ BP : Before Present, notation utilisée par les archéologues pour remplacer "av. J.-C." ; "Present" correspond à l'année 1950

La lagune de l'étang de l'Or s'étend sur 3 000 hectares bordés par 2 000 hectares de zone humides périphériques. L'étang mesure près de 11 km entre Mauguio-Carnon et la Grande-Motte. Sa profondeur moyenne avoisine 80 cm. Il est alimenté en eau de mer via le grau de Carnon, sur le secteur sud-ouest. Une partie de la ressource en eau douce provient de 5 petits cours, dont le plus important est le Salaison. Le bassin versant de l'étang de l'Or représente une superficie de 410 km² et englobe près de 125 000 habitants (source pôle relais lagunes méditerranéennes).

Cet étang n'existait pas il y a encore 20 000 ans BP, lors du dernier maximum glaciaire où le niveau marin était situé 100 m plus bas que l'actuel. Mais le début de l'Holocène (période actuelle de l'ère géologique qui a débuté il y a environ 11 700 ans) marque une période de transgression marine (10 000 ans BP) où la mer envahit peu à peu les territoires littoraux, même si ceux-ci sont encore largement ouverts. Les premiers dépôts les plus anciens retrouvés dans le canyon du Lez datent de près de 7 350 ans BP (Raynal 2008). Les sédiments vont être apportés en grandes quantités depuis le delta du Rhône, favorisés par le contexte post-glaciaire. La dérive littorale, orientée vers l'ouest, va ensuite favoriser le développement de ces « îles barrières » en formant des flèches sableuses orientées vers le sud-ouest. La période entre 6 000 et 5 000 ans BP correspond à un ralentissement de l'élévation du niveau marin qui déstabilise les flèches qui progradent vers les terres, favorisant la protection de la lagune et ainsi le développement de la vie humaine sur ce secteur. De nombreux sites préhistoriques découverts sur ce secteur témoignent d'une zone habitée dès le néolithique moyen (6600-4250 BP) où le niveau marin était situé environ 5 m plus bas que le niveau actuel (Cavero et Chabal 2010). La fermeture de la lagune intervient aux alentours de 1050 BP, selon des datations de Sabatier dans un article de 2009.

Le golfe d'Aigues Mortes (GAM) est un plateau continental qui présente une pente assez faible jusqu'à 80 m de profondeur (0.5 % en moyenne, Leredde et al 2007), présentant de nombreux affleurements rocheux (cap d'Agde, plateau rocheux des Aresquiers). Les sédiments présents dans ce secteur proviennent du delta du Rhône et sont datés de l'ère Quaternaire. Les dépôts maritimes sont principalement constitués de formations de l'Holocène qui viennent recouvrir le substrat rocheux, lui-même daté du Mésozoïque. Cette zone montre donc une grande diversité géologique et morphologique, marquée par de faibles apports sédimentaires et des processus d'érosion intenses. Le secteur de Maguelone était quant à lui entièrement émergé durant le dernier maximum glaciaire, il y a près de 20 000 ans. Cette zone est caractérisée par une topographie très irrégulière, marquée par des vallées incisées (notamment celle du Lez), formées au cours des différents cycles glaciaires et interglaciaires. Puis, durant l'Holocène, le niveau de la mer remonte et dépose des sédiments, qui contribuent à la couche de transgression post-glaciaire. C'est durant cette période que se met en place le système de lagunes, encore visible aujourd'hui. La position actuelle de la barrière littorale sableuse est estimée à 1 800 ans BP (Raynal 2008). Désormais, cette barrière migre progressivement vers les terres sous l'action de la houle et la surface des lagunes est réduite par les cônes de débordement sableux qui se forment lors des épisodes météorologiques exceptionnels.

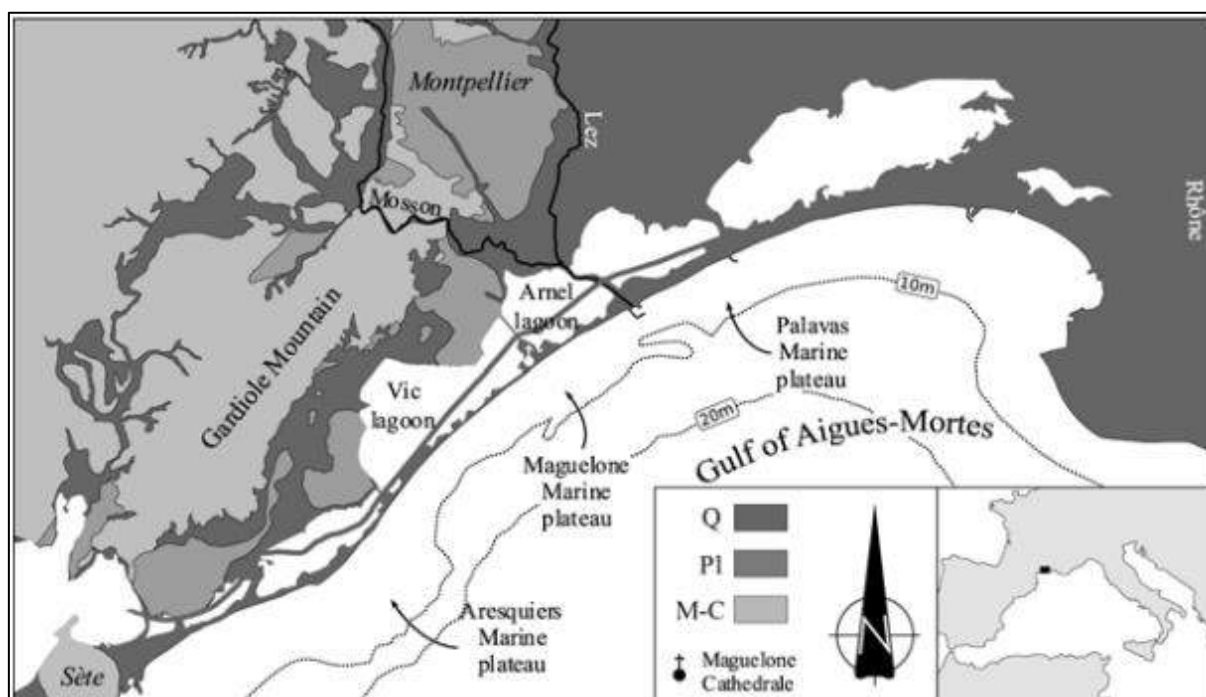


Figure 3 : Carte géologique simplifiée de l'évolution du littoral du Golfe d'Aigues Mortes, Q = Quaternaire, PI = Pliocène, M-C = Miocène-Crétacé (issu de Raynal 2008)

2.2. Dynamique locale (vents, houles, courants, dérive, sédiments)

Le littoral palavasien est, comme expliqué précédemment, pauvre en apports sédimentaires directs, en raison de divers facteurs (peu d'embouchures de gros fleuves, anthropisation de la côte, etc..). Sa forme et son aspect sont donc contrôlés par ce que l'on appelle la dynamique longshore (parallèle à la côte), c'est-à-dire les courants longitudinaux qui constituent la dérive littorale. Ce paramètre est confirmé par la présence de plusieurs flèches sableuses, caractéristiques du phénomène, qui indiquent le sens de la dérive (exemple de la flèche sableuse de l'Espiguette).

Cette dérive longshore est aussi contrainte par les différents ouvrages qui ont été construits et qui bloquent sa progression. La présence de digue de port est l'exemple le plus précis puisque la dérive se retrouve bloquée localement et entraîne une accumulation sédimentaire d'un côté du port, qui contraste avec un déficit de stock sableux de l'autre. Ce processus conduit alors à des irrégularités de la position du trait de côte qui est plus ou moins importante selon les secteurs.

De manière générale, la cellule du Golfe d'Aigues Mortes est en érosion généralisée, avec des pertes estimées à 4.8 millions de m³ (+/-0.8) sur la période entre 1984 et 2009 (Raynal 2012). Une partie importante de ces sédiments est perdue au large, dans des profondeurs supérieures à - 12 m. Ces sédiments ne sont alors plus mobilisables pour le prisme littoral sableux puisqu'ils se trouvent en dessous de la profondeur maximale d'action des vagues sur le fond (auss appelé profondeur de fermeture).

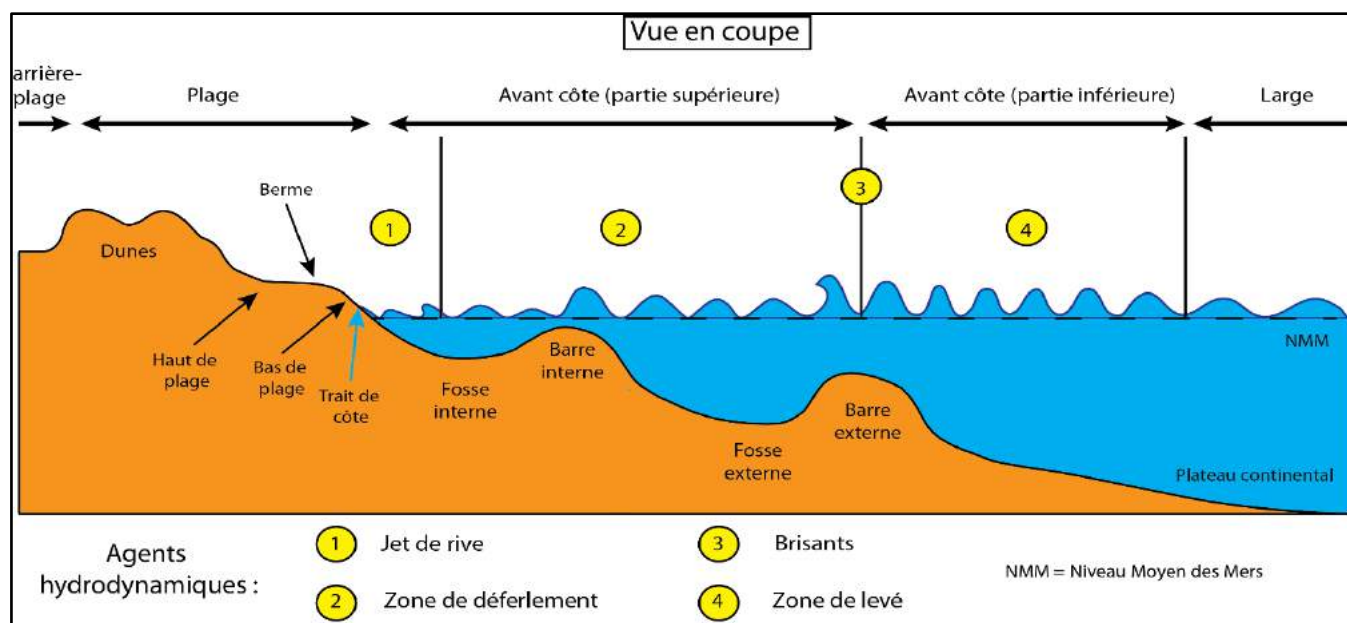


Figure 4 : reconstitution du littoral sableux visible sur le secteur d'étude héraultais (EID Méditerranée 2020)

Le système littoral de l'est de l'Hérault est le plus souvent caractérisé par des côtes sableuses et la présence d'un cordon dunaire, quand celui-ci n'est pas remplacé par des constructions. Le cordon est ici appelé lido puisqu'il constitue une fine bande de terre qui protège une succession de zones humides de la mer. Cette disposition est particulièrement présente sur notre secteur d'étude puisque la lagune de Thau, les étangs Palavasiens et de l'Or sont tous protégés par des lidos.

La plage émergée présente une berme plus ou moins haute selon la largeur de plage. Une plage de largeur suffisante aura une pente plutôt douce avec une berme peu élevée, alors qu'une faible largeur aura comme conséquence une berme plus élevée et une pente plus prononcée jusqu'au trait de côte.

La partie immergée est constituée d'une succession de barres sableuses, typique du système de barres d'avant côte visible sur les plages du Golfe du Lion. La barre interne est généralement située entre 50 et 100 m de distance avec le trait de côte, avec une variation de la profondeur entre -1 et -2 m pour son sommet. La barre externe, dont la profondeur varie entre 3 et 6 m, est située au-delà de 200 m de distance du rivage. Néanmoins, ce système de double barres sableuses n'est pas présent sur tout le linéaire côtier ni même tout le temps puisque des levés bathymétriques permettent de se rendre compte de l'évolution importante de la morphologie et de la position des bancs de sable sous-marins. Ainsi, à certaines périodes notamment suite à des épisodes de forte houle, il n'est pas rare de voir une seule barre sableuse sur la partie supérieure des plages.

Enfin, plusieurs plateaux rocheux sont présents entre -4 et -25 m de profondeur sur le secteur d'étude entre Frontignan et La Grande-Motte. Ces structures rocheuses diffèrent dans leur constitution et leur datation. Le plateau des Aresquiers, constitué de calcaire lacustre du Pliocène (période qui s'étale de -5.332 à -2.588 millions d'années), correspondrait au prolongement du massif de la Gardiole, visible dans l'arrière-pays de Frontignan et Vic la

Gardiole. Le plateau de Palavas est plutôt composé d'un mélange d'argiles, de calcaires et de grès, et sa formation remonte à la dernière transgression marine (-10 000 ans). Ces secteurs rocheux abritent une faune et une flore très développées, en témoignent des colonies d'herbiers de Posidonies et tous les coquillages et crustacés qui se retrouvent échoués sur la plage après des épisodes de forte houle.



Figure 5 : état de la plage des Aresquiers suite au coup de mer d'octobre 2022 (photo EID Méditerranée)

a) Variations du niveau d'eau

Le niveau marin n'est jamais le même au fil du temps et sa variation est rythmée, contrairement aux idées reçues, au gré des marées. Le marnage journalier moyen en Méditerranée se situe aux alentours de 40 cm pour les marées de vive eau. Cette valeur varie légèrement selon les secteurs du golfe du Lion. Toutes ces caractéristiques de Référence Altimétrique Maritime sont disponibles et téléchargeables sur le site du SHOM. Souvent le niveau de la mer est confondu avec le niveau zéro altimétrique mais ces deux données sont bien distinctes. Le niveau zéro altimétrique est mesuré à Marseille et détermine le nivellement français. Le niveau moyen de la mer est déterminé en fonction de la médiane entre les eaux de basse et de haute marée. Ce niveau moyen est mesuré actuellement à +0.15 m NGF (Nivellement Général de la France) dans le port de Sète.

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

Tableau 3 : niveaux NGF atteints sur la bouée houlographe de Sète (données Candhis)

Ce niveau peut également varier en fonction des conditions météorologiques : on parle alors de surcote/décote selon l'évolution de la hauteur d'eau. La pression atmosphérique est le principal agent qui entraîne une variation du niveau marin selon l'effet barométrique inverse. En effet, pour une pression atmosphérique supérieure de 1 hPa, on constate une baisse du niveau d'eau de 1 cm. Les fortes dépressions observées durant les périodes hivernales peuvent ainsi entraîner une élévation de la mer de près de 40 cm. Le vent est également un autre facteur intervenant sur la mer ; les vents marins viennent en effet pousser la masse d'eau vers les terres et entraînent alors des submersions ponctuelles, ou des remplissages des zones humides et autres étangs à proximité du littoral. Au contraire, les vents de terre, dominants sur ce secteur (Tramontane, Mistral) vont entraîner une décote au niveau du littoral.

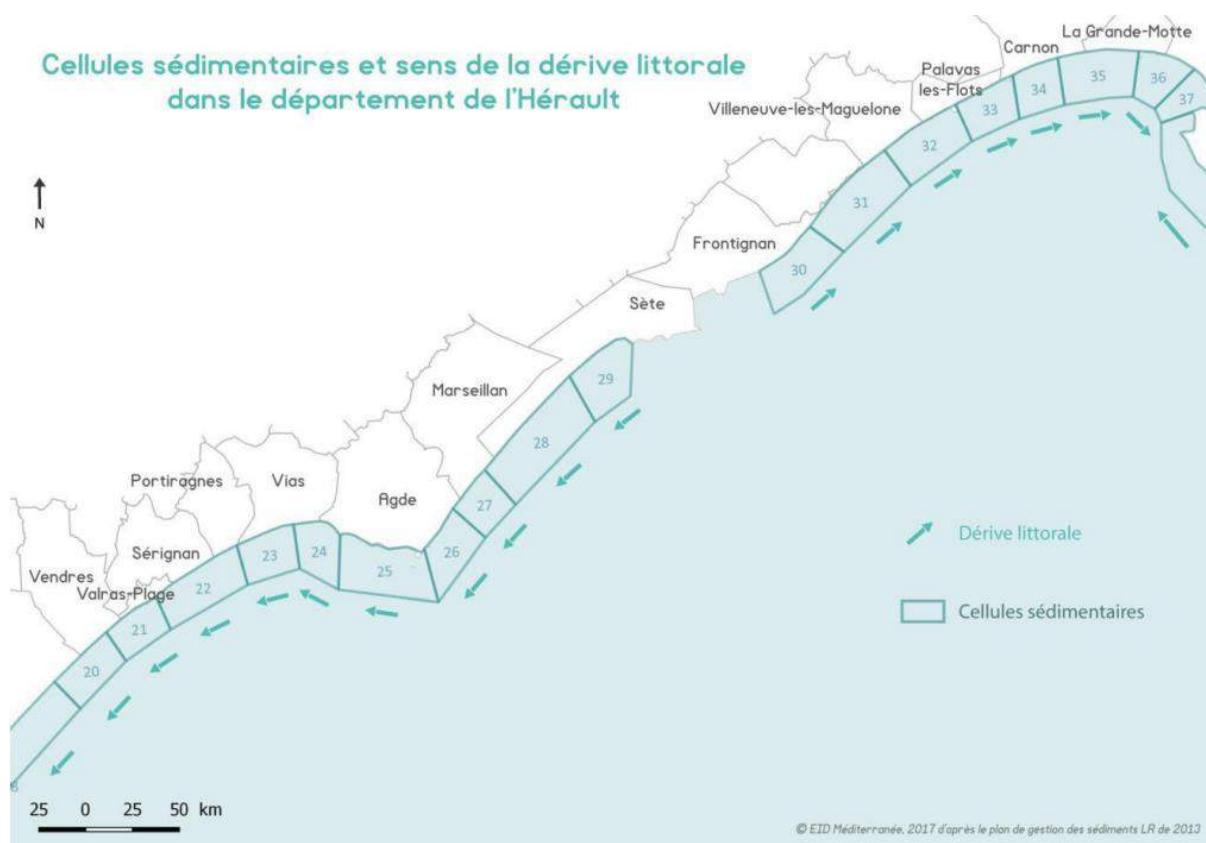
Évidemment, l'action combinée de la pression atmosphérique et du vent accentue ces phénomènes de surcote/décote, notamment lors des épisodes météorologiques exceptionnels. La surcote maximale enregistrée à Sète a d'ailleurs été observée lors de la tempête de décembre 1997, avec une valeur de + 0.84 m. Ces valeurs record ne sont pas toujours concordantes avec des records de niveau d'eau : le plus haut niveau moyen mesuré dans le port de Sète est de 1.02 m NGF, lors de la tempête de novembre 2014.

Enfin, il est nécessaire de garder en tête que ces pics de surcote ne sont pas toujours observés au moment exact du pic de tempête puisque les vagues formées par des tempêtes ne se déplacent pas à la même vitesse que la tempête elle-même. Ce décalage de plusieurs heures se ressent alors sur l'enregistrement des données.

b) Bilan sédimentaire du Golfe d'Aigues Mortes

La dérive littorale est le courant principal responsable du transport sédimentaire le long des plages ; ce phénomène façonne depuis toujours le littoral. Les unités sédimentaires visibles sur la Figure 6 sont déterminées à partir des limites naturelles (caps, cours d'eau) ou anthropiques (digue portuaire). La baie d'Aigues-Mortes forme dans sa totalité l'une de ces cellules, caractérisée par une dérive littorale principale orientée vers le nord-est, inversée par rapport aux cellules sédimentaires voisines. Elle est le résultat de la réfraction de la houle, induite par le promontoire du delta du Rhône et par des bancs rocheux au niveau de Frontignan (Ferrer, 2011). Par conséquent, le littoral du GAM est dépourvu d'apports directs des matériaux du Rhône, expliquant ainsi la faible largeur du lido.

D'après l'étude bathymétrique réalisée sur l'avant côte du Languedoc-Roussillon de Brunel et al. (2012), le bilan sédimentaire de 1985 à 2009 est en déficit sur l'ensemble du Golfe du Lion, et plus particulièrement au niveau de la baie du GAM, avec une perte estimée à 17.7 millions de m³. L'ensemble des unités de Marseillan à La Grande-Motte affiche un bilan sédimentaire en déficit, excepté à l'ouest du port de La Grande-Motte, secteur du Grand Travers. Le secteur entre le sud de Villeneuve-lès-Maguelone et Palavas est celui qui affiche la plus forte perte de stock sableux sur la période 1984-2009 (près de 1.6 millions de m³ perdus).



N° de cellule	Nom de cellule	Nature des limites
27	Port Ambonne - Marseillan Plage	Digue de port - digue de port
28	Marseillan Plage - Château de Villeroy	Digue de port – limite des données disponibles Sète
29	Château de Villeroy - Sète	Limite des données disponibles Sète - Sète
30	Port de Frontignan - Les Aresquiers	Digue de port - secteur aménagé
31	Les Aresquiers - Sud Maguelone	Secteur aménagé – roches sous-marines
32	Sud Maguelone - Palavas	Roches sous-marines - digue de port
33	Palavas - Carnon	Digue de port - digue de port
34	Carnon - Le Petit Travers	Digue de port - fin de secteur aménagé
35	Le Petit Travers - La Grande Motte	Fin de secteur aménagé - digue de port

Figure 6 : division du littoral héraultais en cellules sédimentaires, délimitées de manière naturelle ou anthropique, et définies dans le tableau au-dessus

Les sédiments présents dans la zone d'étude ont plusieurs origines. De manière générale, une bonne partie du stock sableux est apportée par les fleuves côtiers, même si ces derniers ne sont pas très présents sur le golfe d'Aigues-Mortes. Les cours d'eau de notre zone d'étude apportent des sédiments essentiellement lors des périodes de crues, que ce soit en provenance des bassins du Lez-Mosson ou du Vistre-Vidourle. Cependant, l'apport de ces derniers est diminué par les entrées lagunaires, à travers les graus présents sur le secteur. Un autre apport possible de sédiments provient du transport depuis les fonds plus importants vers la zone côtière via la houle marine lors des périodes tempétueuses. Enfin, ces apports étant plutôt limités ces dernières années, l'apport de matériau est aussi effectué de manière anthropique, via les différents rechargements de plages plus ou moins importants et dont les sources varient (dragages portuaires, de graus ou au large). Ces derniers permettent ainsi de stopper temporairement l'érosion mais ne sont cependant pas des solutions efficaces sur le long terme, si elles ne sont pas suivies de compléments.

Le déplacement de ces sédiments est contrôlé par la dérive littorale, mais également avec les nombreuses constructions d'ouvrages de génie civil qui viennent perturber ce courant et créer localement des zones d'accumulation ou d'érosion préférentielle de part et d'autre de ceux-ci. Les ouvrages les plus impactant sur le transit sédimentaire sont ceux qui sont implantés perpendiculairement au rivage (épis, digues portuaires). Ce procédé a principalement pour but de retenir le sable sur un secteur mais ce phénomène a malheureusement pour effet d'engendrer des manques sur les secteurs voisins. Le trait de côte généré est alors irrégulier de part et d'autre de l'ouvrage.

La dérive sédimentaire peut parfois être inversée, notamment lors des périodes d'agitation sévère durant des tempêtes, ou même sur une saison hivernale si celle-ci s'est révélée intense sur plusieurs mois, comme ce fut le cas lors de l'année 2013-2014. En effet, cette année-là, la dérive sédimentaire s'est inversée et a transité vers l'E-NE, sur la majorité du littoral du golfe d'Aigues Mortes, comme le confirment les données d'enregistrement de l'houlographe de Sète.

c) Climatologie des houles

La hauteur et la direction de la houle sont des paramètres dépendants des vents affectant le Golfe du Lion. Ces derniers étant très changeant, ils déterminent ainsi des épisodes très brefs (pas plus de 24 h parfois) de forte énergie, aussi appelés coups de mer. Ces événements marins, en plus de ne durer que quelques heures, sont aussi limités vis-à-vis de la hauteur significative (Hs) de la houle. Celle-ci est comprise entre 3 et 4 m en moyenne, soit la définition typique d'une houle assez importante pour générer des impacts locaux sans avoir de dégâts considérables sur le littoral. On estime que ce genre d'événements se produit en moyenne 3 à 4 fois par an sur le littoral du Golfe du Lion. Au-delà de 4 m de Hs moyenne, on parle de tempête avec une intensité plus ou moins forte selon la houle maximale observée et la durée de l'événement. Ces conditions sont générées en moyenne 1 fois tous les 2 ans ($H_s > 4.5$ m) (Gervais 2012).

Plusieurs bouées houlographes sont disposées sur le Golfe du Lion, dont celle de Sète qui se situe dans la zone d'étude. De manière générale, deux directions principales des houles, aussi bien par temps calme que pour des périodes agitées, sont observées dans le Golfe du Lion : sud-sud-est et est-sud-est. D'autres directions sont aussi générées mais à un degré moindre, et essentiellement pour des vagues en période calme. C'est notamment le cas pour les houles marines venant du sud qui représentent entre 20 et 40 % de la totalité des houles enregistrées et qui ne dépassent que rarement une Hs de 3 m. À titre de comparaison, les données de la bouée de l'Espiguette sont aussi étudiées pour cette analyse. Les 2 bouées de Sète (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et l'Espiguette (Figure 8) sont éloignées d'environ 40 km mais leurs données semblent similaires concernant les directions principales de houles. Les 2 figures ci-dessous montrent la direction et la fréquence des houles selon leur hauteur. Elles affichent une tendance majoritaire de houle calme (inférieure à 1 m) provenant du sud-ouest et sud-sud-est. Les houles les plus fortes, correspondantes à des événements météorologiques majeurs, proviennent essentiellement d'est-sud-est. Quelques houles importantes peuvent également venir du sud. À noter que le pourcentage au milieu correspond à l'état de mer concerné pour obtenir ces données (les houles inférieures à 0.25 m ne sont pas prises en compte).

Au-delà de la hauteur, la période de houle est aussi un critère important qu'il faut connaître pour mieux comprendre l'impact que peuvent avoir les vagues sur le littoral. Par définition, cette période est le temps nécessaire pour voir, en un même point, deux crêtes de vagues se succéder. En méditerranée, cette période significative (T_s) est souvent très courte, du fait du faible temps de vie d'une vague (taille du bassin méditerranéen réduite et formation sur quelques centaines de kilomètres au maximum) et de la surface possible d'action des vents. Néanmoins, certains secteurs sont plus propices au développement d'une période plus longue de houle, comme c'est le cas au niveau des îles de la Corse et la Sardaigne. De manière générale, et en période de houle calme, la période moyenne sur le secteur du Golfe d'Aigues Mortes se situe entre 3 et 5 secondes, mais elle peut atteindre 9-10 secondes lors des épisodes météorologiques exceptionnels.

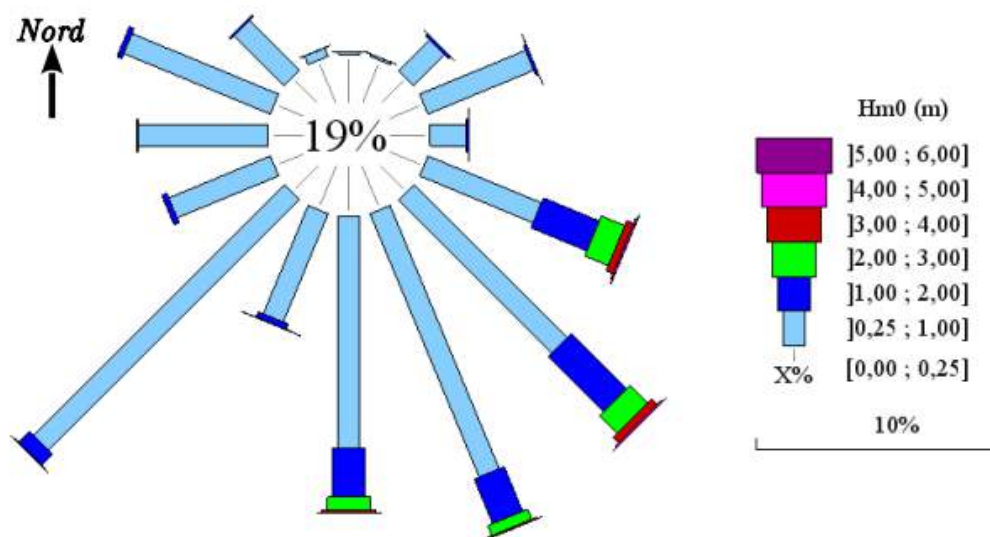


Figure 7 : rose des houles annuelles enregistrées à la bouée houlographique de Sète

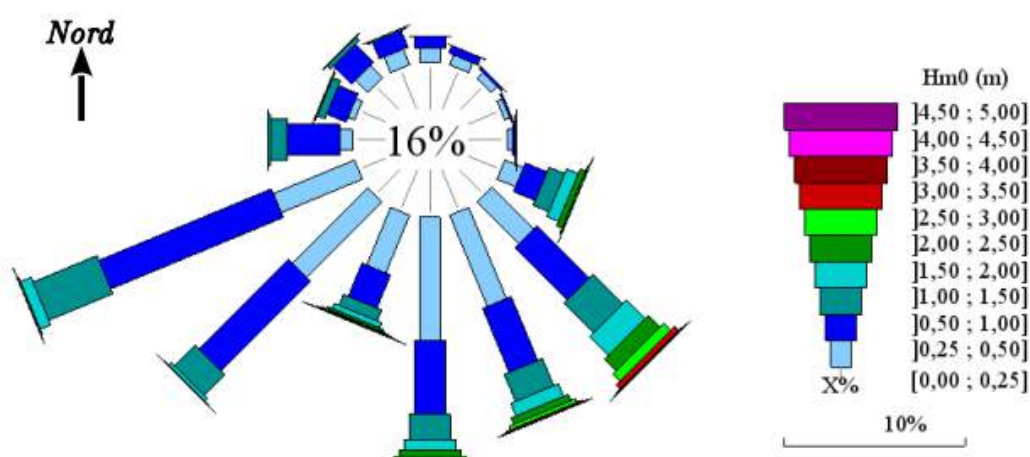


Figure 8 : Rose des houles annuelles enregistrées à la bouée houlographique de l'Espiguette

d) Climatologie des courants

La baie du golfe d'Aigues Mortes (GAM) est gouvernée de manière plus générale par la circulation des eaux du Golfe du Lion. Trois types de courants influencent l'hydrodynamisme du GAM :

- Le courant Liguro-Provençal s'écoule sur la partie nord du bassin méditerranéen et notamment le long de la pente continentale d'est en ouest. Sa vitesse est mesurée entre 25 et 50 cm/s (Ifremer, Core et al 2012) ;
- Les courants de surface sont générés par les vents de terre soufflant sur le bassin méditerranéen (le Mistral et la Tramontane). Leur direction est parallèle aux côtes même

si elle peut varier en fonction de la direction et de l'intensité des vents. Les vents de terre entraînent les eaux vers le large, pouvant aussi brusquement faire baisser la température de surface par remontée d'eaux froides le long des côtes (phénomène appelé "upwelling"). Au contraire, les vents marins poussent la masse d'eau vers les côtes et provoquent la plongée des eaux superficielles, phénomène connu sous le nom de downwelling ;

- Enfin, le déferlement de la houle entraîne la formation des courants à proximité du rivage. Ce sont ces courants qui sont responsables du transit sédimentaire, notamment la dérive littorale qui modifie le stock sableux selon la géographie de la côte et les obstacles rencontrés (ouvrages portuaires notamment). Leur vitesse peut atteindre 1 m/s, ce qui en font les courants les plus énergétiques affectant le littoral héraultais. Il est important de ne pas oublier les courants de retour, responsables du transport du sable vers le large et qui se mettent en place en complément de l'apport d'eau via la houle sur le bord.

e) Climatologie des vents

Même si la Méditerranée est caractéristique de périodes sans houle apparente, la dominance des vents qui soufflent dans le Golfe du Lion entraîne la formation régionale des vagues qui ont alors une origine plutôt locale et qui ne parcourent pas de grandes distances. Les vents dominants sur la zone d'étude sont principalement des vents de terre : la Tramontane est le vent dominant du secteur d'étude, avec des flux venant majoritairement du Nord-Ouest. Quelques fluctuations ouest-nord-ouest ou nord-nord-ouest sont parfois ressenties. Cette dominance est illustrée sur la Figure 9, et se généralise aux différentes roses des sables le long du littoral du Golfe du Lion. Un flux du Mistral est aussi recensé, avec une orientation N-NE même si la zone du Golfe d'Aigues Mortes est un peu plus éloignée de la vallée du Rhône et que l'intensité de ce vent est ainsi plus modérée.

Le régime des vents marins (de la famille des vents d'autan, Sirocco...) est un peu moins fréquent, mais il est responsable des houles les plus importantes observées dans la région. C'est sous ce régime que se produisent les coups de mer et les tempêtes, responsables des principaux problèmes d'érosion et de submersion sur la côte. Cependant, les vents venant de la mer permettent aussi de recharger naturellement les cordons dunaires grâce au transport éolien, et ainsi de remonter le stock sableux vers le haut de plage. Au contraire, les vents de terre vont participer au transfert du sable de la dune vers le bas de plage, autour du trait de côte. Selon l'orientation des plages, le transport éolien peut même entraîner une dérive du sable le long des plages, même si ce phénomène n'est pas spécialement observé sur les plages du Golfe d'Aigues Mortes.

Ces différentes familles de vents sont généralement de courte durée. Ils sont liés à la situation atmosphérique du bassin Méditerranéen, et à plus grande échelle de l'Europe. Les fluctuations entre anticyclones et dépressions entraînent différentes situations favorables aux vents évoqués ci-dessus. Ainsi, les tempêtes proviennent parfois de dépressions situées sur les îles Britanniques, et qui dérivent vers le sud avant de changer de direction vers l'est et de venir impacter le bassin méditerranéen.

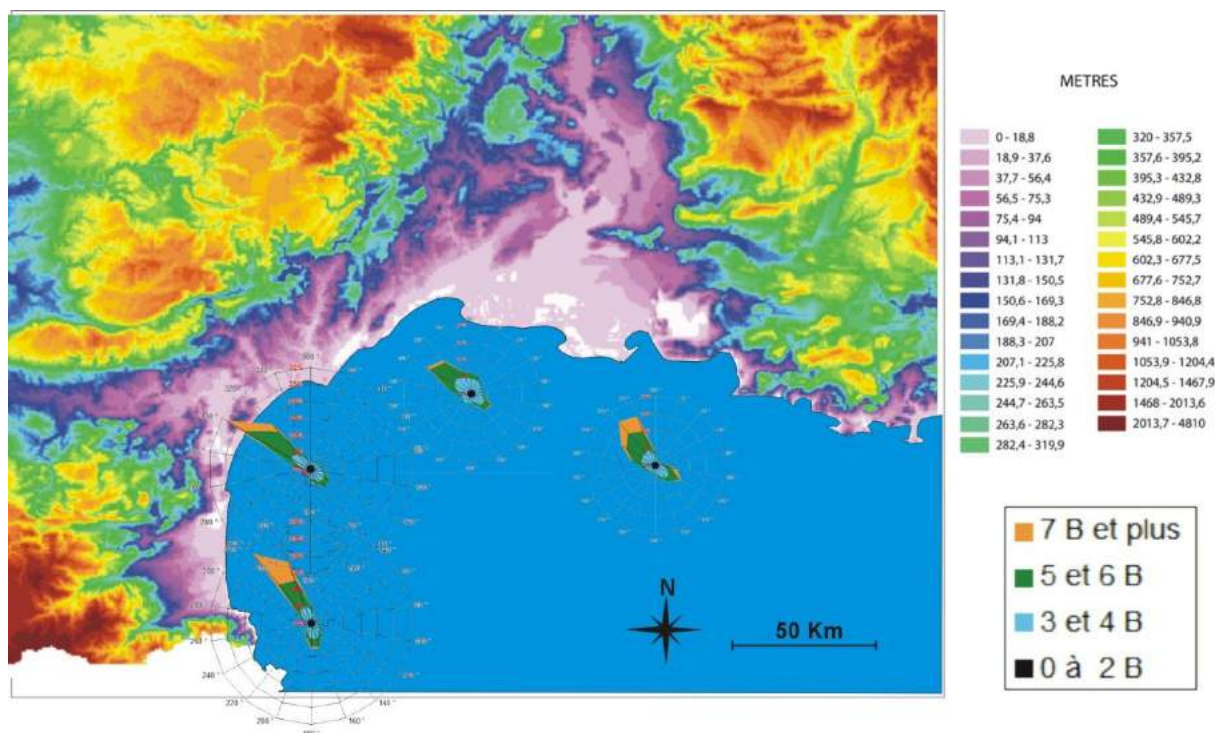


Figure 9 : Roses des vents en mer le long du littoral du Golfe du Lion et de la Camargue (données Météo France, modèle Arpege, B correspond au classement sur l'échelle de Beaufort). L'altimétrie est également représentée sur cette carte (cf. légende en mètres).

f) Bilan des tempêtes recensées sur le littoral du Golfe d'Aigues Mortes

Le tableau ci-dessous (Figure 14) recense les principaux événements météorologiques exceptionnels qui ont frappé les côtes du secteur d'étude. Les données sont disponibles depuis 1979, d'après le projet de modélisation Hindcast du laboratoire italien DICCA, ainsi que les mesures de houle de la bouée de Sète. Les principaux événements sont représentés dans ce tableau, qu'il s'agisse de tempêtes ou bien de coups de mer. Ces derniers ne sont pas tous recensés puisqu'ils sont rajoutés grâce au réseau tempête, dont les données sur ce type d'événements ne sont vraiment complètes qu'à partir de la fin des années 2000. Enfin, les cases grisées correspondent à l'absence de données pour le lieu où l'évènement.

Ainsi, 46 tempêtes sont dénombrées, soit environ un évènement annuel en moyenne dont la hauteur significative des vagues dépasse 4 m, depuis 1979. La présence des données sur la bouée de Leucate permet également de se rendre compte de l'impact variable de ces évènements en fonction de la position géographique et de la direction des vents.

De nombreuses tempêtes ont des hauteurs de houles significatives similaires, mais l'intensité d'une tempête diffère aussi en fonction de sa durée. La dernière forte tempête ayant affecté les plages du département de l'Hérault remonte au mois de mars 2018 et s'est étalée au-delà de 48 heures, avec des périodes de houle supérieures à 9 secondes. La tempête Gloria de 2020, plutôt localisée sur la partie sud du Golfe du Lion, a même dépassé 110 heures avec un $H_s > 2$ m. Cet aspect de prolongation de l'évènement dans le temps permet de différencier les évènements météorologiques exceptionnels des simples tempêtes.

Enfin, il est important de préciser également que la direction de la houle lors des tempêtes a un impact plus ou moins important en fonction de l'orientation de la plage. En effet, si une

plage est orientée nord-sud, comme celles de la côte sableuse catalane, elle sera plus impactée par des houles avec un angle d'incidence venant de l'est. Au contraire, les plages comme celles de Petit et du Grand Travers, orientée ouest-est, seront plus sensibles aux évènements orientés plein sud. L'impact sur les plages est donc variable selon l'angle d'incidence de la houle de tempête.

Sur tous les évènements représentés dans le tableau ci-dessous, certains ont particulièrement marqué les côtes héraultaises ces dernières années. En 1987 par exemple, la houle a atteint de nombreux secteurs situés en haut de plage, mais également certains restaurants de plage comme celui visible sur la figure ci-dessous et qui n'a pas résisté à la force des vagues. Un grand nombre d'ouvrages de protection, comme des ganivelles, ont été impactés voire détruits suite à cette tempête, dont la houle moyenne a dépassé 5 mètres sur les différentes plages du Golfe du Lion.



Figure 10 : Dégâts sur la plage de Villeroy sur la commune de Sète lors de la tempête de décembre 1987

Dans un degré encore plus important, la tempête de 1997 est celle qui a généré le plus d'énergie sur la durée entière de l'évènement, avec près de 50 millions de KJ/m dégagés, d'après le rapport tempête du département de l'Hérault publié par l'EID Méditerranée en 2018. Durant 74 heures, la houle moyenne n'est pas descendue sous la barre des 2 m, et les données instantanées ont même enregistré des vagues supérieures à 10 m sur la bouée de Sète. Des dégâts importants ont été observés sur le littoral, comme le long de la route du littoral au niveau du lido de Sète (

Figure 11), avec un niveau d'eau maximal qui a dépassé 1 m sur le secteur.



Figure 11 : Dégâts sur la route du lido de Sète (haut) et sur la plage des Aresquiers (bas) suite à la tempête de décembre 1997

Dans une moindre mesure, la tempête de février 2004 n'a pas épargné les plages du secteur d'étude. Elle a duré près de 45 heures avec une houle significative supérieure à 2 m, et son pic a été atteint le 21 février avec une houle moyenne de près de 5.40 m à la bouée au large de Sète. Plusieurs lignes de ganivelles n'ont pas résisté à cette énergie, comme le montre la Figure 12 sur la plage des Aresquiers.



Figure 12 : Dégâts visibles sur la plage des Aresquiers suite à la tempête de février 2004

La dernière grosse tempête à avoir affecté les plages de l'Hérault date de mars 2018, avec un événement qualifié de décennal. Les hauteurs significatives ont atteint près de 6 m sur les différentes bouées placées au large. L'autre point important de cet événement exceptionnel concerne le vent, qui a soufflé fortement sur le littoral et dont les rafales ont dépassé 100 km/h par endroits. La surcote marine a ainsi atteint 0.90 m (données enregistrées à Port-la-Nouvelle). De nombreux cordons dunaires ont été taillés en falaise, les ouvrages de haut de plage ont souffert, comme en témoignent les escaliers d'accès-plage et les ganivelles de la plage du Petit Travers à Carnon (Figure 13).



Figure 13 : Dégâts visibles sur la plage du Petit Travers suite à la tempête de mars 2018

Date du pic de tempête	Hs max mesurée à Sète	Hs max mesurée à Leucate	Hs max modèle à Sète	Hs max modèle 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
28/01/1996	4,4			
03/02/1996	4,0			
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	4,2		4,1	3,3
04/12/2003	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	4,8		
21/10/2009	4,5	3,3		
21/12/2009	3,5	2,9		
14/01/2010	4,8	4,2		
17/02/2010	3,9	3,2		
27/02/2010	3,6			
11/10/2010		4,8	4,2	
12/03/2011	5,1	4,9		
24/10/2011	3,7	4,0		
03/11/2011	2,8	3,6		
18/10/2012	3,5	3,8		
31/10/2012	2,7	4,1		
19/01/2013	3,9	2,8		
06/03/2013	4,7	6,0		
17/03/2013	3,5	2,5		
24/12/2013	4,4	2,9		
07/02/2014	3,3	2,3		
28/11/2014	4,9	4,4		
03/11/2015	4,3	4,2		
06/02/2016	3,7	3,1		

Date du pic de tempête	Hs max mesurée à Sète	Hs max mesurée à Leucate	Hs max modèle à Sète	Hs max modèle à Leucate
27/02/2016	4,3	3,4		
09/05/2016	3,4	3,4		
13/10/2016	5,4	5,3		
23/10/2016	3,2	2,5		
21/11/2016	3,5	2,9		
20/12/2016	2,8	3,0		
21/01/2017	2,2	3,2		
27/01/2017	3,9	3,9		
13/02/2017	4,1	5,0		
04/03/2017	4,4	4,0		
25/03/2017	3,8	4,3		
30/04/2017	3,1	2,2		
11/12/2017	3,4	1,4		
07/01/2018	3,7	4,3		
01/03/2018	5,8	6,1		
10/03/2018	3,0	2,3		
03/04/2018	3,2	2,5		
08/04/2018	4,0	2,8		
15/10/2018	4,8	4,0		
21/09/2019	3,1	3,2		
23/10/2019	4,5	4,0		
23/11/2019	3,7	3,0		
04/12/2019	2,4	3,2		
20/12/2019	4,3	3,1		
23/01/2020	3,45	4,85		
21/10/2020	3,3	3,3		
07/11/2020	3,0	2,4		
28/11/2020	2,2	3,7		
06/02/2021	3,9	2,8		
22/02/2021	4,4	4,7		
09/05/2021	3,2	2,4		
03/10/2021	3,0	3,1		
31/10/2021	3,3	2,8		
24/11/2021	3,2	3,2		
13/02/2022	3,1	2,1		
13/03/2022	5,3	4,9		
20/03/2022	3,6	3,2		
07/02/2023		5,3		

Figure 14 : Tableau récapitulatif des tempêtes depuis 1979 selon les données des bouées de Sète et Leucate. Les coups de mer sont aussi représentés depuis 2008, d'après les données du Réseau Tempête (BRGM). Les cellules grises correspondent à des absences de données.

3. Évolution du trait de côte sur les plages est/centre Hérault

3.1. Évolution historique et récente du trait de côte

a) Évolution récente : la méthode DSAS

L'évolution récente du trait de côte permet de mieux se rendre compte de la tendance qui se dégage sur ces dernières années. Pour arriver à ce résultat, l'utilisation du logiciel DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) est intéressante puisqu'elle permet d'analyser des variations fines et locales du trait de côte, grâce à l'outil de quantification des déplacements transversaux DSAS. Cette méthode présente l'avantage d'être simple et efficace pour l'automatisation des tâches, et permet de donner une tendance annuelle de variation de la position du trait de côte sur une période précise, à partir de plusieurs traits de côte passés.

La méthode de calcul statistique consiste à tracer en arrière du rivage une ligne de référence qui suit de manière simplifiée la côte, puis de créer des transects perpendiculaires régulièrement espacés, qui viennent recouper tous les traits de côte disponibles pour la manipulation. Pour chacun d'entre eux la distance entre la ligne de référence et le point correspondant à l'intersection entre le trait de côte et le transect est ensuite mesurée. Les valeurs obtenues sont comparées entre elles, donnant l'évolution d'une année à l'autre. Cette méthode permet de révéler, pour chaque section ainsi définie, les points de concentration de l'érosion ou de l'accrétion.

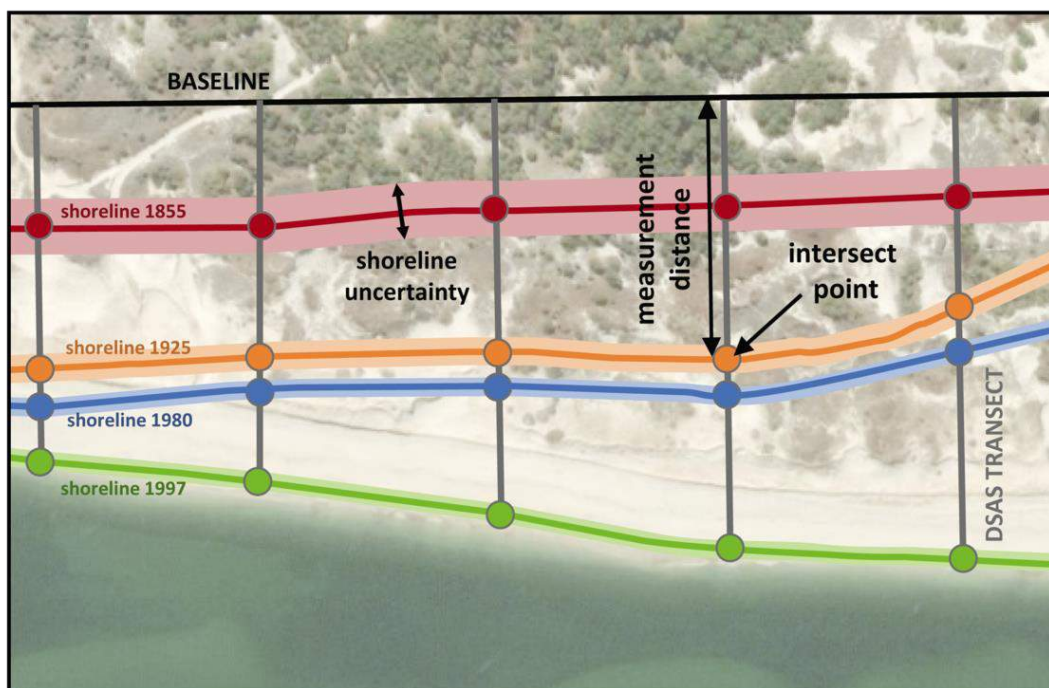


Figure 15 : Schéma explicatif de la méthode DSAS sur le site de l'USGS (United States Geological Survey)

Cette méthode est utilisée notamment dans les études sur la projection future du trait de côte. L'ensemble des formules utilisées prennent en compte l'évolution passée du trait de côte afin de mieux prévoir son positionnement dans les années à venir.

La carte ci-dessus (Figure 16) constitue un zoom du secteur d'étude sur les déplacements du trait de côte mesurés entre 2009 et 2020, issus d'une étude pour le département de l'Hérault. Chaque point présent sur la carte correspond à un transect selon la méthode DSAS expliquée ci-dessus. Les traits de côte suivants ont été utilisés pour moyenniser l'évolution sur cette période : 2009, 2012, 2015, 2017, 2018, 2019, 2020. Les valeurs visibles sont moyennées annuellement.

Globalement, même si les valeurs de recul ne sont pas aussi importantes que sur le secteur ouest Hérault, il y a tout de même plus de 60% des profils qui présentent des pertes de largeur de plage sur la période 2009-2020.

Les secteurs les plus impactés par le recul se situent sur le rivage du petit Travers, de la cathédrale de Maguelone, et au niveau du port de Marseillan, avec des pertes annuelles de plus de 4 m par endroit. Au contraire, les secteurs qui montrent de fortes avancées sur la mer concernent les plages du Grand Travers sur la commune de La Grande-Motte ou sur la plage au sud du port de Marseillan. D'autres transects affichent en revanche des valeurs très positives, comme au niveau de la plage de la Corniche à Sète, les plages au sud de Frontignan ou bien la plage de Palavas rive droite. Ces constats sont tout de même à nuancer puisque les transects sont localisés au niveau de tombolos, derrière des brise-lames ou encore sur des zones récemment rechargées durant la période d'étude.

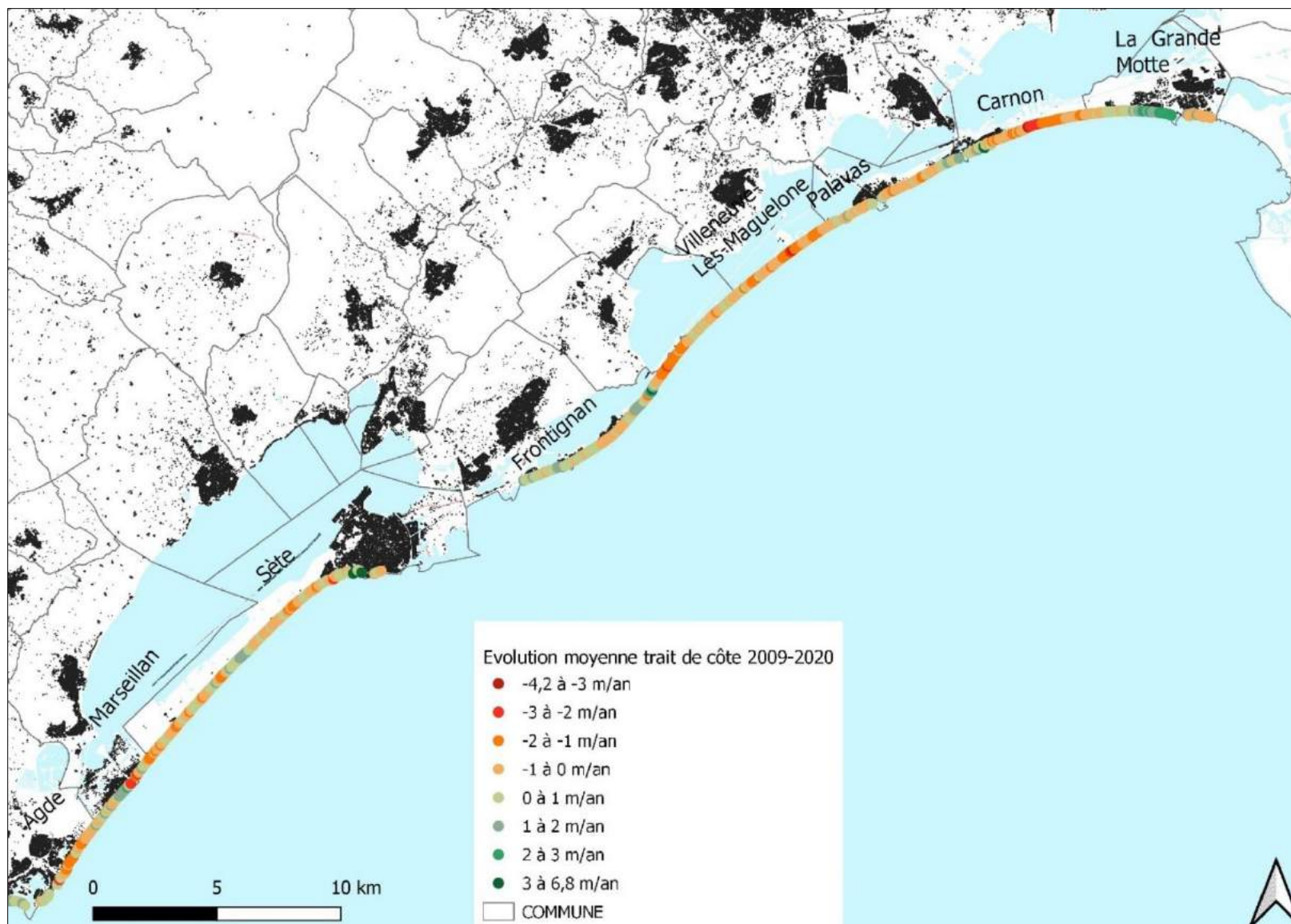


Figure 16 : évolution moyenne annuelle du trait de côte pour l'est et le centre du littoral héraultais entre 2009 et 2020

b) Évolution historique du littoral héraultais

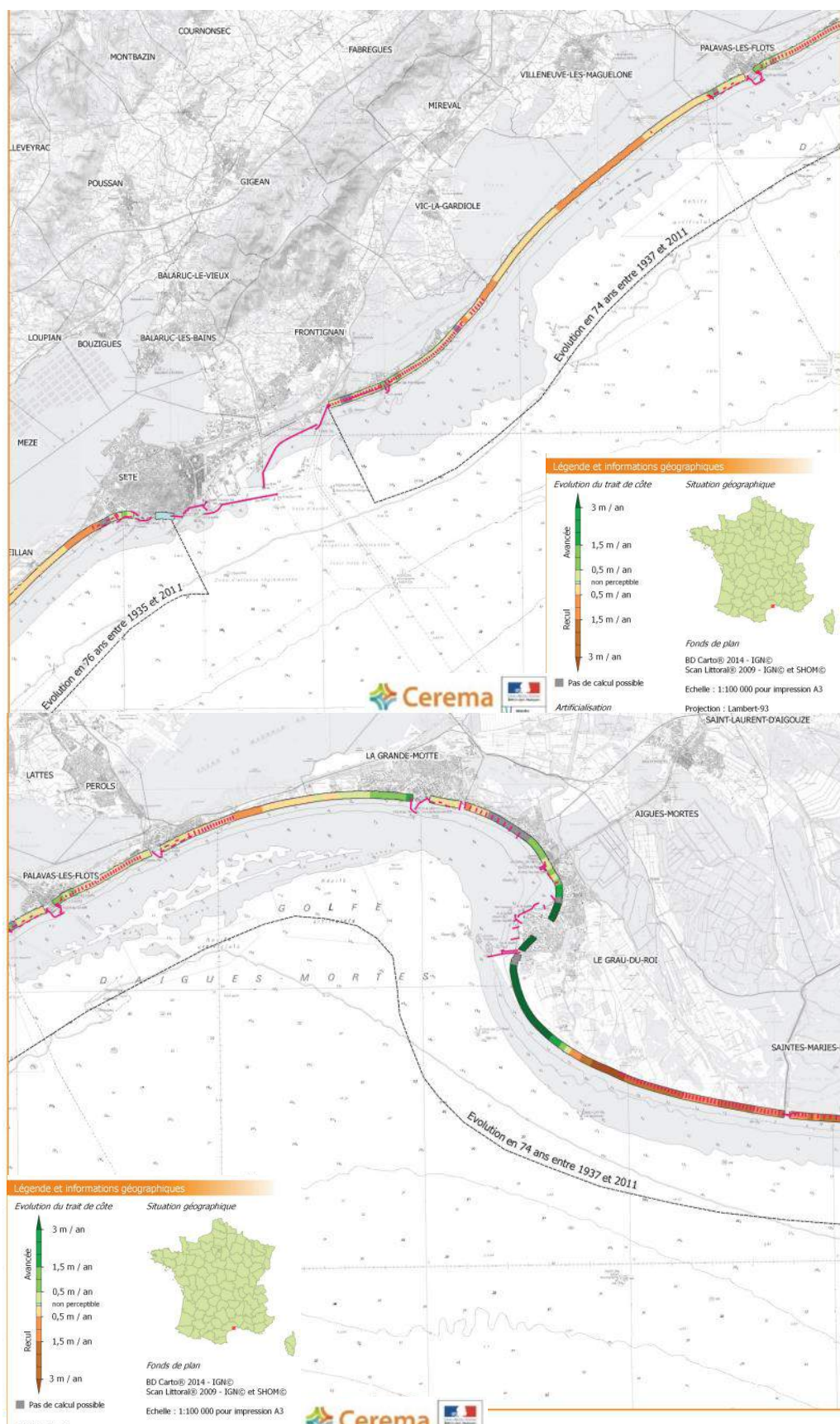


Figure 17 : représentation de l'érosion sur le secteur centre du littoral héraultais entre 1935 et 2011, selon l'indicateur national d'érosion côtière du CEREMA (2015)

Les 2 représentations de la figure 17 correspondent à l'évolution du littoral centre et est héraultais depuis 1935, soit les données parmi les plus anciennes et fiables disponibles. Ces données permettent de mettre en évidence des sites historiquement sujets à l'érosion, comme la plage du Petit Travers ou le littoral ouest de Villeneuve-lès-Maguelone. Cependant, ces valeurs représentent l'évolution sur une très longue durée, sans séparer les périodes. En effet, l'évolution était considérée comme naturelle avant les aménagements anthropiques débutés à partir du début des années 60, et ceux-ci ont alors modifié le transit sédimentaire et la position du trait de côte après leur mise en place.

Les images suivantes décrivent l'évolution du littoral, et précisément du trait de côte du secteur à partir des données terrain ou digitalisées, sur les années 1935 et 2020, ainsi que des images aériennes de l'IGN datées de 1974. Cette date a été choisie puisqu'une campagne entière de survol du département a été réalisée cette année-là. Ces images permettent de mieux observer notamment les changements anthropiques à proximité du rivage.

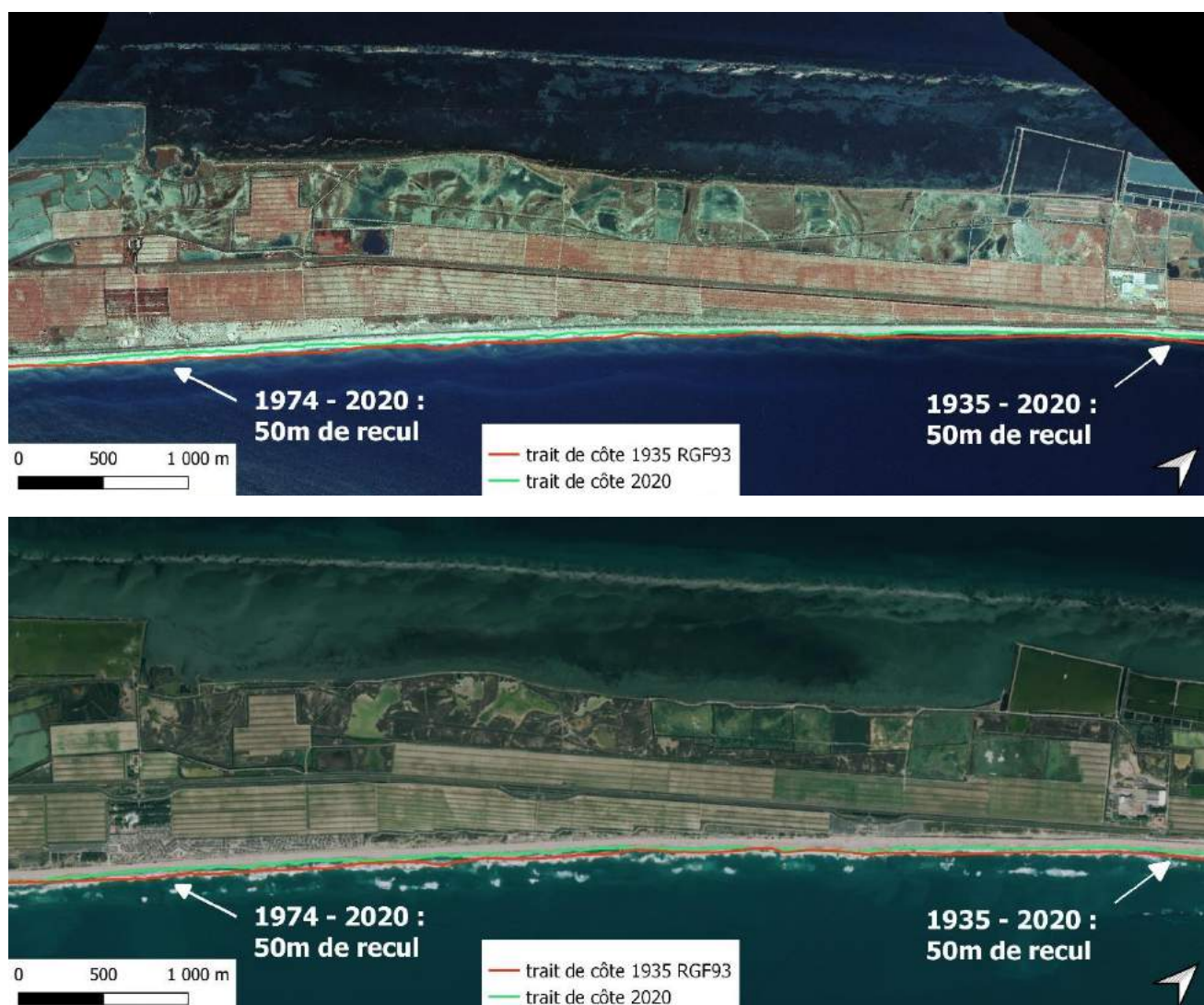


Figure 18 : évolution du trait de côte sur le Lido de Sète à Marseillan entre 1935 et 2020 (image du haut : IGN 1974, image du bas : Pléiades 2020).

Le lido de Sète a légèrement reculé entre 1935 et 1974, notamment sur le secteur nord-est près de l'usine Listel (figure 18). Les parties centrale et sud-ouest sont plutôt stables sur cette période. Cependant, le rétrécissement de la plage s'est généralisé si l'on compare les traits de côte de 1974 et 2020. La partie ouest a reculé à son maximum de près de 50 m. Sur l'ensemble de la période 1935-2020, on observe également un recul qui atteint 50 m sur la partie est de l'image. Aucune construction n'a été enregistrée sur cette zone mais l'on note tout de même la présence d'un géotube depuis 2007.

Sur la Figure 19, le trait de côte n'a cessé de reculer de 1935 à 2020. L'image de 1974 montre déjà un recul notamment à l'approche de la partie urbaine de la commune de Sète, à l'ouest du futur port des Quilles. La construction de ce dernier s'est achevée par la suite et a été accompagnée de divers ouvrages à proximité (épi et brise-lames) à la fin des années 80. Le sable s'est alors accumulé derrière les brise-lames et le trait de côte a ainsi avancé de près de 50 m sur la plage de la Corniche, mais de manière très localisée au niveau de ces ouvrages.



Figure 19 : évolution du trait de côte sur le secteur urbain de la commune de Sète entre 1935 et 2020 (image du haut : IGN 1974, image du bas : Pléiades 2020).

Le secteur ouest de Frontignan a subi de gros changements depuis 1974, comme le montre la Figure 20. Le port industriel est sorti de terre, au détriment d'une partie de la plage, et a entraîné une importante modification du paysage à ce niveau. La plage urbaine située à l'est de la zone a vu son trait de côte modifié également par la construction d'un port de plaisance.

La construction de ces différentes digues a favorisé l'accumulation sableuse, bien visible de part et d'autre du petit port avec des cumuls maximum supérieurs à 85 m depuis 1935. Le reste de la plage présentait déjà les épis visibles sur l'image de 1974. Le trait de côte avait cependant reculé de 1935 à 1974, mais la tendance s'est depuis inversée puisqu'une légère avancée est visible entre 1935 et 2020.



Figure 20 : Évolution du trait de côte sur le secteur portuaire et urbain de la commune de Frontignan entre 1935 et 2020 (image du haut : IGN 1974, image du bas : Pléiades 2020).

Le lido de Frontignan-est, qui se prolonge sur la commune de Villeneuve-lès-Maguelone, ne présente pas d'urbanisation aussi importante que sur les secteurs précédents. On observe néanmoins une évolution de son trait de côte. La partie ouest urbanisée du secteur confirme les observations du secteur précédent, avec une avancée visible sur la mer en 2020 au niveau des épis (Figure 21). Ces derniers n'étaient d'ailleurs pas présents en 1974 puisque leur construction s'est déroulée de 1976 à 1985. La tendance d'évolution s'inverse progressivement à l'est de ces derniers épis, et les suivants ont, dans le meilleur des cas, limité le recul du trait de côte, malgré l'utilisation de méthodes innovantes (réduction de longueur

des derniers épis les plus à l'est en 2015). Les images montrent les limites de ces ouvrages, qui décalent l'encoche d'érosion avec un recul plus important de 60 m enregistré face à la route des Aresquiers. Cette érosion a d'ailleurs entraîné la restauration du cordon dunaire associé à un rechargement important (200 000 m³) afin de préserver la route littorale en arrière.



Figure 21 : évolution du trait de côte sur le secteur nord-est de la commune de Frontignan entre 1935 et 2020 (image du haut : IGN 1974, image du bas : Pléiades 2020).

Le lido de la cathédrale de Villeneuve-lès-Maguelone (Figure 22) confirme les observations visibles sur le secteur précédent, depuis le parking des Aresquiers. Le recul maximum est atteint à environ 2 km à l'ouest de la cathédrale, avec près de 85 m perdus depuis 1935. Cette tendance se prolonge, de manière un peu moins nette, devant la cathédrale puis face au camping situé à l'extrémité ouest de Palavas. À noter que seule l'extrémité ouest du secteur présente un recul linéaire entre les 3 dates (1935, 1974, 2020). Le reste du secteur montre plutôt un équilibre de la position du trait de côte de 1935 à 1974, puis une perte de surface de plage plus visible jusqu'en 2020.



Figure 22 : évolution du trait de côte sur le secteur urbain de la cathédrale de Villeneuve lès Maguelone entre 1935 et 2020 (image du haut : IGN 1974, image du bas : Pléiades 2020).

Le littoral de la commune de Palavas (Figure 23), déjà urbanisé en 1974, a considérablement évolué depuis cette date. Plusieurs ouvrages ont été édifiés en partie ouest du littoral communal entre 1974 et aujourd'hui. Le principal changement concerne évidemment la construction du port et de ses digues. Celles-ci ont entraîné une accumulation importante de sédiments à l'est de l'ouvrage, avec près de 100 m de plage gagnés sur la mer en 46 ans. La partie est du port montre un littoral plutôt stable de 1935 à 1974, mais aussi jusqu'en 2020 malgré quelques variations locales de position du trait de côte, dues à la mise en place de brise-lames sur cette zone. La partie ouest du port présentait déjà les épis en 1974 et son trait de côte est resté stable sur les 3 dates étudiées.



Figure 23 : évolution du trait de côte sur le secteur urbain de la commune de Palavas les Flots entre 1935 et 2020 (image du haut : IGN 1974, image du bas : Pléiades 2020).

À la différence de Palavas, le port de Carnon était déjà construit sur l'image IGN de 1974. En revanche, plusieurs épis ont été rajoutés vers la partie est urbanisée, jusqu'à la limite avec la plage du Petit Travers. Les traits de côte 1935 et 1974 sont similaires (Figure 24), excepté à l'est du dernier épi où près de 45 m de plage ont été perdus. C'est d'ailleurs pour endiguer cette encoche d'érosion que les épis ont été ajoutés vers l'est. Cependant, et comme évoqué précédemment, l'ajout de ces derniers ouvrages ne fait que déplacer cette encoche, qui se trouve désormais face au giratoire du Petit Travers, avec près de 65 m de recul enregistrés entre 1935 et aujourd'hui. Cette perte a ainsi entraîné la décision de rajouter trois épis dégressifs, dont la réalisation est en cours à l'heure de la rédaction de ce rapport.

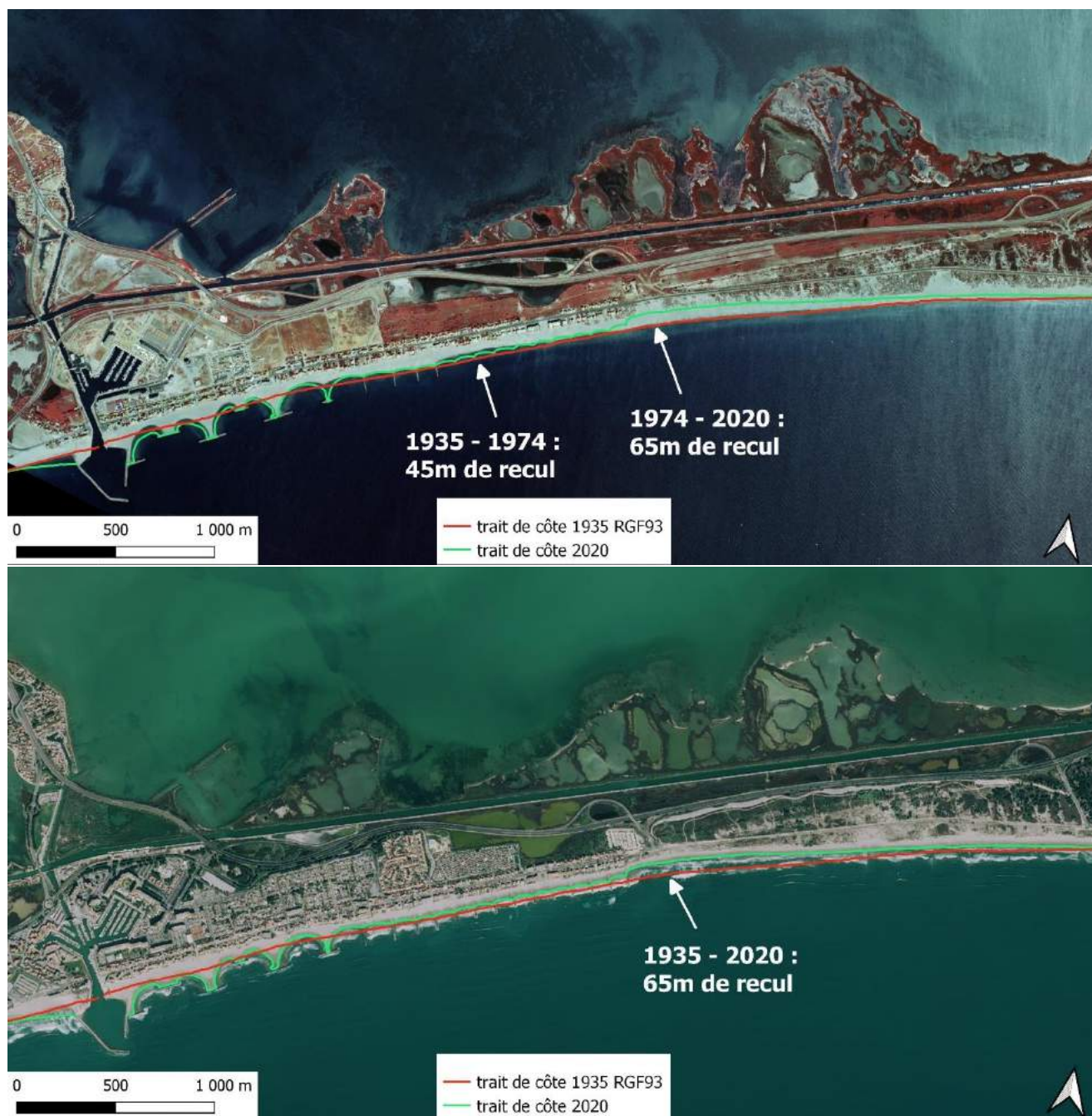


Figure 24 : évolution du trait de côte sur le secteur urbain de la commune de Carnon et la plage du Petit Travers entre 1935 et 2020 (image du haut : IGN 1974, image du bas : Pléiades 2020).

Figure 25). La partie ouest a bénéficié des digues, le sable a pu s'accumuler sur la plage du Grand Travers, où près de 135 m ont été gagnés par rapport à 1935. La partie est du port était relativement stable entre 1935 et 1974 mais l'ajout d'ouvrages sur le secteur (3 brise-lames) a entraîné des irrégularités sur le linéaire du trait de côte, même si celui-ci n'a pas reculé pour autant. À noter que l'embouchure au niveau du Grau du Ponant, marquant la limite entre les départements de l'Hérault et du Gard, a été endiguée pour limiter l'ensablement sur sa partie est. On retrouve désormais cette accumulation de sédiments plus à l'intérieur du grau comme on peut le voir sur l'image Pléiades 2020.

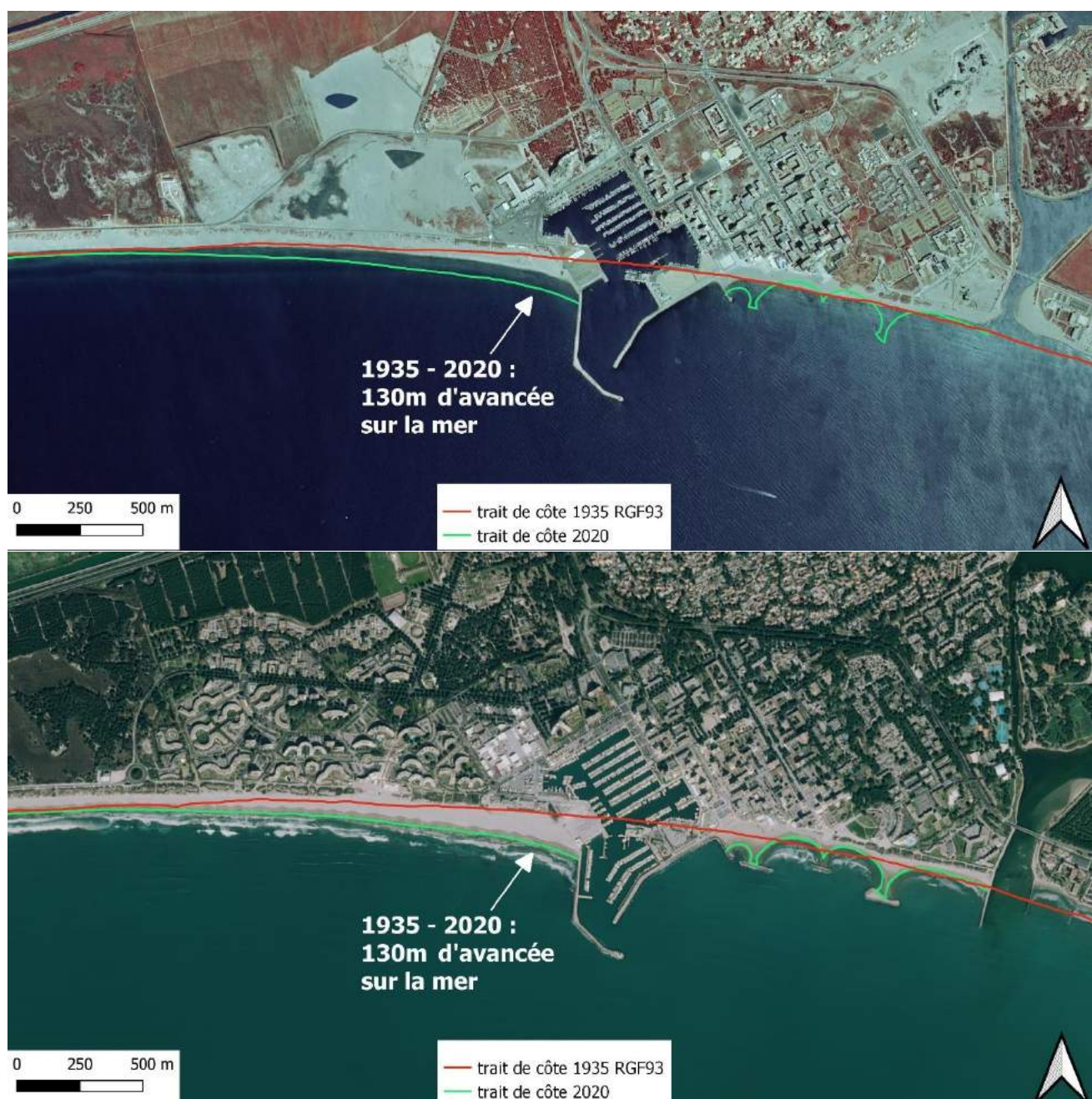


Figure 25 : évolution du trait de côte sur la plage du Grand Travers et le secteur urbain de la commune de la Grande-Motte entre 1935 et 2020 (image du haut : IGN 1974, image du bas : Pléiades 2020)

3.2. Évolution des surfaces de plage de la zone d'étude

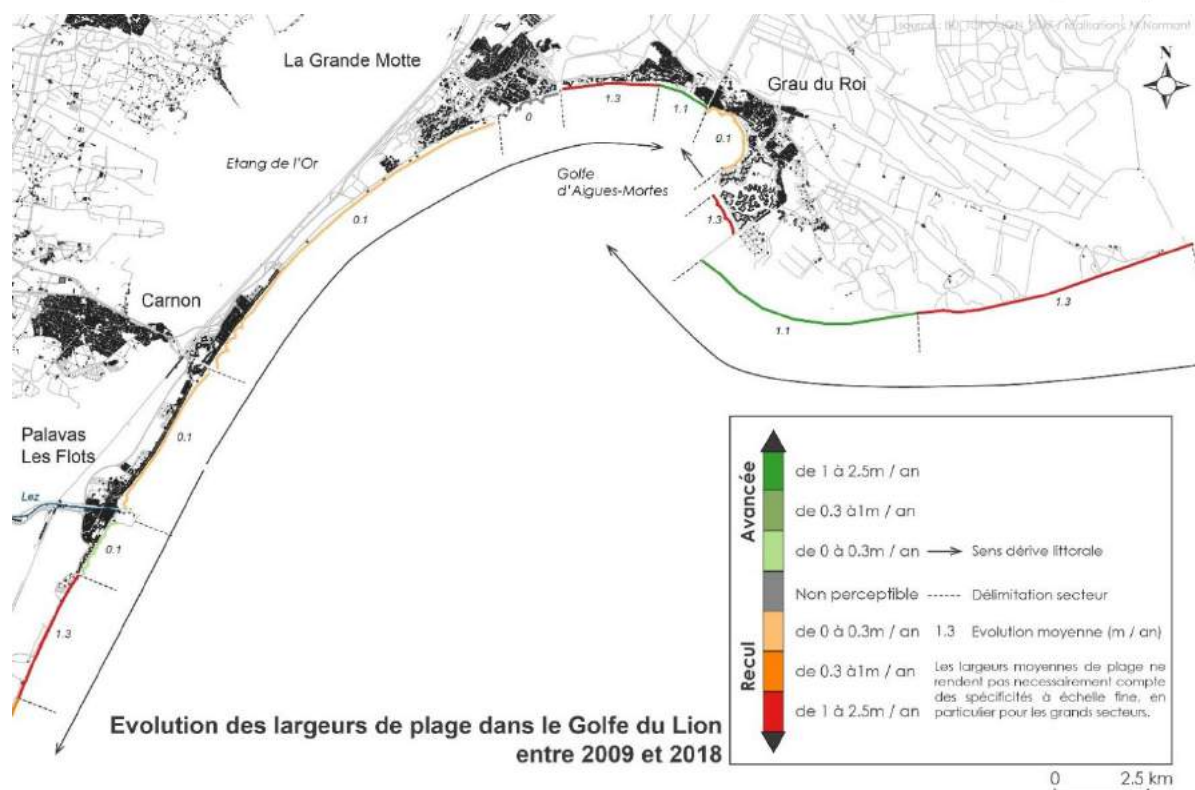
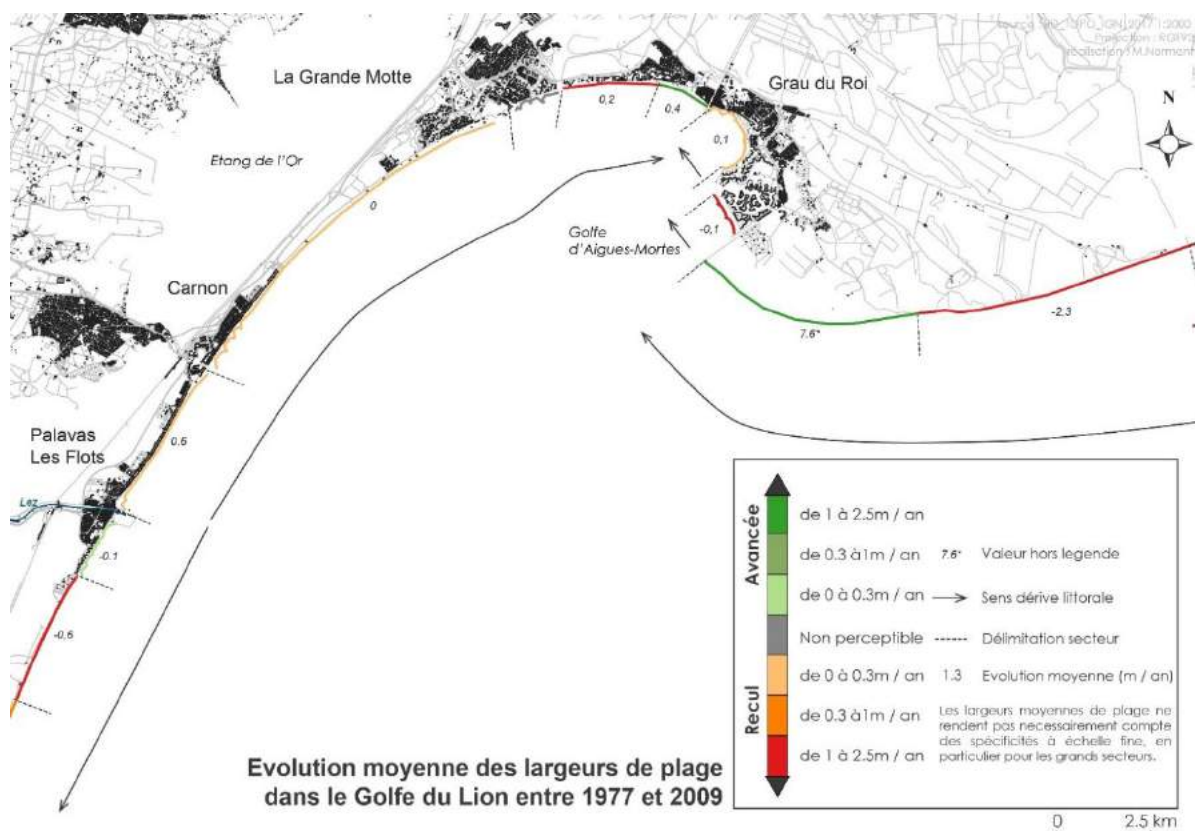
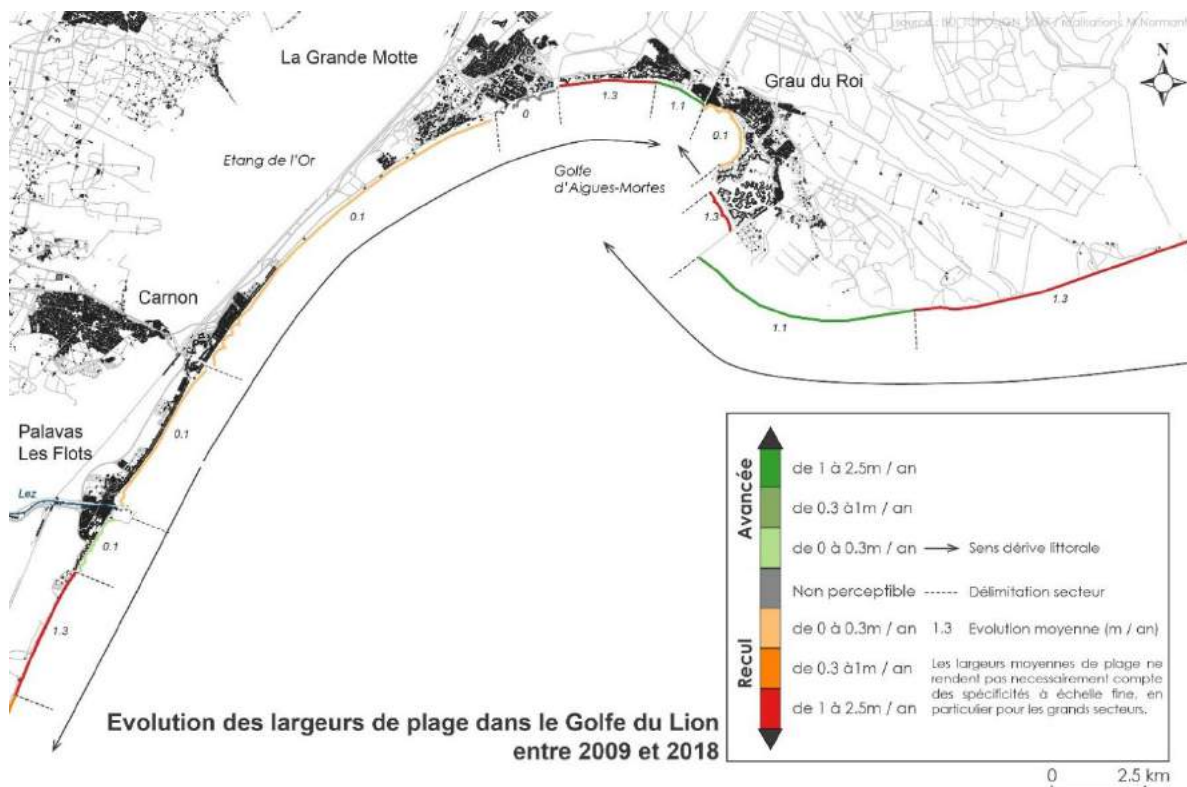
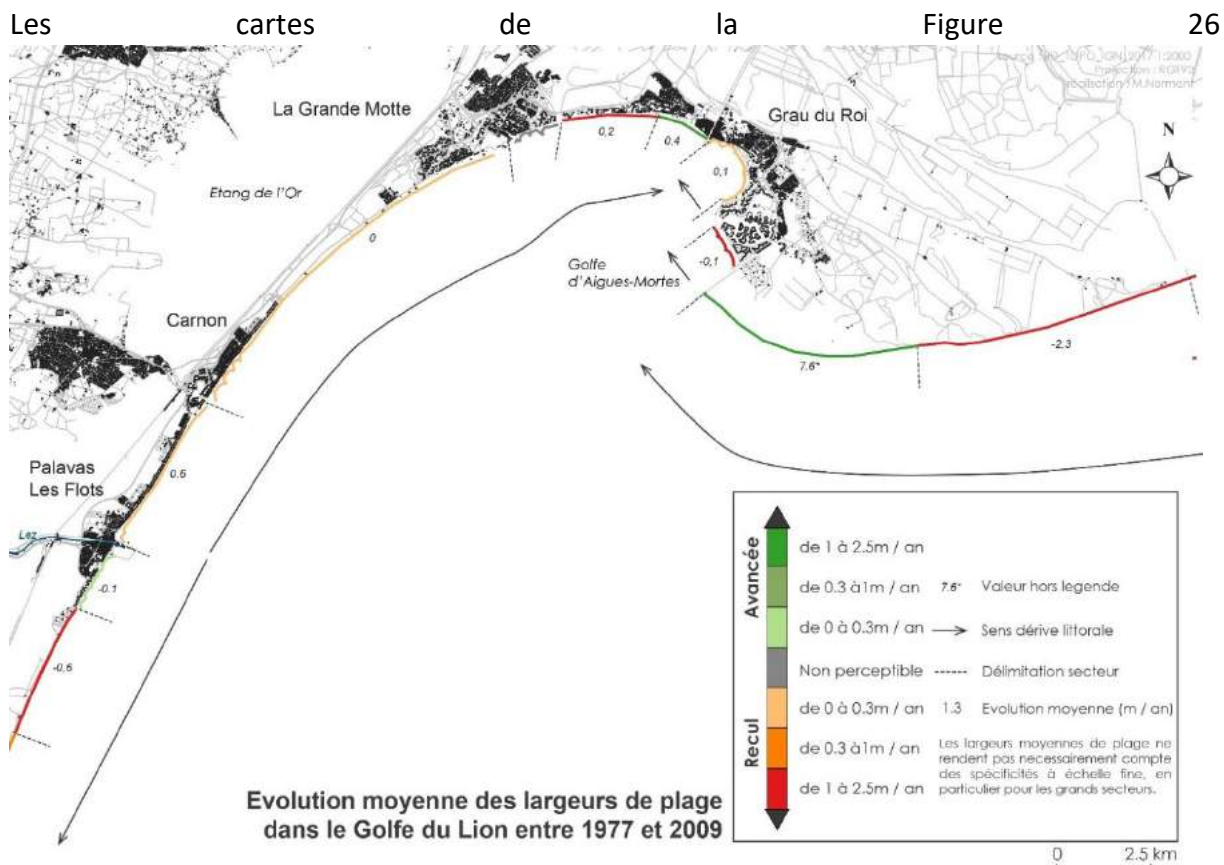


Figure 26 : évolution des largeurs de plage moyennes entre 1977 et 2018 par compartiments sur le secteur est du littoral de l'Hérault



représentent l'évolution de la largeur des plages sur le secteur est héraultais, entre Villeneuve-

lès-Maguelone et La Grande-Motte, de 1977 à 2018. Cette période permet de prendre en compte la mise en place des différents ouvrages construits sur la zone depuis les années 60. Les valeurs affichées sont moyennées en m/an pour chaque secteur.

De 1977 à 2009, ce secteur montre une réelle stabilité de la surface des plages, comme sur l'ensemble du golfe d'Aigues Mortes. Cette stabilité est évidemment à mettre en grande partie au crédit du rechargement du golfe (2007-2008) de plus de 1 million de m³ de sédiments, couplé à la mise en place d'ouvrages de défense sur les communes de Palavas, Carnon et La Grande-Motte depuis 1977. Le secteur plus naturel du lido des Aresquiers montre un recul de 60 cm annuel sur la période.

En comparaison, la période 2009-2018 montre une diminution de cet effet du rechargement sur les plages, qui reculent de manière légère cependant (-0.1 m/an). L'érosion s'accélère tout de même face à la cathédrale de Maguelone (à l'ouest de Palavas) avec près de 1.3 m/an.

Le secteur situé au sud-ouest concerne les plages de Frontignan jusqu'au lido de Sète. La période 1977-2009 montre des valeurs plutôt positives sur les différentes zones du secteur (Figure 27). Seule la partie du lido de Sète à Marseillan est en érosion (-0.5 m/an). Les plages urbaines de Frontignan sont en accrétion (+0.9 m/an), en grande partie liée à la construction de tous les ouvrages (épis) qui bordent le littoral désormais. Les plages nord de Marseillan présentent un léger recul qui s'inverse en se déplaçant vers le sud de la commune.

La période 2009-2018 (Figure 28) montre au contraire plusieurs inversions des données présentées ci-dessus. Le Lido de Sète, dont la route littorale a été relocalisée plus en arrière dans les terres, affiche désormais une accrétion de +0.5 m/an, qui provient notamment des différents travaux et rechargements enregistrés sur le secteur. Les plages du sud de Marseillan, en accrétion jusqu'à présent sont désormais en érosion bien marquée (-1.1 m/an). Enfin, l'accrétion des plages de Frontignan a nettement ralenti à partir de 2009. Seule la plage de la Corniche semble continuer à bénéficier des ouvrages imposants construits à proximité pour accroître sa largeur de plage chaque année.

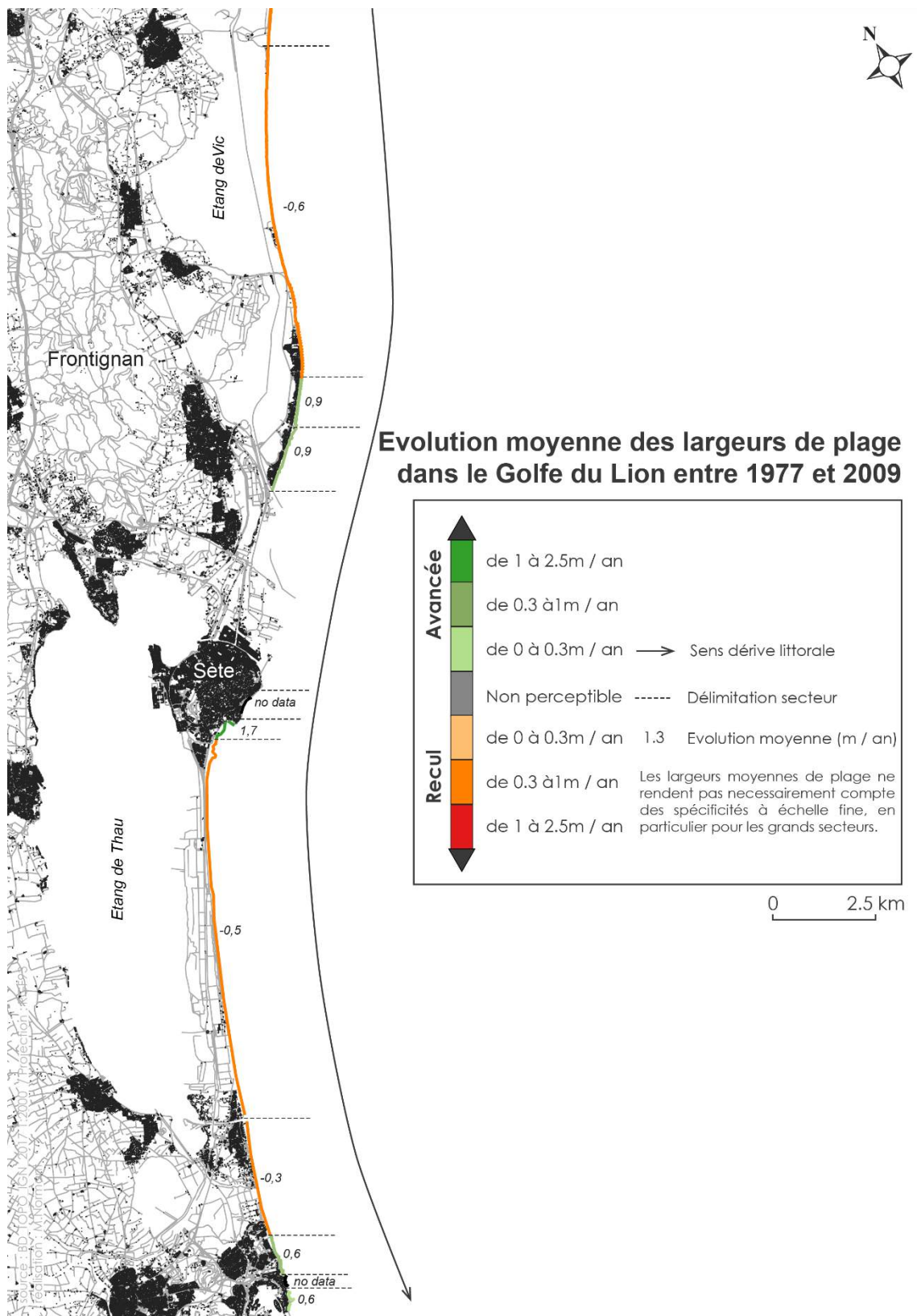


Figure 27 : évolution des largeurs de plage moyennes entre 1977 et 2009 par compartiments sur le secteur centre du littoral de l’Hérault

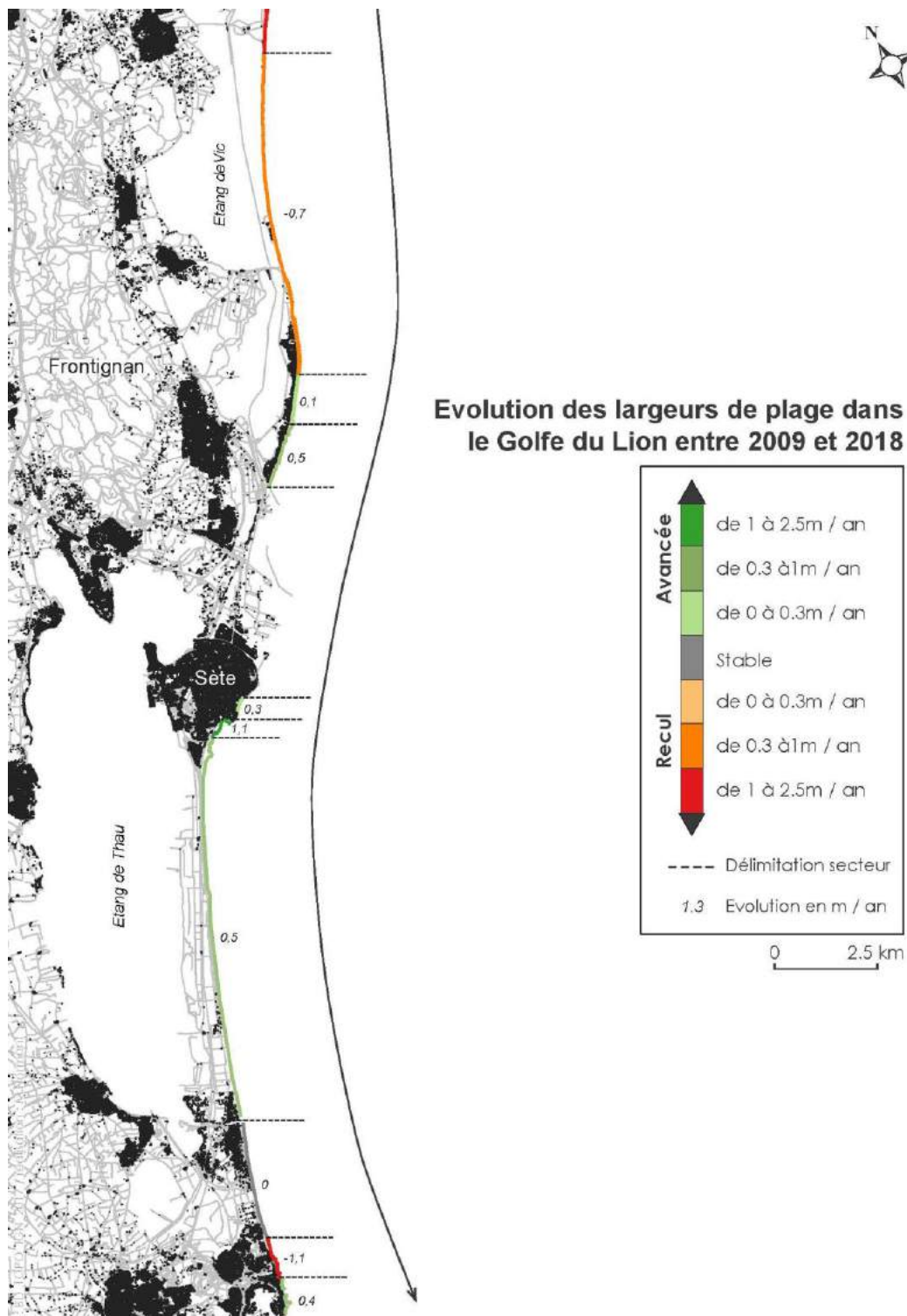


Figure 28 : évolution des largeurs de plage moyennes entre 2009 et 2018 par compartiments sur le secteur centre du littoral de l'Hérault

4. Aménagements et impacts

4.1. Ouvrages présents sur la zone d'étude

Principaux ouvrages de génie civil sur le littoral de l'Occitanie

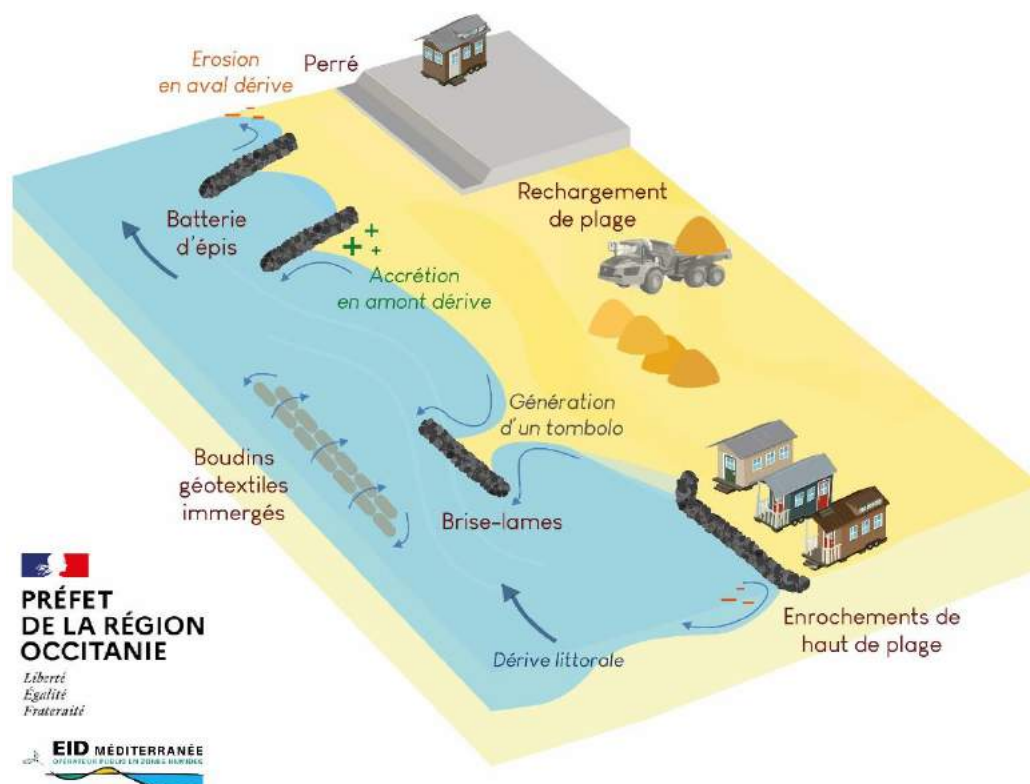


Figure 29 : Schéma explicatif sur les différentes perturbations liées aux ouvrages de défense dite "dure" et aux méthodes de génie-civil (source EID Méditerranée)

La Figure 29 liste les différents aménagements qui bordent notre littoral, ainsi que l'impact que ceux-ci produisent sur les plages aux alentours :

- Les brise-lames (Figure 30) sont parallèles à la plage et retiennent le sable lors d'épisodes de tempête, en plus de freiner l'énergie des houles lors de ces épisodes météorologiques exceptionnels. Ils bloquent tout de même la dérivation littorale avec la formation de tombolos, ces accumulations sableuses qui s'étendent de la plage jusqu'à l'ouvrage.



Figure 30 : vue aérienne des brise-lames situé sur la rive droite du littoral de Palavas les Flots (image aérienne EID/CD34 2018)

- Les épis (Figure 31) maintiennent le sable au niveau des petits fonds, mais la dérive continue en partie sur les zones plus profondes. Leur fonctionnement crée cependant une irrégularité prononcée du trait de côte et un phénomène d’encoche d’érosion aval-dérive, comme observé sur la plage urbaine de Carnon.



Figure 31 : vue aérienne des épis visible à la limite de la zone urbanisée du secteur est de Carnon. Le dernier épi montre un écart bien visible de la position du trait de côte, délimitant le début de l’encoche d’érosion de la plage du Petit Travers (image aérienne EID/CD34 2018)

- Les enrochements de haut de plage (Figure 32) sont souvent les derniers remparts entre la mer et les infrastructures en arrière. Ils ont pour effet de réfléchir les vagues et de provoquer la disparition de la plage à leur base, comme c'est le cas sur Vias Ouest.



Figure 32 : Vue aérienne des enrochements protégeant les infrastructures sur le secteur de Vias ouest (image aérienne EID/CD34 2018)

- Les géotubes immergés (Figure 33) permettent de précipiter le déferlement des vagues, entraînant ainsi une baisse de l'énergie lors de leur arrivée sur la plage. Le taux d'érosion est alors ralenti, comme cela a pu être observé sur le lido de Sète. La plage située face à cet ouvrage s'est non seulement maintenue mais elle a même vu son stock sableux progresser selon les années. Cependant, ce procédé reste fragile notamment vis-à-vis des bateaux qui déchirent facilement les mailles et entraînent des coûts importants pour la maintenance du géotube.



Figure 33 : Vue aérienne du géotube installé à partir de 2013 face au lido de Sète (image aérienne EID/CD34 2018)

4.2. Ouvrages historiques

Le tableau ci-dessous récence les différents ouvrages qui bordent le littoral héraultais de Marseillan à La Grande-Motte. Une majorité de ces ouvrages ont été érigés durant la mission Racine, entre 1963 et 1983, à l'initiative de la délégation à l'aménagement du territoire et à l'action régionale (DATAR). Certains ont depuis été entretenus alors que les premiers à avoir été construit datent des années 50. Les épis dégressifs de la commune de Mauguio-Carnon sont les ouvrages les plus récents du secteur d'étude et ont été mis en place à la fin de l'année 2023. Des travaux sont d'ailleurs toujours en cours (1^{er} trimestre 2024) afin de recharger le secteur en sable provenant du large de la plage du grand Travers. Les ouvrages sont souvent placés progressivement le long d'une plage en fonction de la dérive littorale et du manque de sédiments sur le secteur situé en aval-dérive du dernier épi comme c'est le cas pour la plage Frontignan est jusqu'aux Aresquiers.

Commune	Lieu-dit	Type – nature	Dimension	Date	Entretien
Marseillan	Grau de l'étang de Thau	Digue sud	450 m	1972	/
Marseillan	Grau de l'étang de Thau	Digue nord	220 m		/
Sète	Le Castellas	Épi	70 m	1953	1990
Sète	Le Castellas	Épi	65 m	1953	1990
Sète	Le Castellas	Épi	60 m	1953	1990
Sète	Plage de la Corniche	Épi	50 m	1988	/
Sète	Plage de la Corniche	Brise-lames	85 m	1987	/
Sète	Plage de la Corniche	Brise-lames	160 m	1988	/
Sète	Plage de la Corniche	Brise-lames	85 m	1987	/
Sète	Plage de la Corniche	Brise-lames	80 m	1993	/
Sète	Canal des Quilles	Port de plaisance	190 m	1982	/
Sète	Canal des Quilles	Port de plaisance	150 m	1982	/
Sète	Pointe du Lazaret	Protection de haut de plage	/	1983	/
Sète	Pointe du Lazaret	Brise-lames	310 m	1981	1984-85
Sète	Pointe du Lazaret	Éperon	135 m	1981	/
Sète	Port de Sète Complexe portuaire : commerce, pêche et plaisance	Môle Saint Louis	630 m	1666	1998
Sète		Éperon sur môle	250 m	/	/
Sète		Brise-lames	930 m	1821	/
Sète		Épi Dellon	670 m	1821	/
Sète		Prolongement épi	1030 m	1981	1984
Sète		Digue Est	510 m	1981	1999
Sète		Digue fluvio-maritime	2560 m	2001-02	2004
Frontignan		Port de Sète – Terminal frigorifique	Port de pêche et conchylicole	950 m	1974
Frontignan	Frontignan Plage	Épi	45 m	1994	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi	25 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi	30 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi	40 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi	30 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi en L	90 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi en T	70 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi en T	115 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi en T	105 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi en T	100 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi en T	95 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi en T	100 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi en T	140 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi en T	115 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi en T	110 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi en T	110 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi en T	140 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi en T	145 m	1964	/
Frontignan	Frontignan Plage	Épi en L	100 m	1964	/
Frontignan	Grau Étang d'Ingril	Port de plaisance	190 m	1974	/

Commune	Lieu-dit	Type – nature	Dimension	Date	Entretien
Frontignan	Grau Étang d'Ingril	Port de plaisance	500 m	1974	/
Frontignan	Quartier du Grau	Épi en L	100 m	1964	/
Frontignan	Quartier du Grau	Épi en L	100 m	1948	1964
Frontignan	Quartier du Grau	Épi	70 m	1948	1964
Frontignan	Quartier du Grau	Épi	70 m	1948	1964
Frontignan	Quartier du Grau	Épi	70 m	1970	/
Frontignan	Quartier du Grau	Épi	70 m	1970	/
Frontignan	Quartier du Grau	Épi	70 m	1970	/
Frontignan	Quartier du Grau	Épi	70 m	1970	/
Frontignan	Quartier du Grau	Épi	70 m	1970	/
Frontignan	Quartier du Grau	Épi	70 m	1970	/
Frontignan	Quartier du Grau	Épi	70 m	1970	/
Frontignan	Quartier du Grau	Épi	70 m	1970	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1976	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1977	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1978	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1978	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1978	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1978	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1978	/
Frontignan	Mas des Deux Rives	Épi	70 m	1978	/
Frontignan	Aresquiers	Épi	100 m	1985	/
Frontignan	Aresquiers	Épi	100 m	1985	/
Frontignan	Aresquiers	Épi	100 m	1985	2015
Frontignan	Aresquiers	Épi	100 m	1985	2015
Frontignan	Aresquiers	Épi	70 m	1985	2015
Frontignan	Aresquiers	Épi	50 m	2015	/
Frontignan	Aresquiers	Épi	40 m	2015	/
Frontignan	Aresquiers	Épi	30 m	2015	/
Palavas-les-Flots	Grau du Prévost	Endigage embouchure	250 m	1962	1992/1994
Palavas-les-Flots	Grau du Prévost	Endigage embouchure	200 m	1962	1992/1994
Palavas-les-Flots	La Rente – institut St Pierre	Brise-lames	120 m	1996	1998
Palavas-les-Flots	La Rente – institut St Pierre	Brise-lames	100 m	1994	/
Palavas-les-Flots	La Rente – institut St Pierre	Brise-lames	50 m	1996	/
Palavas-les-Flots	La Rente – institut St Pierre	Brise-lames	100 m	1992	/
Palavas-les-Flots	La Rente – institut St Pierre	Brise-lames	50 m	1998	/
Palavas-les-Flots	La Rente – institut St Pierre	Brise-lames	100 m	1992	/
Palavas-les-Flots	La Rente – institut St Pierre	Éperon digue sud-ouest	90 m	1976	/
Palavas-les-Flots	Port de plaisance	Digue sud-ouest	720 m	1976	1996
Palavas-les-Flots	Port de plaisance	Digue est et d'endigage du Lez	420 m	1976	1996
Palavas-les-Flots	Fleuve Lez	Endigage est de l'embouchure	100 m	?	/
Palavas-les-Flots	Ponton plage ou éperon ?	Éperon digue nord-est du Lez	50 m	1976	/
Palavas-les-Flots		Épi en L	145 m	1976	/
Palavas-les-Flots		Épi	50 m	1976	/
Palavas-les-Flots		Épi	160 m	1951	/
Palavas-les-Flots		Épi	90 m	1951	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1951	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1957	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1957	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1957	/

Commune	Lieu-dit	Type – nature	Dimension	Date	Entretien
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1957	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1962	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1962	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1962	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1962	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1962	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1962	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1962	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1962	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1962	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1962	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1962	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1962	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1962	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1969	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1969	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1969	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1969	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1969	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1969	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1969	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1969	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1969	/
Palavas-les-Flots		Épi	80 m	1969	/
Mauguio	Carnon	Port de plaisance	420 m	1970	/
Mauguio	Carnon	Port de plaisance	235 m	1970	/
Mauguio	Carnon Plage	Éperon	95 m	1981	/
Mauguio	Carnon Plage	Brise-lames	105 m	1969	/
Mauguio	Carnon Plage	Brise-lames	150 m	1969	/
Mauguio	Carnon Plage	Brise-lames	75 m	1969	/
Mauguio	Carnon Plage	Brise-lames	150 m	1969	/
Mauguio	Carnon Plage	Épi en T	130 m	1969	/
Mauguio	Plage Carnon-Est	Épi	80 m	1969	/
Mauguio	Plage Carnon-Est	Épi	80 m	1969	/
Mauguio	Plage Carnon-Est	Épi	80 m	1971	/
Mauguio	Plage Carnon-Est	Épi	80 m	1971	/
Mauguio	Plage Carnon-Est	Épi	100 m	1981	/
Mauguio	Plage Carnon-Est	Épi	100 m	1981	/
Mauguio	Plage Carnon-Est	Épi	100 m	1981	/
Mauguio	Plage Carnon-Est	Épi	100 m	1981	/
Mauguio	Plage Carnon-Est	Épi	100 m	1983	/
Mauguio	Plage Carnon-Est	Épi	100 m	1984	/
Mauguio	Plage Carnon-Est	Épi	100 m	1985	/
Mauguio	Plage Carnon-Est	Épi	100 m	1986	/
Mauguio	Plage Carnon-Est	Épi	100 m	1987	/
Mauguio	Plage Carnon-Est	Épi	100 m	1988	/
Mauguio	Plage Petit Travers	Épi	100 m	2023	/
Mauguio	Plage Petit Travers	Épi	75 m	2023	/
Mauguio	Plage Petit Travers	Épi	55 m	2023	/
La Grande-Motte	Port de plaisance	Digue ouest	620 m	1967-68	/
La Grande-Motte	Port de plaisance	Digue est	560 m	1967-68	/
La Grande-Motte	Casino – Point zéro	Éperon est	100 m	1970	1987
La Grande-Motte	Casino – Point zéro	Brise-lames	170 m	1987	/
La Grande-Motte	Casino – Point zéro	Brise-lames	60 m	1987	/
La Grande-Motte	Casino – Point zéro	Brise-lames paysager	120 m	1987	/
La Grande-Motte	Étang du Ponant	Endigage embouchure Grau	230 m	1984	1989

Figure 34 : Tableau récapitulatif des ouvrages présents sur le littoral du centre et de l'est du département, ainsi que les principaux paramètres pour chaque aménagement

4.3. Gestion sableuse (prélèvements/rechargements)

La gestion du stock sableux d'un système plage/dune est une question essentielle et récurrente pour les communes littorales. Si beaucoup d'entre elles possèdent des ouvrages dits « en dur », cette méthode est souvent accompagnée de procédés complémentaires pour mieux fixer, temporairement, le trait de côte. En particulier, le rechargement consiste à

alimenter artificiellement les plages (ainsi que les dunes, directement ou indirectement) en sédiments pour compenser ou a minima limiter le déficit sédimentaire d'un secteur. Les prélèvements sont réalisés dans des secteurs excédentaires, dont la dynamique ne sera pas impactée par cette opération. Les sédiments sont prélevés sur des secteurs émergés ou dragués au large. Depuis les années 70, des opérations de rechargement artificiel sont ainsi réalisées sur les plages de la région pour pallier au manque d'apport naturel de sédiments. Le tableau suivant (Figure 35) recense les différents rechargements évoqués dans la bibliographie. Certaines opérations sont mal ou non connues, générant une incertitude sur les données fournies (localisation du prélèvement et du dépôt, date, ou volume).

Commune	Localisation	Date	Volume	Sources de sédiments
Marseillan	Marseillan-plage	2010-2023	84000	Dragage port (<i>estimation</i>)
	Marseillan-plage	2006	9000	Dragage port
	Marseillan-plage	2006	2000	Dragage port
	Marseillan-plage	?	2000	?
Sète	Lido	2014-2015	320000	Flèche sous-marine Espiguette
	Plage de Villeroy	2009	17000	Port de plaisance des Quilles
	Plage de Villeroy	2008	14000	Port de plaisance des Quilles
	Plage de Villeroy	2008	12000	Canaux de l'Île de Thau
	Plage de Villeroy	2006	13000	Port de plaisance des Quilles
	?	1988	20000	?
	?	1987	20000	?
	?	1981	17000	?
	?	?	8000	?
?	?	8000	?	
Frontignan	Frontignan-plage	2020	200000	Flèche sous-marine Espiguette
	Frontignan-plage	2017-2018	32000	Flèche sous-marine Espiguette
	Frontignan-plage	2017-2018	32000	Flèche sous-marine Espiguette
	Frontignan-plage	2017-2018	160000	Flèche sous-marine Espiguette
	Aresquiers	2015	200000	Flèche sous-marine Espiguette
	Frontignan-plage	2008	4000	Avant-port
	Plage ouest	2006	4000	Avant-port
	Frontignan-plage	?	3000	?
Villeneuve-lès-Maguelone	Cathédrale	2014	42000	Étang du Prévot
Palavas-les-Flots	Centre-ville	2015	3000	Port
	Plage est	2014	6000	Port
	Plage est	2007-2008	353000	Flèche sous-marine Espiguette
	Centre-ville	2006-2007	1500	Port
	?	2001	12000	Port
	Plage ouest	1999	3000	Port
	?	1992	25000	?
	Centre-ville	?	1000	?
	Plage ouest	?	40000	?
Mauguio-Carnon	Petit Travers	2024	41000	Ouest digue port LGM
	Centre-ville	2014	20000	Avant-port
	Carnon est	2007-2008	182000	Flèche sous-marine Espiguette
	Petit Travers	2007-2008	373000	Flèche sous-marine Espiguette
	?	2007	10000	?
	Plage ouest	2006	10000	Port
	Centre-ville	?	2000	?
La Grande-Motte	?	1987	57000	?

Figure 35 : recensement des rechargements de plage réalisés sur le centre et l'est héraultais (sources : Raynal, O., Certain, R. et Guérinel, B., 2013. Casagéc Ingénierie, 2020. Sources en ligne diverses)

À noter également, le "rechargement" de 600 000 m³ signalé en 2009-2010 lors des travaux d'aménagement du lido de Sète à Marseillan (notamment dans le rapport Casagec de 2020) correspond en réalité au remaniement du sable présent sur le site ; il n'y a pas eu d'apport extérieur, ce volume n'est donc pas comptabilisé dans le tableau. Néanmoins, globalement, les chiffres obtenus fournissent des tendances en la matière, synthétisées dans la Figure 366. Au total, 2.3 millions de m³ de sédiments ont été apportés sur le système plage/dune depuis 1981 (dont 1.8 millions prélevés sur la flèche sous-marine de l'Espiguette). Sur un linéaire côtier de 55 km cela correspond à 42 000 m³/km ; par comparaison, sur l'ouest Hérault (30 km de linéaire) le total recensé était proche de 600 000 m³, ce qui correspond à 20 000 m³/km.

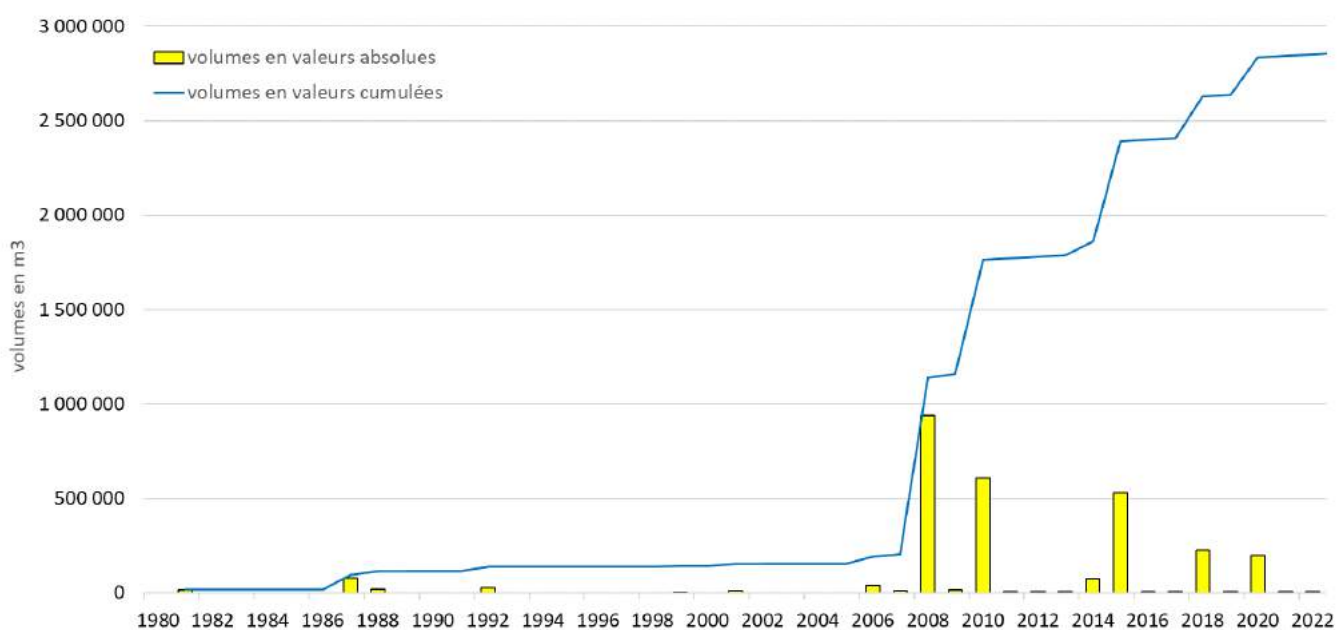


Figure 36 : évolution des volumes rechargés sur le littoral centre/est héraultais depuis 1980, en valeurs absolues et en valeurs cumulées. Sources : cf. Figure 35

La majorité des rechargements effectués concerne des quantités de sédiments inférieures à 50 000 m³, obtenues à partir de dragages locaux (ports, graus, etc..). Seuls sept d'entre eux dépassent 100 000 m³, et ont la même source : la flèche sous-marine de la pointe de l'Espiguette. À ce titre, 2008 marque une rupture dans la tendance (Figure 366), avec le début des opérations de grande ampleur, notamment une des plus importantes opérations réalisées en France : le rechargement des plages du golfe d'Aigues-Mortes, qui a concerné quatre secteurs des communes de Palavas au Grau-du-Roi, dépassant le million de mètres cube (900 000 m³ pour l'Hérault, le reste sur le Gard ; Figure 377).

Techniquement, les rechargements concernent généralement la partie émergée de la plage, comme ce fût le cas lors du rechargement massif des plages du golfe d'Aigues-Mortes. Néanmoins, certaines communes optent pour une alimentation ciblée sur les petits fonds, entre le trait de côte et les barres sous-marines. Ce cas de figure est privilégié pour les plages où le profil est pentu, afin de créer des bancs de sable et d'adoucir ce profil pour mieux réagir face aux fortes houles de tempête. Les travaux sont souvent réalisés à la fin de la période

hivernale, date à partir de laquelle l'agitation est moindre et où les communes préparent leurs plages pour la saison touristique.

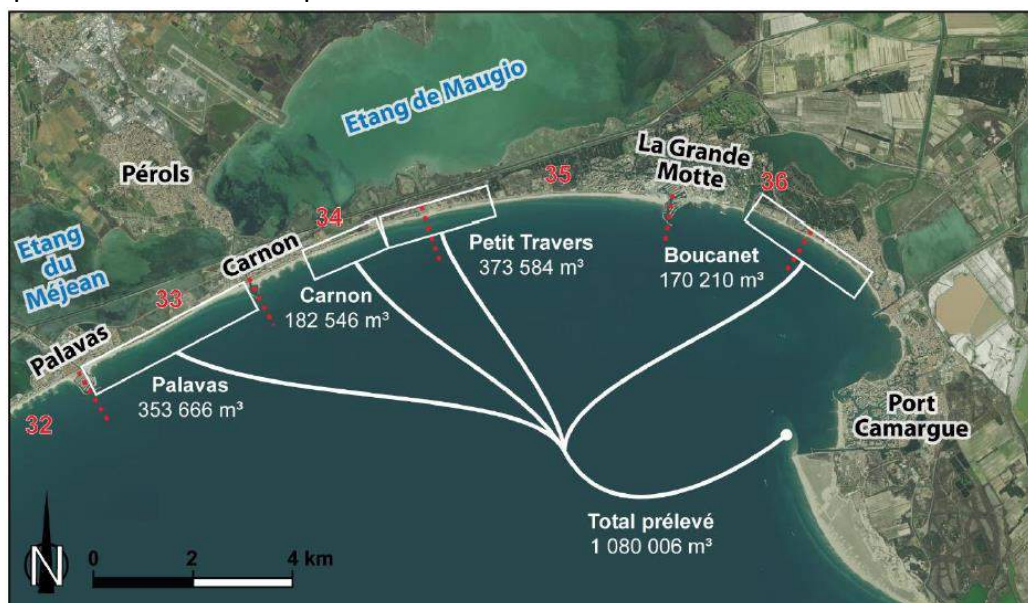


Figure 37 : zones de prélèvement et de rechargement du Golfe d'Aigues-Mortes en 2008 (Aleman et al, 2017).

Néanmoins les effets bénéfiques immédiats de cette méthode restent temporaires ; les facteurs agissant (vent, houle) étant toujours présents, l'apport sableux réagit immédiatement aux premiers forçages (la conception des rechargements en tient compte, d'ailleurs : ils sont toujours plus larges que la dimension voulue au départ), et à terme le stock s'épuise, nécessitant de nouvelles opérations ; la fréquence des rechargements (cela peut aller jusqu'au rechargement annuel) dépend alors de l'endroit et du besoin, en fonction des enjeux, ainsi que des sources de sédiments disponibles. La question du secteur de prélèvement est importante : pour une meilleure tenue dans le temps la granulométrie sableuse du site de prélèvement doit être la même ou supérieure à celle du site de rechargement.

Enfin, un suivi post-travaux du système plage/dune (essentiellement en topographie et bathymétrie, avec des levés avant travaux) est généralement mis en place à l'issue de ces opérations ; il permet de comparer la situation avant et après l'opération, et de suivre son évolution dans le temps, pour anticiper d'éventuelles actions correctrices.

La Figure 388 montre un exemple de l'évolution d'un rechargement effectué en complément de l'ajout de 3 épis dégressifs sur le lido de Frontignan. Sur ce secteur, 200 000 m³ de sédiments ont été ajoutés sur la plage et les petits fonds autour des ouvrages à la fin de l'hiver 2015, en provenance de la flèche de l'Espiguette. En 2019, il ne restait que 40 000 m³ du rechargement initial : 80 % du stock a disparu de la plage émergée. Cependant, un suivi plus détaillé a permis de mettre en évidence un problème de granulométrie trop fine pour optimiser ce rechargement. De plus, une bonne partie de ce sable perdu se retrouve depuis au niveau des barres d'avant-côte ou à la base immergée des épis, permettant ainsi de continuer à protéger la plage et le cordon dunaire face aux éléments en dissipant l'énergie lors des fortes houles. Enfin, la largeur de plage est assez similaire depuis 2019 même si un léger recul du trait de côte est visible sur ce secteur.

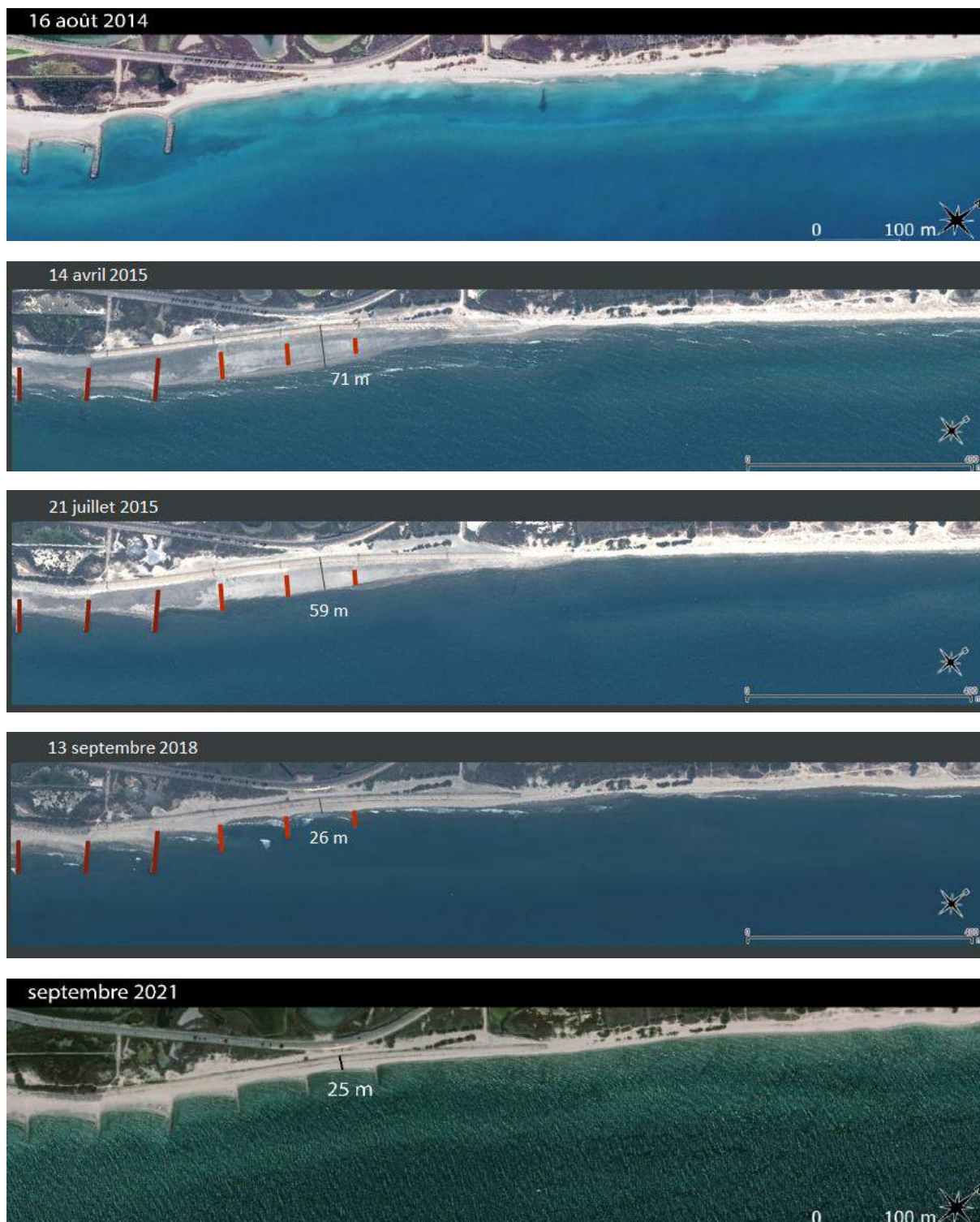


Figure 38 : évolution du rechargement sur la zone des épis dégressifs du lido de Frontignan entre 2014 et 2018 (EID Méditerranée)

5. Conclusion

Les différentes parties du rapport de synthèse du secteur de Marseillan à La Grande-Motte permettent de mieux contextualiser le littoral et ses aménagements, ainsi que les diverses évolutions qui ont impacté les plages. Les documents étudiés ont permis de faire la synthèse des connaissances passées et actuelles sur la dynamique sédimentaire du littoral centre et est héraultais.

Le rapport permet tout d'abord de constater qu'un fleuve seulement se jette dans la mer Méditerranée sur le secteur d'étude, limitant ainsi l'apport sédimentaire hydrologique. De plus, l'apport de ces sédiments est de plus en plus limité en partie à cause des barrages et autres ouvrages ou dragages anthropiques des cours d'eau. Sa dispersion via le courant de dérive littorale est également complexe avec la présence de nombreux ouvrages sur le secteur d'étude.

L'évolution des tempêtes est également un facteur influant sur le stock sableux. Si leur nombre n'est pas spécialement en augmentation ces dernières années, leur présence combinée à l'élévation du niveau marin a tout de même tendance à accentuer le phénomène de submersion marine sur le rivage. Les fortes houles et courants d'arrachement durant ces épisodes entraînent l'érosion de certaines plages et la perte de sable au large.

Enfin, les différents ouvrages construits au fil du temps pour protéger les infrastructures des stations balnéaires ont également montré leurs limites sur ce rôle de protection. Ainsi, les traits de côte locaux sont irréguliers et l'érosion se retrouve décalée sur un autre secteur.

Face à ces problèmes, les communes n'ont pour l'instant pas trouvé d'autres techniques que celle du rechargement, plus ou moins important selon les secteurs. Cette méthode permet, temporairement, de fixer les plages pour les saisons estivales. Mais les différents suivis post-travaux (épis dégressifs sur Frontignan) ont montré que cette solution se limite à quelques années et qu'il est nécessaire par la suite de renouveler l'expérience plus ou moins rapidement selon l'intensité des saisons hivernales. En effet, seulement un faible pourcentage du stock sédimentaire rechargé initialement reste en place et il est important de ne pas négliger certains paramètres comme la granulométrie du sable pour optimiser cette méthode.

Le trait de côte a tendance à reculer sur la zone d'étude, même si cette observation varie selon les plages et le contexte de celles-ci (présence ou non d'ouvrages, rechargements récents et/ou réguliers). Les images aériennes et traits de côte anciens donnent une réelle perspective à ces évolutions. Ainsi, la plage du Petit Travers a reculé de près de 65 m depuis 1974, alors que sa voisine du Grand Travers a gagné plus de 130 m de surface de plage à proximité des digues du port de La Grande-Motte. Si cette tendance au recul est observée depuis le début du 20^{ème} siècle, il est évident que la perturbation des conditions de transport due à la construction de nouvelles digues d'embouchures (ou de ports), et les ouvrages de défense en mer (épis, brise-lames...), ont aggravé le phénomène d'érosion sur le secteur d'étude, à l'instar de l'ensemble du littoral français. De surcroît le changement climatique et l'élévation du niveau marin qui en découle accentueront le recul du trait de côte sur les secteurs les plus à risques.

L'analyse du stock sableux montre que les échanges concernent essentiellement le bas de plage émergée et les petits fonds, jusqu'aux barres d'avant-côte. La localisation de ces sédiments varie selon la saison et la climatologie de la houle. La plage sera plus large et chargée naturellement à la fin de l'été, alors que sa superficie est la plus faible suite à la saison hivernale, notamment si celle-ci a été mouvementée.

Un suivi ciblé et régulier de ces plages reste néanmoins indispensable pour surveiller les échanges de sédiments sur le profil de plage mais aussi de manière longitudinale, afin d'anticiper d'éventuels dégâts en cas de forte tempête combinée à un manque local de sable. Le suivi de l'ensemble du littoral héraultais va apporter une vision uniforme et multidisciplinaire sur l'état du profil de plage, de sa largeur et de la position du trait de côte, du cordon dunaire mais aussi des parties immergées et invisibles sans l'apport de données bathymétriques. Ces résultats permettront alors aux communes de mieux adapter et anticiper les actions à mener selon les secteurs et les besoins face aux risques d'érosion et de submersion marine.

6. Bibliographie

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.

Brunel et al. 2012. Atlas de l'évolution des fonds et des budgets sédimentaires séculaires de l'avant-côte du Languedoc-Roussillon 1895/1984/2009. UPVD- CFREM.

Casagec Ingénierie, 2020. Étude pour la gestion des sédiments du littoral d'Occitanie. Rapport n°CI-19027-A. Phase 1

Castangs J. (2012), Étude du fonctionnement hydrosédimentaire d'un écosystème lagunaire sur des échelles de temps multiples. Application au complexe lagunaire « étangs Palavasiens – étang de l'Or – canal du Rhône à Sète ». Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, 204 pages.

Cavero J. and Chabal L., 2010, Paléogéographie, dynamique forestière et peuplement d'un milieu lagunaire. L'étang de l'Or (Hérault) à la fin de la Préhistoire, p13-26

Certain et al. 2005. Sedimentary balance and sand stock availability along a littoral system. The case of the western Gulf of Lions littoral prism investigated by very high resolution seismic. *Marine and Petroleum Geology* 22 (2005), 889-900p.

Corre et al. 2012. Document d'Objectifs Natura 2000- Posidonies de la côte Palavasienne Tome 1 : État des lieux et analyse écologique. AAMP- CRPMEM LR- DREAL Préfecture Maritime de Méditerranée.

Ferrer P., 2011. Morphodynamique à multi-échelles du trait de côte (prisme sableux) du Golfe du Lion depuis le dernier optimum climatique. Thèse Université de Perpignan Via Domitia.

Leredde et al. 2007. Hydrodynamics in the Gulf of Aigues-Mortes, NW Mediterranean Sea: In situ and modelling data. *Continental Shelf Research* 27 (2007), 2389-2406p

Leredde Y., Michaud H., 2008. Hydrodynamique sédimentaire sur le plateau continental du Golfe du Lion. Xème journée Nationale Génie Côtier- Génie Civil, 14-16 octobre 2008, Sophia Antipolis.

Raynal, O., Certain, R. et Guérinel, B., 2013. Élaboration des éléments sédimentologiques de référence du PGSLR. Rapports de tâche A1, A2, B et C du Plan de Gestion des Sédiments du Languedoc-Roussillon, DREAL LR & UPVD, total de 217 p.

Raynal O., 2012 ; Le bilan sédimentaire, un outil pour la conception d'un plan de gestion des sédiments du littoral du Languedoc-Roussillon

Raynal O., 2008. Architectures de dépôts et facteurs de contrôle d'un système côtier à faibles apports sédimentaires : le littoral languedocien. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II.

Rey T., 2006. Dynamiques hydro-sédimentaires en Petite Camargue à l'Holocène. Thèse Géographie physique. Université Montpellier III- Paul Valéry.

Sabatier F., Samat O., Ullmann A. and Suanez S. (2009). Connecting large-scale coastal behaviour with coastal management of Rhone delta. *Geomorphology*, 107, pp. 79-89.

Sartini et al, 2016, Wave Hindcast Resolution Reliability for Extreme Analysis, Laboratory DICCA - Dipartimento di Ingegneria Civile

Appoo J., 2014. Etude de la dynamique sédimentaire du Golfe d'Aigues-Mortes et amélioration des connaissances des habitats de substrats meubles SIC FR9101413 Posidonies de la côte Palavasienne. Rapport de stage Master 2 Gestion des Littoraux et des Mers, Université Montpellier 2, 136p.

A. Boronkay. Modélisation pluie/débit sur le bassin versant du Lez pour la gestion des crues. Sciences de l'environnement. 2006. ffhal-02588256f

Aleman N., Raynal O., Certain R., CEFREM 2019, Evolution du rechargement massif des plages du Golfe d'Aigues-Mortes (2008-2018), Axe 3 – Contrat d'étude PAUL. 66 p.

Analyse du vent sur le bassin méditerranéen (Météo France) :

<https://www.eoliennesenmer.fr/sites/eoliennesenmer/files/fichiers/2021/07/EOS-DMO-Etude-Vent-Meteo-France.pdf>

Hydro portail sur les débits du Lez (EauFrance) :

<https://www.hydro.eaufrance.fr/sitehydro/Y3210020/synthese>

Superficie des étangs du secteur d'étude (INPN) :

<https://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/910006422>