

Etude de l'évolution du trait de côte et des surfaces de plages du Golfe du Lion (1977 -2018)



Octobre 2020

CONTACT

Rédacteur principal : Mathieu GERVAIS

Sous la direction de Hugues HEURTEFEUX

hheurtefeux@eid-med.org

04.67.63.72.99

EID Méditerranée

Pôle Littoral

165 avenue Paul Rimbaud

34 184 Montpellier Cedex 4

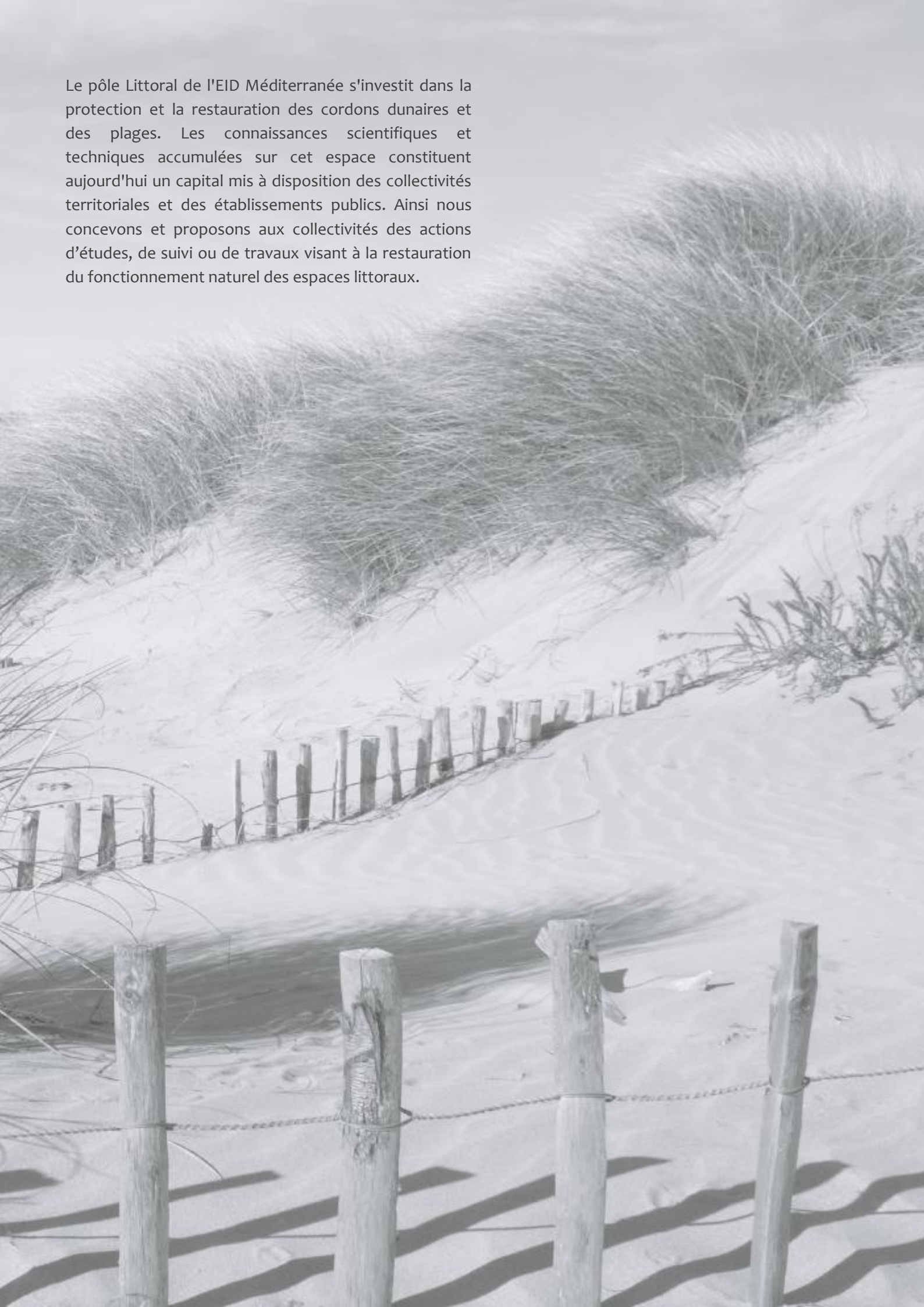
www.eid-med.org



*Liberté
Egalité
Fraternité*



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 d'études, de suivi ou de travaux visant à la restauration du fonctionnement naturel des espaces littoraux.



Sommaire

SOMMAIRE	3
I. Introduction	4
II. Découpage en unités et en cellules hydrosédimentaires	5
III. Digitalisation du trait de côte – méthodologie	6
1. Indicateur choisi pour le trait de côte	6
2. Les dates et sources d’images aériennes/satellites employées	7
3. Deux méthodes d’analyse aux intérêts complémentaires	10
4. Les marges d’erreurs	12
IV. Analyse par unités et cas particuliers de l’évolution du trait de côte entre 2009 et 2018	14
V. Analyse de l’évolution du trait de côte entre 1977 et 2018 par cellules sédimentaires	21
VI. Conclusion de l’étude	33
VII. Bibliographie	35
VIII. Annexes	36

I. Introduction

Les littoraux du monde sont en proie à l'érosion et la France n'échappe pas à ce phénomène. Selon le commissariat général au développement durable, un quart des côtes françaises régresse (24,2%), soit 1 720 km du linéaire côtier, dont les deux tiers correspondent à des littoraux sableux. Depuis le lancement de la mission interministérielle d'aménagement touristique du littoral du Languedoc-Roussillon en 1963 (mission Racine), le Golfe du Lion connaît une forte urbanisation. Cet aménagement massif, combiné aux conditions climatiques changeantes, perturbe la dynamique côtière et accélère le phénomène d'érosion. Le recul des plages met en péril les biens et les activités à proximité de la mer. Le littoral occitan fait l'objet d'un suivi particulier en accord avec la stratégie régionale de gestion intégrée du trait de côte (SRGITC, 2018).

Les risques littoraux étant des sujets prédominants en région Occitanie, ce rapport vise à recueillir des données récentes sur l'évolution du littoral du Golfe du Lion afin d'actualiser sa connaissance. Nous synthétiserons donc ici les évolutions récentes du trait de côte, entre 2009 et 2018, par rapport à une période de référence historique, choisie entre 1977 et 2009, dans le but d'étudier et mettre en perspective le phénomène d'érosion actuel face à une période plus ancienne ou l'essentiel des grands aménagements tels que les ports existaient déjà sur le littoral de l'Occitanie.

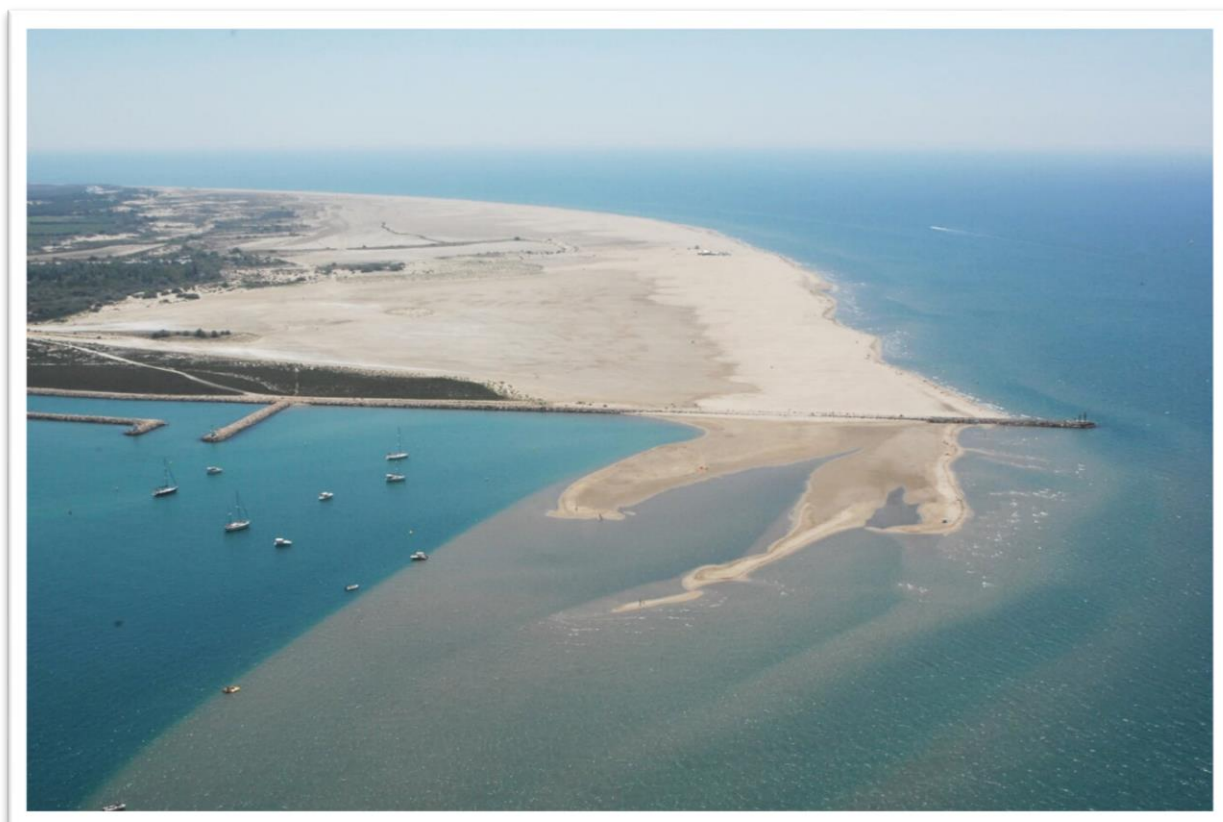


Figure 1 : Photographie aérienne de la digue d'arrêt des sables de Port-Camargue. EID 2019 et de la nouvelle flèche sableuse progressant en mer devant la sortie du port

II. Découpage en unités et en cellules hydrosédimentaires

Pour étudier l'évolution des profils de plage, le littoral du Golfe du Lion est d'abord divisé en 6 grandes unités hydrosédimentaires, selon un découpage initié dans la thèse de Durand (1997) et repris dans la thèse de Certain (2002). Ces unités se distinguent les unes des autres par des caractéristiques différentes (ex : dérive littorale, morphologie des barres d'avant-côte et largeurs/pentes des plages, exposition aux houles, ...) et sont séparées par des frontières plus ou moins perméables d'origine naturelle ou anthropique (ex : promontoire rocheux, grau, digue, ...). Ainsi, on retrouve d'ouest en est :

- 1 - L'unité Roussillon : d'Argelès au grau de la Vieille Nouvelle
- 2 - L'unité Narbonnaise : du grau de la Vieille Nouvelle à l'embouchure de l'Aude
- 3 - L'unité Biterroise : de l'embouchure de l'Aude au Cap d'Agde
- 4 - L'unité Sétoise : du Cap d'Agde à Sète
- 5 - L'unité du Golfe d'Aigues-Mortes : de Sète au Grau-du-Roi
- 6 - L'unité Gardoise : du Grau-du-Roi au Canal de Recul à l'Espiguette (ici, le travail s'adapte à un découpage administratif régional, mais cette unité pourrait s'étendre en pratique jusqu'à l'embouchure du Rhône)

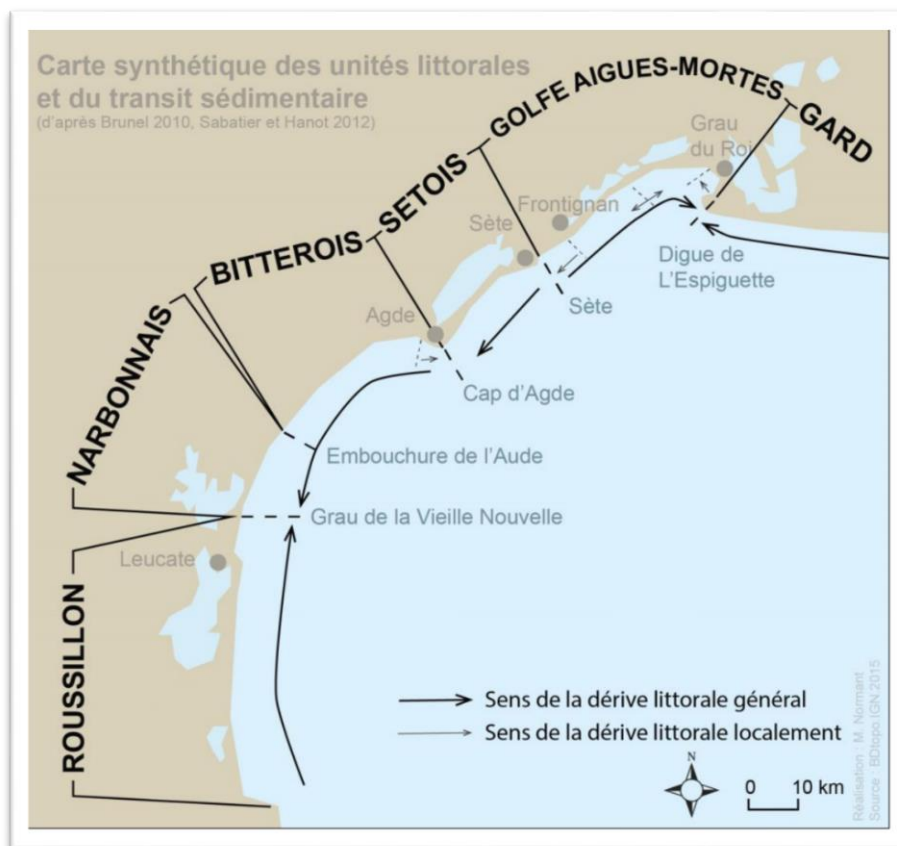


Figure 2 : Carte des unités littorales et du transit sédimentaire du Golfe du Lion. (M. Normant, EID 2018).

A l'intérieur de ces unités, s'organise un transfert longitudinal et/ou transversal de sédiments. Le transfert longitudinal est initié par la dérive littorale, courant parallèle à la plage conduisant le sable entre des cellules hydrosédimentaires en érosion et des cellules hydrosédimentaires en accrétion. Transversalement, ce sont les hauteurs de vagues, de nature évidemment variables, qui régissent l'intensité et le sens du courant entre le large (avant-côte) et la plage émergée. Dans ce cas, il faudra considérer la chronologie des tempêtes et des périodes de beau temps pour essayer de clarifier les échanges entre la plage immergée et émergée.

Chaque aménagement en mer, marque une barrière physique importante pour le mouvement longitudinal du sable, cause principale de l'érosion sur le long-terme. Ainsi, le découpage en cellules est délimité soit par des aménagements anthropiques (ports, digues, jetées), soit par des séparations naturelles (grau, platier rocheux). Aussi, certains secteurs homogènes ont aussi volontairement été subdivisés lorsque le linéaire côtier était trop étendu. Au total, 54 cellules ont été définies : 13 dans les Pyrénées-Orientales, 11 dans l'Aude, 24 dans l'Hérault et 6 dans le Gard.



Figure 3 : illustration du découpage des cellules selon les obstacles au transit pour la dérive littorale (ici obstacles naturels de type cap rocheux et artificiels avec digues de port sur la partie est du cap d'Agde)

III. Digitalisation du trait de côte – méthodologie

1. Indicateur choisi pour le trait de côte

Au vu de la géomorphologie, du contexte hydrodynamique des plages occitanes à très faible marée et très faible houle (du moins la majorité du temps pour la houle), la méthode de détermination du trait de côte retenue comme la plus adaptée est la limite instantanée du jet-de-rive dans des conditions de beaux temps, ici prise au cours (et si possible à la fin) de la période estivale, dans la situation optimale des plages les plus larges. Cette limite est prise sur les images aériennes zoomées en lissant des effets à très petite échelle (< 10 m) dus à l'effet du jet de rive (nappes montantes et descendantes des vagues) ou des petites formes de croissants de plage :

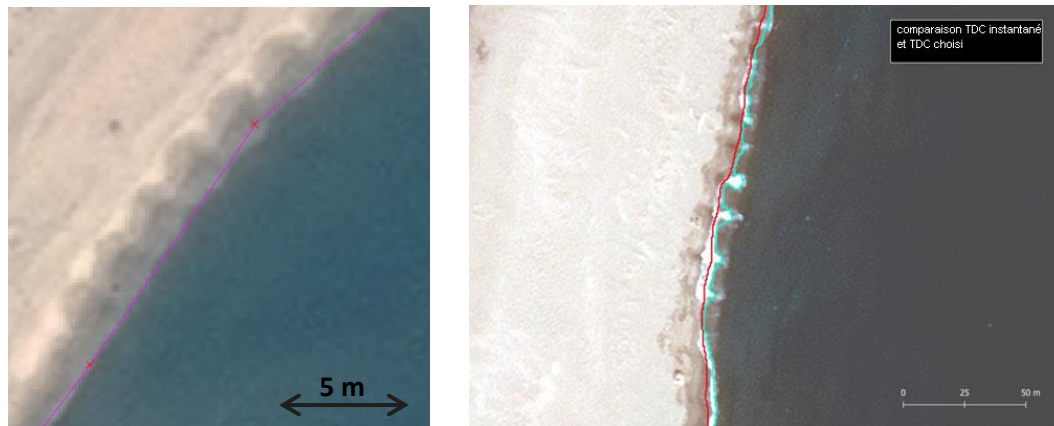


Figure 4 : illustration de la méthode de digitalisation du trait de côte, à gauche, et à droite de lissage des croissants de plage et des variations instantanée du jet de rive (choix d'un tracé milieu de la zone de battement des nappes d'eau sur le bas du profil de plage).

L'analyse d'images aériennes et satellites est la méthode la plus appropriée pour appréhender l'évolution d'un littoral sableux à l'échelle de plusieurs décennies, car elles offrent aujourd'hui une grande précision et une vision quasi-instantanée sur de vastes étendues spatiales (Durand, 1997). Cependant, ces images peuvent présenter des déformations géométriques liées à l'altitude ou au "tangage" de l'appareil lors de la prise de vue. Une ortho-rectification et un géoréférencement des images ont donc été réalisés préalablement par l'IGN ou CNES/Airbus qui nous fournissent la donnée entre 2012 et 2018 (sauf pour 4 petits secteurs en 2018, voir ci-après).

2. Les dates et sources d'images aériennes/satellites employées

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des campagnes photographiques et données utilisées pour le travail de digitalisation du trait de côte (les dates varient dans une plage de plusieurs semaines car plusieurs vols/ levés sont agrégés pour former une image continue du littoral sableux du Golfe du Lion (GLD) en Occitanie).

Année	Type	Colorimétrie	Source	Résolution native de l'image (pixel)	Emprise
1977 (du 24 juillet au 02 aout 1977)	Ortho-image missions IGN (références : 1977_FR2904_LOT8 & LOT9_P_20000)	Noir et blanc	Images sources de l'IGN, orthorectification et digitalisation du trait de côte étude de Sabatier et Hanot de 2012 (pour DREAL-LR)	< à 0,5 m	GDL
2009 (levé lidar topo-bathymétrique réalisé entre 24/08/2009 et le 07/09/2009)	Données de télémétrie laser aéroportées géoréférencées XYZ (Lambert 93 – IGN 69) Données ensuite interpolées	Aucune (données MNT)	Données ex. – DREAL-LR (DREAL Occ. aujourd'hui) orthorectification et digitalisation du trait de côte étude de Sabatier et Hanot de 2012 (pour DREAL-LR)	~1 à 3 m d'après les données Lidar	GDL
2012 (du 16 juin	Orthophotographie	Couleur	IGN	0,2 m	GDL

au 17 juillet)					
2015 (du 03/08 au 24/09)	BD ORTHO V2 IRC	Couleur	IGN	0,39 m	GDL
Octobre 2017 (du 03 au 10 octobre)	Images satellites Pléiades IGN – CNES – distribution Airbus	Couleur	CNES / Pôle Théia / projet EQUINOX-GEOSUD (2011-2019)	0,5 m	GDL
2018 fin d'été (voir dates ci-après)	Essentiellement Images satellites Pléiades IGN – CNES – distribution Airbus + quelques compléments avec des images Google Earth © (~15 % du linéaire côtier)	Couleur	CNES / Pôle Théia / projet EQUINOX-GEOSUD (2011-2019) + Google Earth orthorectification EID – Méditerranée	0,5 m (~0,3 m pour les images Google Earth)	GDL

Nos travaux s'inscrivent dans la **continuité d'un projet mené par la DREAL-LR avec B. Hanot, et le CEREGE de l'université d'Aix-Marseille dont le chercheur F. Sabatier. L'étude visait à produire une synthèse des mouvements du trait de côte à grande échelle sur le littoral des Pyrénées Orientales à l'Espiguette, et au cours d'une période de plus de 100 ans.**

Dans cette étude, nous reprenons pour référence historique les digitalisations des traits de côte des étés 1977 et 2009 de l'étude du CEREGE. La première donnée de 1977 se base sur une orthorectification d'images aériennes noir et blanc de l'IGN au 1/20 000ème, la seconde, de 2009 sur une donnée MNT topo-bathymétrique régionale par mesure LiDAR aéroportée.

Acquisition d'un trait de côte représentatif de l'été 2018 pour tout le Golfe du Lion

Pour l'année 2018, nous avons fait le choix de récupérer plusieurs images ortho-rectifiées Pléiades auprès de l'IGN (résolution 50 cm), aucun levé n'ayant été réalisé à la même date sur toute la façade. Nous avons sélectionné 8 images couvrant la quasi-totalité du Golfe du Lion. Pour limiter les biais liés à la saisonnalité, nous avons choisi des images entre juin et octobre correspondant à des conditions météo-marines clémentes et à l'état de la plage en saison estivale :

Tableau 2 : Récapitulatif des images pléiade 2018 récupérées auprès de l'IGN

Image pléiade <i>Canet en Roussillon</i> : de Cerbère à Le Barcarès	02/10/2018
Image pléiade <i>Le Barcarès</i> : de Le Barcarès à Etang de la Palme	25/09/2018
Image pléiade <i>Narbonne</i> : de Gruissan à Valras	20/06/2018
Image pléiade <i>Agde</i> : de Sérignan à Le grau d'Agde	04/08/2018
Image pléiade <i>Sète</i> : d'Agde à Sète	07/09/2018
Image pléiade <i>Frontignan</i> : de Sète à Palavas-Les-Flots	13/09/2018
Image pléiade <i>Montpellier</i> : de Pérols à Villeneuve-les- Maguelone	03/10/2018
Image pléiade <i>Aigues-Mortes</i> : de La Grande-Motte au Clos de la Comète	06/08/2018

Sur l'ensemble du Golfe du Lion, trois secteurs n'étaient pas couverts par les images satellites entre juin et octobre 2018, nous avons donc récupéré des images *Google Earth* datant du 10/07/2018 à une altitude de 1,3 à 1,7 km pour une résolution de 4800*3333 ppp (qualité maximale).

Les images Google Earth ont ensuite été géo-référencées par rapport à la référence de la mosaïque d'images satellites pléiades-CNES d'octobre 2017. Nous avons appliqué la méthode de 4 points de contrôle en arrière-dune / zone urbanisée et 4 points sur la partie littorale du Domaine Public Maritime. Au total, 10 à 12 points de contrôle ont été placés par image. L'extension *Georeferencer Plugin* de QGIS a été utilisée en appliquant une transformation par l'algorithme *Thin Plate Spline* (TPS) avec un ré-échantillonnage des données de type *Nearest Neighbor*.

Tableau 3 : Récapitulatif des zones de récupération d'image satellite Google Earth haute résolution (images du 10/07/18)

dune des Orpellières, Sérignan (34)	6 images du 10.07.18
Plage Grau d'Agde (34)	1 image du 10.07.18
Le fond de la baie d'Aigues-Mortes entre le port de Carnon et l'exutoire de l'Etang du Ponant (34)	10 images du 10.07.18
Portion de Port-la-Nouvelle (11)	7 images du 10.07.18

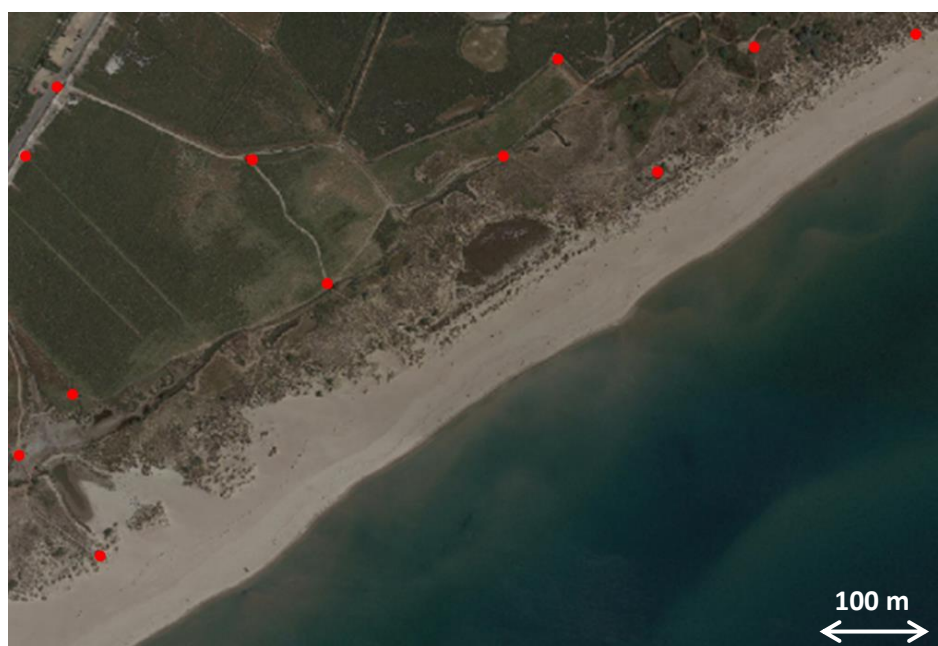


Figure 5 : Exemple de géo-référencement de quelques images aériennes supplémentaires issues de Google Earth pour l'été 2018 (les points de référence pour la projection sont ici marquées en rouge)

3. Deux méthodes d'analyse aux intérêts complémentaires

Dans cette étude, les mouvements du trait de côte sont étudiés au moyen de deux méthodes :

- Une méthode d'analyse des variations de surface de plage, permettant d'étudier par approximation l'évolution du « volume total » de sable par cellules hydrosédimentaires et le mouvement moyen du trait de côte sur l'ensemble de la cellule ;
- Une méthode d'analyse des variations fines et locales du trait de côte grâce à l'outil de quantification des déplacements transversaux, Digital Shoreline Analysis System (DSAS).

L'analyse par surface de plage

La méthode d'analyse des variations de surface de plage permet d'étudier l'évolution, et d'avoir un bilan d'une année sur l'autre, de la superficie de la plage par compartiments. Ces compartiments sont souvent délimités par des digues portuaires ou des embouchures.

Dans les travaux de F. Sabatier et B. Hanot, les positions des traits de côte étaient simplement comparées entre deux années considérées afin d'en tirer les pertes ou gains en terme de surface (calcul : « surfaces gagnées sur la mer – surfaces perdues » pour chaque compartiment côtier). A partir de 2012, nous avons choisi de prendre en considération une ligne en arrière-plage fixe. Il s'agissait de tracer, au préalable et **pour la partie terrestre, une ligne fixe** correspondant à la cote d'aléa de référence dans les PPRL locaux. Elle est **positionnée à + 2,40 m NGF** derrière la dune et extraite du levé topographique LIDAR de l'été 2015 (résolution pixel XY : 1 m ; Z : ~0,2 m de précision verticale), lorsque c'est possible et cohérent (relief dunaire marqué). Dans le cas contraire, lorsque par exemple la côte est très basse, la limite d'urbanisation ou de végétation a été utilisée. Au terme

de l'analyse, des surfaces de plage à différentes dates entre 1977 à 2018 (incluses) ont été calculées pour chaque cellule du littoral régional.

Ci-dessous (Figure 6), il en ressort deux extractions du logiciel de cartographie avec en rouge la limite arrière de plage terrestre et en vert le trait de côte digitalisé. Sur l'image à gauche la limite en haut de plage correspond à la côte de référence à +2,40 m NGF et sur l'image de droite il s'agit d'un ouvrage de haut de plage. Ensuite les deux polygones doivent s'intersecter au bout de la cellule, le plus souvent le long des enrochements d'une digue, afin de créer les polygones et permettre d'obtenir la surface de plage du site considéré (en jaune).

Cette méthode surfacique permet, en connaissant la longueur du linéaire côtier, d'estimer un recul ou une avancée moyenne du trait de côte sur tout le compartiment concerné (entre un port et un grau par exemple), ce recul sera exprimé en m^2/ml de côte.

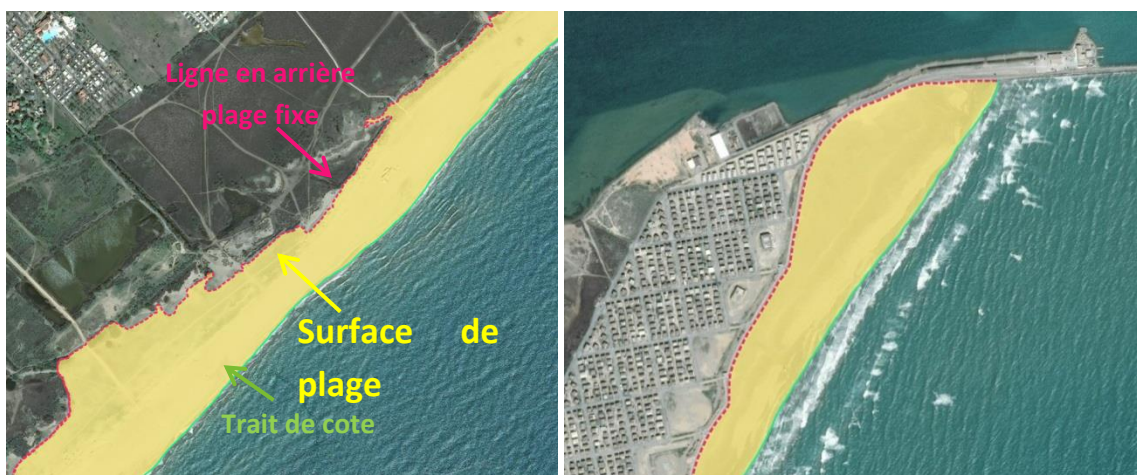


Figure 6: Extractions du logiciel de cartographie sur les limites utilisées en haut de plage (figure EID Méditerranée, 2020)

L'analyse par transects tous les 100 m (logiciel DSAS)

Pour compléter et affiner cette analyse surfacique, une méthode d'analyse des variations fines et locales du trait de côte, grâce à l'outil de quantification des déplacements transversaux DSAS a été réalisée.

Ce module créé par l'USGS (*United States Geological Survey*) pour le logiciel ArcGIS sert à étudier les variations du trait de côte. La méthode de calcul statistique consiste à créer des transects perpendiculaires à une ligne de référence qui suit de manière simplifiée le trait de côte dans les terres. Ces transects, espacés de 100 m, viennent alors recouper tous les traits de côte (des différentes dates) comme on peut voir sur la figure suivante.

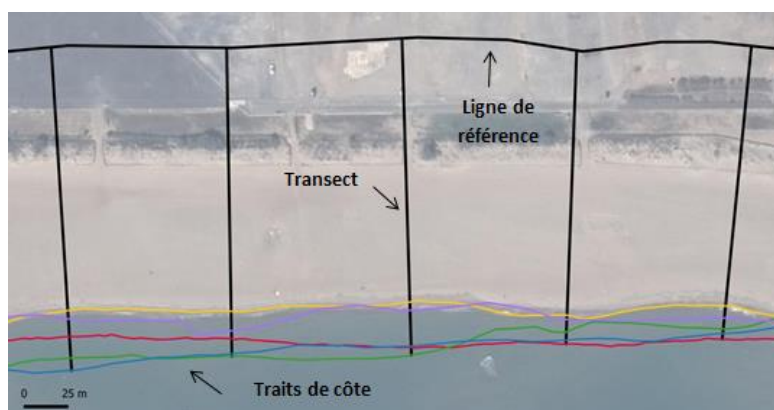


Figure 7 : Transects et lignes de références générés par l'extension DSAS d'ArcGIS (orthophotographie IGN 2017 ; figure EID, 2018)

Nous avons ensuite obtenu pour chaque transect et chaque année la distance entre la ligne de référence et le point correspondant à l'intersection entre le trait de côte et le transect.

Par précaution, afin de lisser l'effet localisé des croissants de plage, les valeurs de régression ou d'accrétion ont été moyennées avec les valeurs des deux profils voisins, soit une moyenne mobile sur 300 mètres ou trois transects.

Cette méthode permet de révéler, pour chaque compartiment ainsi défini, où s'est concentrée en particulier l'érosion ou l'accrétion, et ainsi révéler les *hotspots* demandant le maximum d'attention pour les gestionnaires.

Cette méthode au final apporte une précision plus fine en mettant en avant les contrastes d'évolution des largeurs de plage, sur des territoires où la taille de certaines cellules pouvait biaiser l'analyse. Elle permet également de voir l'impact des aménagements anthropiques. Un atlas cartographique de 4 cartes est ici présenté sur des secteurs où il a été jugé bon d'apporter des précisions.

4. Les marges d'erreurs

Afin de produire les deux atlas cartographiques issus des deux méthodes citées précédemment, une digitalisation du trait de côte de la zone d'étude a été réalisée pour plusieurs périodes. Toutefois, la digitalisation du trait de côte dans un S.I.G engendre une certaine marge d'erreur, qu'il convient de présenter et de prendre en compte lors de l'analyse des résultats :

- La première source d'erreur, bien que minime, vient de l'orthorectification des images, aériennes ou satellites, réalisée pour l'essentiel par l'IGN ou le CNES. D'après plusieurs tests de détection, la précision est en majorité inférieure à 0,5 m (mouvement d'objets fixes au niveau du sol entre deux images). Sur les images de Google Earth datées de 2018 que l'EID a orthorectifiées afin de compléter les images Pléiades (pour 15 % du linéaire côtier), l'erreur de positionnement des objets est inférieure à 2 m sur la zone de la plage et de la dune.
- La seconde source d'erreur, également faible, provient de la résolution native de l'image. La ligne de référence pour définir le trait de côte est la limite entre la plage immergée et la plage émergée à une échelle de 1/1000 à 1/2500. Cette échelle induit une incertitude

planimétrique de la position du trait de côte entre 20 et 50 cm selon la résolution des images. Ainsi selon la résolution du pixel, et la netteté des images, il est plus ou moins difficile de définir la position exacte de la ligne d'eau. Avec des images satellites *Pléiades* de Très Hautes Résolution (THR de 0,5 x 0,5 m) l'erreur de positionnement de la ligne d'eau est inframétrique : environ 0,8 m en XY.

- La troisième et principale source d'erreur provient des variations d'élévation du plan d'eau. Les effets de surcote et de décote liés aux pressions atmosphériques et aux vents, ainsi que les cycles de marées, font varier les hauteurs d'eau. Le fait de sélectionner des images au cours des périodes estivales permet de limiter les fortes variations liées aux perturbations atmosphériques (dépressions, vents, tempêtes, vagues associées...). L'été, il peut être considéré que l'amplitude des variations du niveau marin est au maximum de 0,4 m. Dans le cas le plus défavorable des plages les plus plates (comme celles du narbonnais ou du golfe d'Aigues-Mortes) avec une pente de la zone de jet de rive autour de 5 %, cette variation du plan d'eau implique une erreur absolue de 8 m (+ ou - 4 m vers la mer ou les terres).

Ce dernier point semble important au premier abord, mais la plupart du temps, le plan d'eau varie de seulement 0,2 m (90 % de la variation de l'altitude du plan d'eau se situe entre 0 et 0,2 m NGF d'après les séries marégraphiques de Sète au cours des mois de juillet et août de 1992 à 2010). De plus, les pentes de plage sont fortement réfléchies l'été en bas de plage et proche de 8 %. En conséquence, la variation transversale du trait de côte liée à la méthode d'imagerie satellite-aérienne l'été n'est que de 3 m (+/- 1,5 m d'erreur d'appréciation du trait de côte vers le large ou vers la côte). En outre, si le trait de côte a été mal apprécié lors d'une année du fait des conditions de hautes eaux et donne le résultat d'un recul exagéré du trait de côte, il est fort probable que cette situation ne se reproduise pas l'année suivante. C'est pourquoi il est rigoureux de prendre en compte plusieurs dates, afin d'apprécier les mouvements du trait de côte et de vérifier les tendances d'une année à l'autre. La répétition des observations permet de diminuer de manière significative la marge d'erreur.

La marge d'erreur que nous retenons de manière empirique de nos analyses de photo-interprétation du trait de côte est ainsi estimée à +/- 2 m, car toutes les erreurs précédemment décrites ne sont pas systématiques et cumulables (ce qui formerait en définitive un scénario fortement « pessimiste » des choses).

Remarque supplémentaire des auteurs concernant le dernier levé de 2018 :

« A la fin de notre projet et de notre analyse, l'IGN a publié une donnée actualisée de ses images aériennes de la France Métropolitaine, dont les dernières sur le littoral régional dataient de 2015. Cette « ortho-express 2018 » se montre dans les faits toute à fait équivalente et comparable aux données *Pléiades* et *Google Earth* que nous avons sélectionnées pour nos analyses du trait de côte lors de l'été 2018 : on retrouve les mêmes formes et même largeurs de plage, car ces images ont été acquises pour l'essentiel à la même période. Seule la petite zone autour de Maguelone-Palavas, semble avoir perdu un peu de largeur de plage car la donnée que nous avons utilisée date d'octobre 2018, un peu après l'été donc. Toutefois, une ré-interprétation avec ces données conduiraient à un résultat équivalent à l'échelle régionale et surtout à l'échelle des 10 dernières années de notre analyse. »

Au sujet des résultats présentés ci-après, les tendances récentes d'évolution des surfaces de plage sont d'abord présentées pour la totalité de chacune des 6 grandes unités hydrosédimentaires, ainsi que quelques cas marquants ; ensuite, l'analyse se poursuit avec l'étude de l'évolution du trait de côte entre 1977 et 2018 par cellules sédimentaires, où apparaîtra une analyse plus fine du territoire sur certains points particuliers (« hotspots » d'érosion) que révèle l'analyse des transects DSAS.

IV. Analyse par unités et cas particuliers de l'évolution du trait de côte entre 2009 et 2018

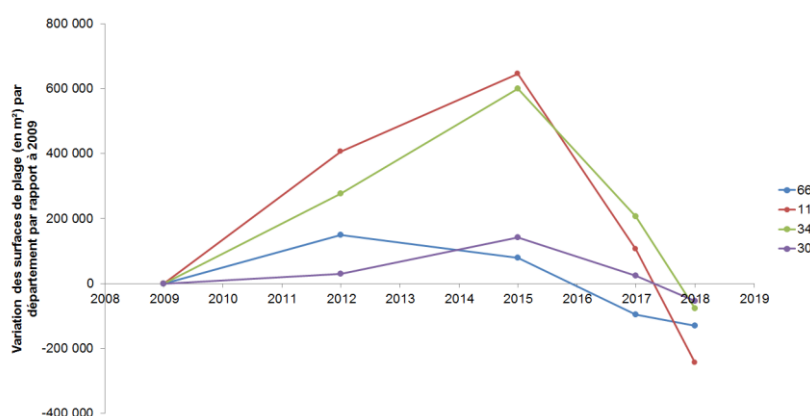


Figure 8 : évolution de la surface de plage (m²) depuis 2009 pour chacun des 5 départements de l'Occitanie

Sur l'ensemble du Golfe du Lion, on observe une tendance générale à l'érosion entre 2009 et 2018, celle-ci étant liée au déficit d'apports en sable par les fleuves, à l'aménagement anthropique du linéaire côtier, et au climat de tempête de ces dernières années avec des pertes de sable vers le large. Des secteurs historiquement en accrétion ou stables sont aujourd'hui marqués par une tendance à l'érosion, comme c'est le cas du Narbonnais. A signaler également que La pointe de l'Espiguette, entre Port-Camargue et Saintes-Maries-de-la-Mer, ne semble plus progresser de manière aussi rapide qu'avant, et les secteurs en aval des derniers épis, sont particulièrement impactés (secteur des Baronnetts au sud-est du phare de l'Espiguette).



Figure 9 : illustration de la zone la plus en recul localement de toute la région Occitanie ces dix dernières années : l'encoche d'érosion aval-dérive des épis sur le secteur des Baronnets à l'Espiguette d'agrandit nettement, avec en rouge le trait de côte de 2009 positionné sur les ortho-images récentes de Pléiades de l'été 2018 (les différentes couleurs de terrain correspondent à différentes dalles liées à la donnée d'origine).

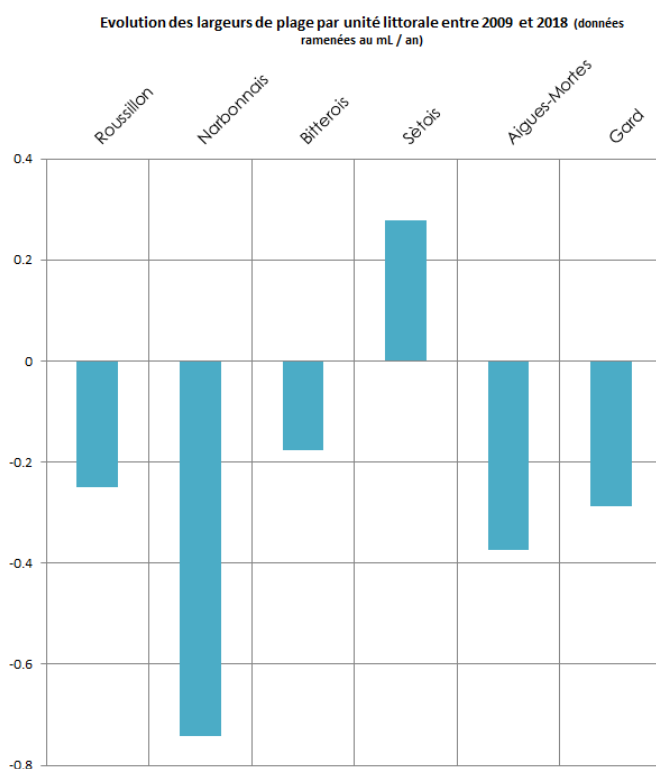


Figure 10 : Evolution des largeurs de plage et des taux de mouvement transversaux du trait de côte en m/an selon les six unités littorales entre 2009 et 2018

Si l'on s'intéresse à l'évolution des largeurs de plage par grandes unités hydrosédimentaires entre 2009 et 2018 (Figure 10), il apparaît que l'érosion la plus importante se manifeste sur le Narbonnais

et le Golfe d'Aigues Mortes, aussi bien donc sur des secteurs naturels que des secteurs très anthropisés, ces derniers ayant connu pourtant certaines opérations des rechargements en sable (cf. rechargement en sable du secteur de Frontignan –Les Aresquiers).

On remarque également que sur des périodes de courte durée entre 2009 et 2018, les variations des surfaces de plage sont synchrones et plutôt cohérentes entre les unités du Golfe du Lion (Figure 11). Un contraste important a eu lieu entre la période 2009-2015 et la période 2015-2018, avec dans un premier temps de l'accrétion ou une érosion modérée, puis dans un second temps de forts taux d'érosion. Ces résultats attestent de la sortie d'une période de stabilité due à l'énergie "modérée" des houles dans la région entre 2009 et 2015. Cette relative stabilité est suivie d'une période d'augmentation des coups de mer entre les étés 2016 et 2017 (augmentation brusque du cumul énergétique annuel des vagues, voir Figure 12), puis d'une augmentation de la puissance maximale (ponctuelle) des tempêtes avec l'épisode d'ampleur décennale qui a eu lieu le 01 mars 2018 lors de la saison 2017-2018.

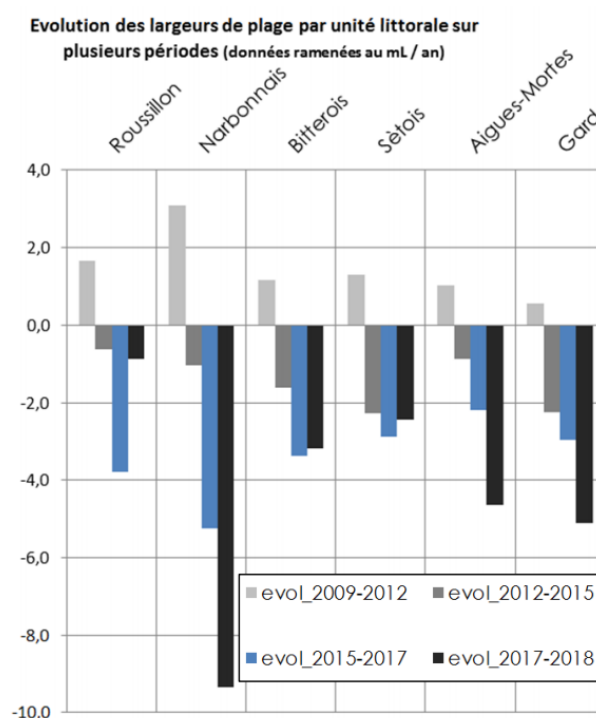


Figure 11 : Evolution des largeurs de plage par unité littorale sur plusieurs périodes (données ramenées au ml/ an)

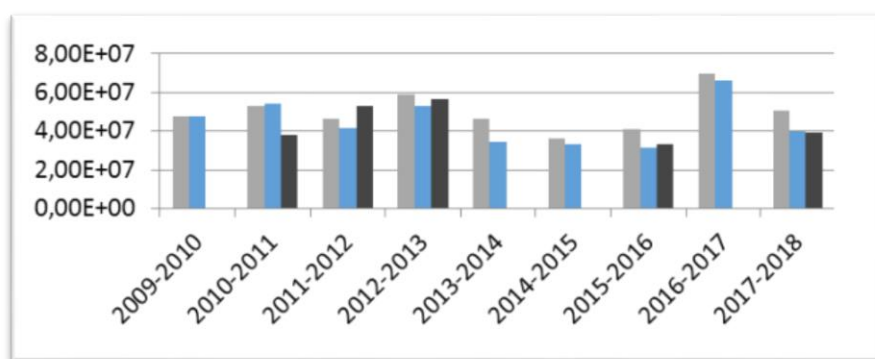


Figure 12 : Energie des houles marines cumulée par saison hivernale pour les 3 stations de mesure de houle du GDL (gris clair Sète, bleu Leucate, gris foncé Espiguette), d'après un travail d'analyse de l'EID sur les bouées houlographes du réseau Candhis (données DREAL-Occitanie)

Ainsi, la période 2015-2017 symbolise un épisode de diminution des largeurs de plage important sur l'ensemble du littoral occitan atteignant jusqu'à -6,6 m/ml en moyenne dans le Narbonnais. Ensuite, il en est de même de la période 2017- 2018 dans les pertes de largeurs de plage, encore plus intenses avec : -9,3 m/ml pour le Narbonnais, -4,6 m/ml pour le Golfe d'Aigues-Mortes et -5,1 m / ml pour le Gard, toutes liées en grande part à la tempête exceptionnelle de l'hiver 2018. Cette tempête d'ampleur décennale a particulièrement impacté les plages plates du Narbonnais dont la variabilité inter-annuelle des largeurs de plage en lien avec les fortes tempêtes semblerait plus important qu'ailleurs.

A une échelle plus fine, on observe des comportements particuliers avec des cellules en forte érosion malgré les aménagements de défenses, et des cellules au contraire en accrétion étonnante, ce que montre la Figure 13 :

La cellule de Canet Port -Têt présente la plus forte perte de plage, avec une perte de -19,9 m²/ ml entre 2009 et 2018. Cette perte est due aussi certainement à la proximité de l'embouchure du fleuve de la Têt, où les sables sont très mouvants. Les secteurs à proximité des embouchures de petits fleuves sont particulièrement impactés par l'érosion car l'apport en sédiments est devenu très faible (Brunel, 2010). Le second secteur ayant perdu le plus de sable entre 2009 et 2018 est la cellule des plages de Vias avec une perte allant jusqu'à -15 m²/ml. Dans ce cas l'érosion est aggravée par la présence d'ouvrage de défense, sur un secteur où les apports en sable sont faibles et le volume disponible limité (Certain, 2002).

A contrario, pour la même période, plusieurs cellules ressortent en accrétion. C'est le cas du Grau d'Agde, où l'on observe une augmentation de près de +15 m²/ml. Les tombolos formés suite à l'implantation de deux nouveaux brise-lames (associée à des rechargements d'entretien de sédiments venant de l'Hérault) ont contribué à modifier le trait de côte (Figure 14), avec un remodelage du prisme sableux et de ces pentes au niveau de la plage émergée et de l'avant-plage.

Etude de l'évolution du trait de côte et des surfaces de plages du Golfe du Lion (1977 -2018)

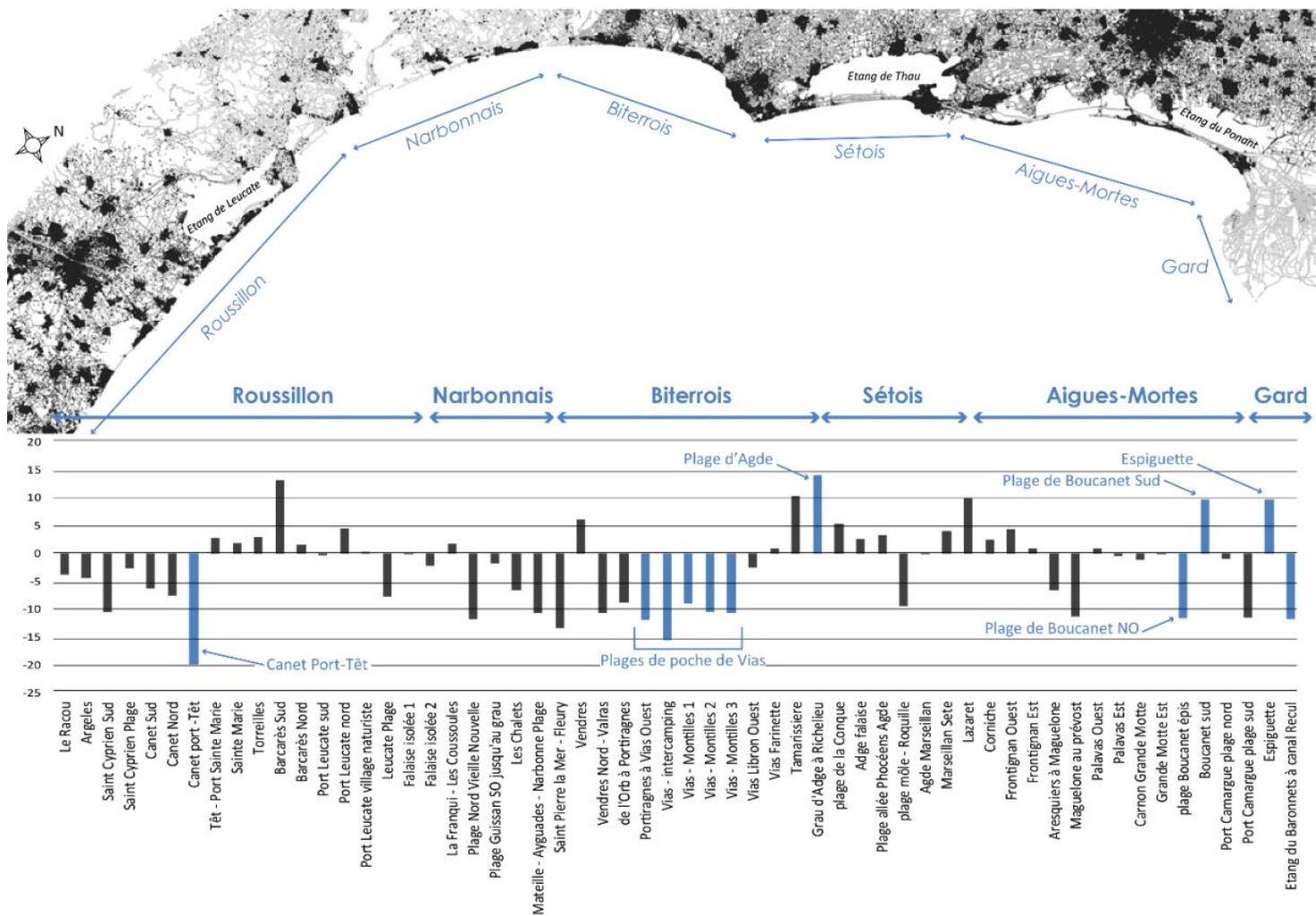


Figure 13 : Evolution en m² / mètre linéaire des cellules hydrosédimentaires du Golfe du Lion entre 2009 et 2018.



Figure 14 : Vue aérienne d'engrèvements directement en mer au niveau de Vias. DRE-LR, 2003.

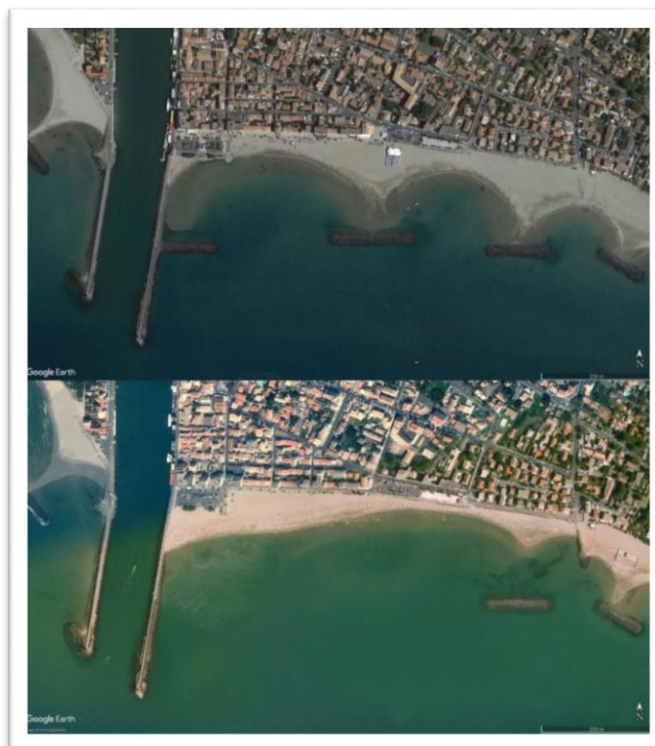


Figure 15 : image satellite du Grau d'Agde, image du bas 25/05/10, image du haut 10/07/18. © Google Earth

Le Barcarès sud dans l'unité du Roussillon est également en accrétion, avec près de $+14 \text{ m}^2/\text{ml}$. Là aussi, des brise-lames ont été installés en mars 2014 et un rechargement en sable (de petite taille) a été effectué. Dans l'unité Sétoise, la petite plage du Lazaret montre une avancée de $\sim +10 \text{ m}^2/\text{ml}$, dû à un rechargement en sable important en janvier 2015 et à la prolongation du Géotube (boudins brise-houles immergés). Enfin, la plage de la pointe de l'Espiguette, quant à elle, continue sa progression historique avec une avancée de $10 \text{ m}^2/\text{ml}$ en moyenne (plus localement) entre la digue d'arrêt des sables et l'étang des Baronnets.

Certains ouvrages de défense ont contribué à maintenir le trait de côte, voire à agrandir la largeur des plages. Cependant les ouvrages de protection ne sont pas toujours efficaces, ils accélèrent parfois le processus d'érosion et, dans de nombreux cas, l'accrétion d'une zone se fait au détriment d'une autre. Le secteur du Boucanet dans le golfe d'Aigues-Mortes en est un bon exemple. **La partie sud de la plage s'engraisse** tandis que la partie nord-ouest s'érode, malgré les 10 épis implantés. La houle d'ouest emporte les sédiments en amont qui se retrouvent bloqués en aval par le Grau d'accès au port, et les houles de sud-est emportent les sables de l'avant-côte vers l'entrée de la passe des Abymes qui s'ensable aussi fortement côté lagune du chenal menant à l'étang du Ponant.

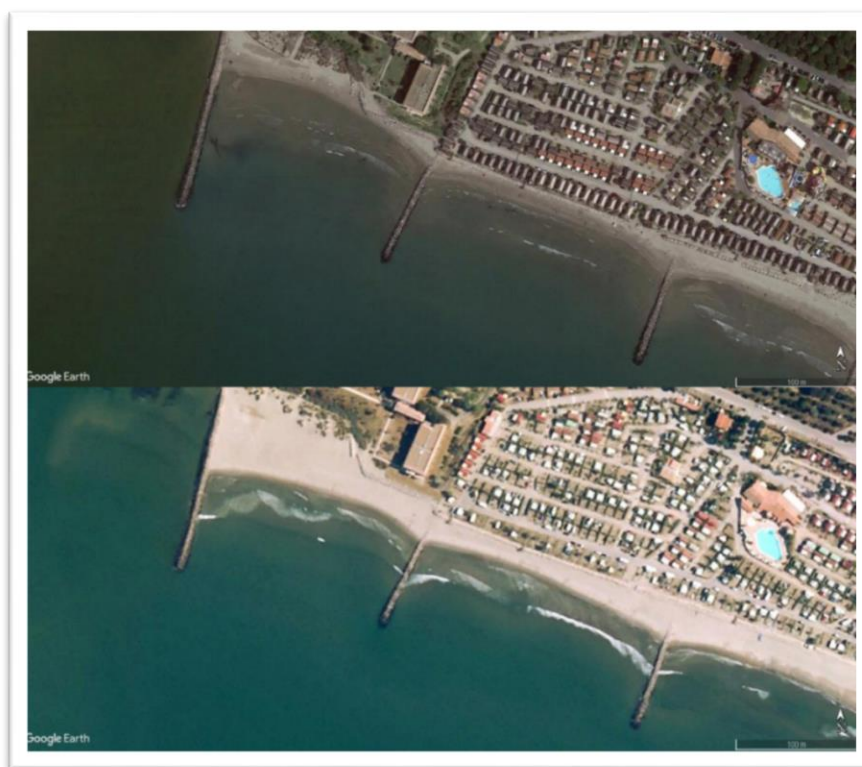


Figure 16 : Image satellite du Boucanet (Grau du Roi), proche de la passe des Abymes, image du bas 31/12/06, image du haut 10/07/18. © Google Earth

V. Analyse de l'évolution du trait de côte entre 1977 et 2018 par cellules sédimentaires

1. D'Argelès-Sur-Mer à l'embouchure de l'Agly (Annexes 1 et 2)

Entre 1997 et 2009 la portion du littoral comprise entre Argelès-Sur-Mer et l'embouchure de La Têt était en relative stabilité. Mais la période 2009-2018 marque une tendance à l'érosion prononcée sur ce secteur, comme c'est le cas pour la cellule de Saint-Cyprien sud qui passe d'un état stable à une érosion de -1,2 m/an. A noter également, la très forte érosion de la cellule comprise entre le port de Canet-en-Roussillon et l'embouchure de la Têt, avec un recul de près de 2,2 m/an. La situation devient préoccupante sur tout le sud-Roussillon, à tel point que la plage du Racou, à Argelès-sur-Mer, fait l'objet d'un projet de relocalisation des activités, des biens et des personnes, initié par la "Stratégie Régionale de Gestion Intégrée du Trait de Côte du Littoral occitan 2018-2050".



Figure 17 : site de Saint-Cyprien Sud en forte érosion ces 10 dernières années (trait rouge = 2009 ; image = Pléiades 2018)



Figure 18 : Plage de la Crouste (entre Canet-Port et la Têt) en forte érosion ces 10 dernières années (trait rouge = 2009 ; image = Pléiades 2018)

A l'inverse, la partie comprise entre La Têt et l'Agly, marquée par l'érosion entre 1977 et 2009, en particulier à cause de l'encoche de creusement aval-dérive du trait de côte après les ouvrages de Sainte-Marie est aujourd'hui en léger regain de vitalité. Le système de « bypass » (transfert sableux mécanique amont-aval) mis en place pour recharger les plages en aval dérive peut expliquer, en partie, le relatif maintien des plages au niveau de Sainte-Marie. A Sainte-Marie, si l'érosion n'est pas

un problème encore définitivement réglé, il est observé que les dégâts en haut de plage à chaque tempête se poursuivent.

2. De Torreilles à Gruissan (Annexes 3 et 4)

Entre 1977 et 2009, de Torreilles au cap Leucate, on observe une alternance entre cellule en accrétion et cellule en érosion, sans pour autant jamais dépasser les +/- 1m/an. La période 2009-2018 marque une amélioration pour cette portion du territoire, expliquée en partie par les rechargements successifs au niveau de Sainte-Marie (le sable migrant ensuite vers le nord) et par le gain de sédiments lié à l'installation d'ouvrage et aux rechargements + bypass au sud-Barcarès.

Au Barcarès, la construction de ces nouveaux brise-lames a déplacé l'encoche d'érosion plus au nord de la zone d'urbanisation sur le front de mer, comme le montre la Figure 19 suivante :



Figure 19 : Plage sud du Barcarès avec l'effet de décalage de l'encoche d'érosion vers le nord (trait rouge = 2009 ; image = Pléiades 2018)

A Leucate, le problème de recul du trait de côte semble toucher surtout la plage du Mouret ces dernières années, en raison du blocage par le grau des Ostréiculteurs :



Figure 20 : Le site de très forte érosion de Leucate-plage et de son site sud du Mouret (trait rouge = 2009 ; image = Pléiades 2018)

De Leucate à Gruissan, les plages de ce secteur sont, inévitablement du fait la zone de convergence des deux dérives littorales une zone favorable à l'engraissement des plages (et possiblement, pour d'autres auteurs, en raison de leur morphologie moins sensible à l'érosion à cause des plages émergées larges, avec des plages sous-marines à faible pente à fort caractère dissipatif... d'après

Durand, 1991). Pourtant, on note une érosion accrue ces dernières années sur ces plages, avec par exemple la cellule de la plage de la Vieille-Nouvelle en érosion forte de -1,3 m/an.

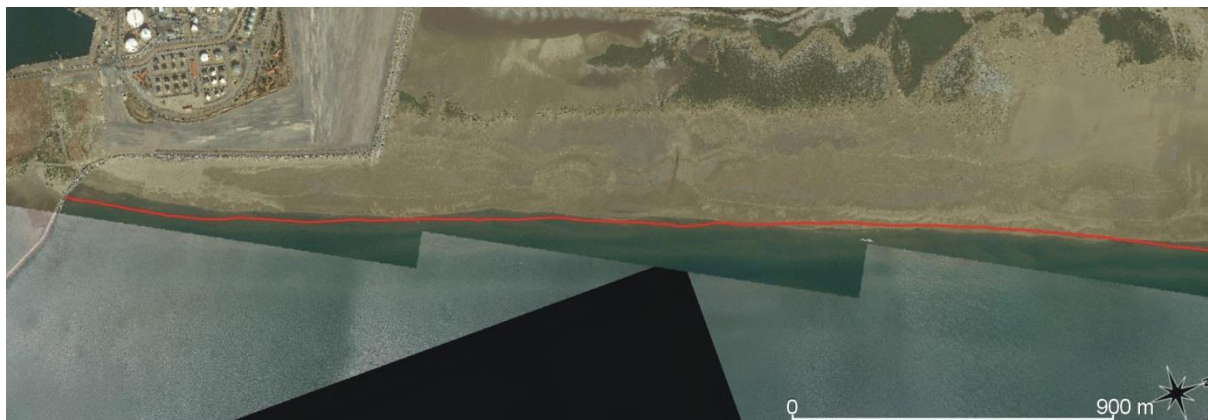


Figure 21 : la zone de forte érosion suite aux tempêtes récentes sur les plages très plates du lido de la Vieille-Nouvelle au nord de Port-la-Nouvelle (trait rouge = 2009 ; image = Google Earth 2018)

Sur ce secteur, ce sont les récentes tempêtes successives qui sont à l'origine des pertes de plage. Le retour "à la normale" de la morphologie de la plage immergée est retardé par la répétition des coups de mer, ce qui rend la plage d'autant plus sensible à l'érosion si un nouvel épisode tempétueux venait à se déclarer (Certain, 2002). Ce littoral historiquement moins sensible à l'érosion, pourrait être gravement impacté si les tempêtes deviennent plus fréquentes. Cependant, nos observations de terrain ont montré un retour du sable sur le secteur, non pas sous forme d'une avancée très nette du trait de côte, mais plutôt sous la forme de la construction d'une grande dune éolienne en bord de plage sur tout le linéaire sableux entre Gruissan et Port-la-Nouvelle. Cette dune témoigne sans aucun doute d'un retour du sable sur la plage émergée depuis la zone sous-marine.



Figure 22 : nouvelle dune de dépôt sableux en haut de la zone de jet de rive, certainement témoin du retour du sable depuis la zone sous-marine quelques années après la tempête de mars 2018, sable ensuite repris et remodelé par le vent (© photographie EID, 2020)

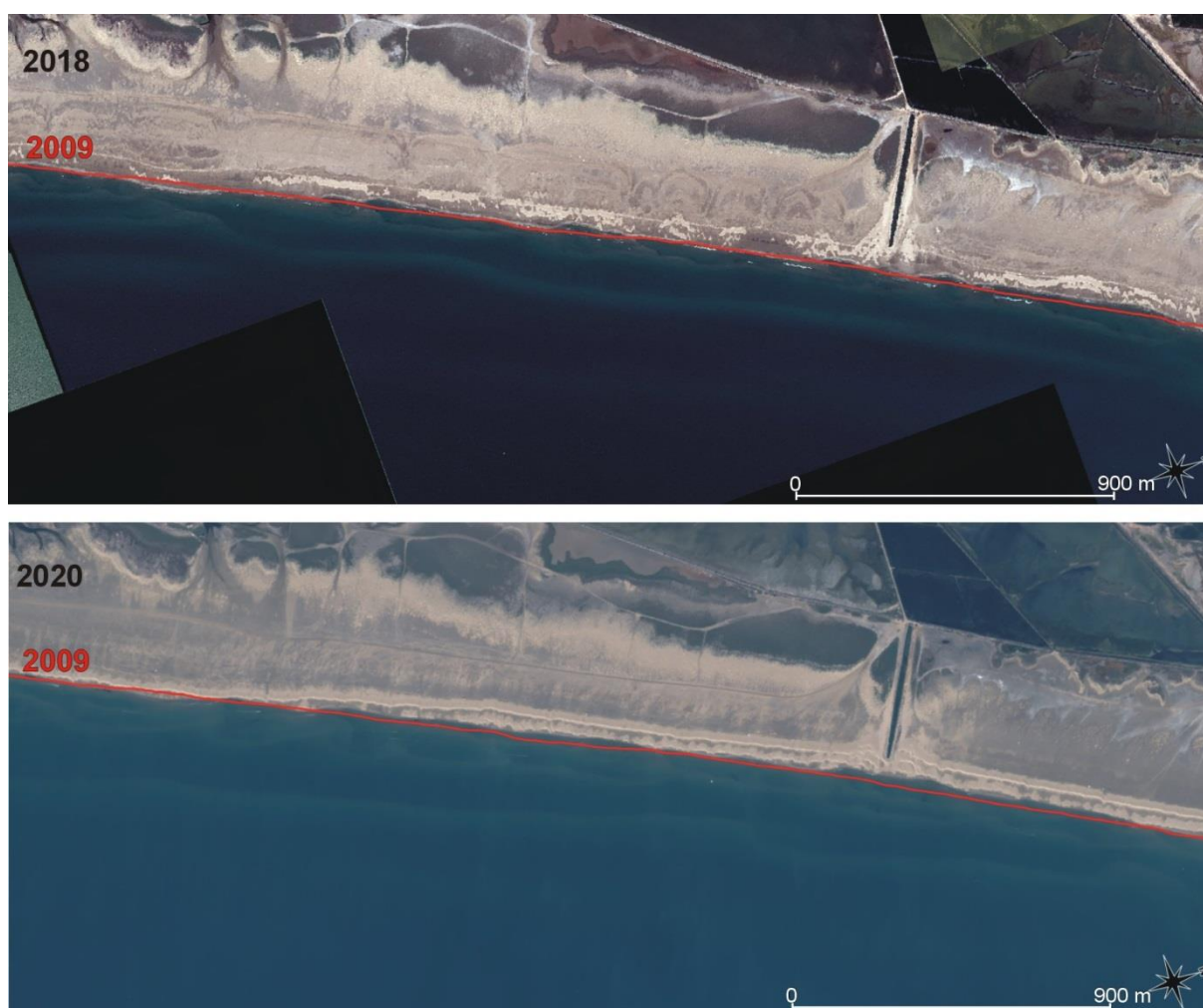


Figure 23 : comparaison du trait de côte de 2009 sur la grande plage de Gruissan (lido naturel) avec les ortho- images de 2018 et une toute nouvelle image Pléiades de septembre 2020 où apparait le cordon continue de sable près du trait de côte (dune éolienne)

L'érosion des grandes plages de l'Aude semble un phénomène nouveau qu'il serait intéressant de suivre à l'avenir et dans les prochaines études.

3. De Gruissan à Agde (Annexes 5 et 6)

Sur ce littoral, les graus des fleuves endigués (digues de musoirs) et les ouvrages de défense perturbent fortement la dynamique sédimentaire, en agissant comme des barrières. C'est notamment le cas au niveau des embouchures de l'Aude, de l'Orb, et du Libron. Le sable vient se piéger contre le grau dans son transport longitudinal, créant une zone d'accrétion en amont dérive des ouvrages et une érosion en aval dérive des ouvrages.

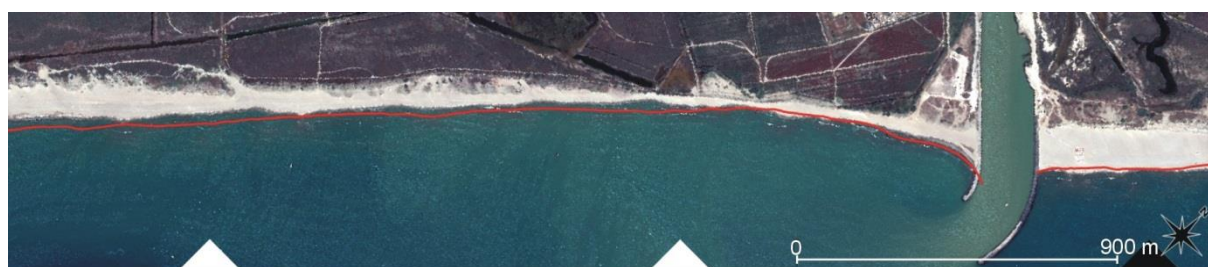


Figure 24 : illustration de l'érosion à Fleury d'Aude, en aval-dérive des digues d'embouchures de l'Aude qui bloquent le sable, notons que la zone au nord-est de Vendres contre la digue est plus stable car placée en aval-dérive (trait rouge = 2009 ; image = Pléiades 2018)

On constate, en ce sens, une accrétion moyenne de 0,3 m/an en amont dérive de l'Orb et une érosion de -1 m/an en aval dérive pour la période 1977-2009. Le même schéma s'opère entre 2009 et 2018, mais avec une accélération des cellules déjà en érosion et une mise en érosion des cellules anciennement en accrétion (Figure 25). On constate une érosion de -1 m/an en amont dérive de l'Orb et une érosion de -1,2 m/an en aval dérive sur la période 2009-2018. Il est possible que l'accrétion moyenne constatée entre 2009 et 2018 de la cellule à l'Est de l'Aude (carte Annexe 6 ; Figure 24) provienne de l'érosion forte de la zone des travaux de 2008-2009 à l'ouest de Valras.

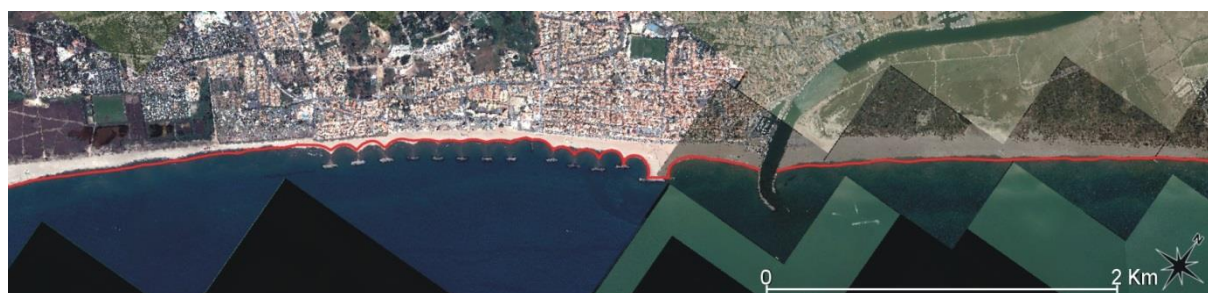


Figure 25 : illustration de l'érosion s'accroissant à Vendres-Plage en aval-dérive des brise-lames de Valras-Plage (n.b. : trait rouge = 2009 ; image = Pléiades et Google Earth 2018), et également du recul étonnant du trait de côte en amont-dérive de l'Orb aux Orpellières (lié davantage à un remodelage vers le haut du profil de plage émergé d'après diverses études de l'EID).

Cette situation pourrait être passagère entre l'Aude et Leucate où les mouvements du trait de côte sont très importants avec les tempêtes dû à la morphologie des plages plates. En revanche, dans l'ouest de l'Hérault, il paraît peu probable que les tendances s'inversent.

Zoom avec DSAS sur le littoral de Gruissan et de saint-Pierre-La-Mer (Annexe 11)

On l'a constaté plus haut, le sud narbonnais (au sud des embouchures) a subi entre 2015 et 2018 les pertes de plage les plus importantes dans la région. Cette observation est confirmée sur le site voisin dans la cartographie DSAS qui met en évidence sur la période 2009-2018 une forte érosion du littoral entre Gruissan et l'embouchure de l'Aude. Cette érosion généralisée est principalement liée à la tempête de l'hiver exceptionnel de 2018, mais il s'avère que le recul est progressif depuis 2015 avec une accélération notable en 2017. On en déduit donc que l'intensification des houles marines depuis 2015 tend à rendre ce secteur de larges plages sableuses particulièrement sensible à l'érosion.

Plus au nord-est, les nombreux ouvrages de défense des communes de Vias-Est et Agde piègent les sédiments, ce qui a pour conséquence de réduire considérablement la taille des plages de l'ouest. Par conséquent, les opérations récentes de rechargement de Vias-ouest (90 000 m³ en 2015), tout comme celles de Vendres (80 000 m³ en 2008-2009) semblent vite dépassées par les processus naturellement à l'œuvre :



Figure 26 : illustration zoomée de l'encoche d'érosion de Vendres au nord-est après les brise-lames de Valras (trait rouge = 2009 ; image = Pléiades 2018)

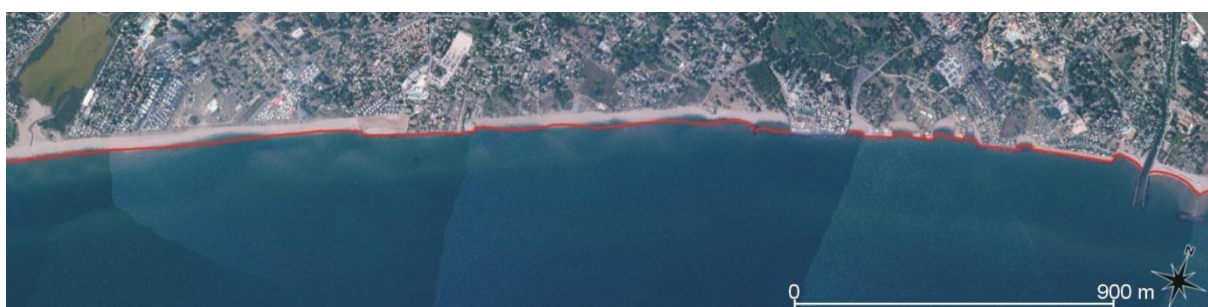


Figure 27 : illustration zoomée de l'encoche d'érosion de Vias-ouest après les brise-lames de Farinette (Vias-est) (trait rouge = 2009 ; image = Pléiades 2018)

Les cellules autour du fleuve Hérault (Farinette, Tamarissière, les plages du Cap d'Agde du Grau d'Agde à Richelieu) sont globalement préservées sur la période 1977-2018, en réponse toutefois à l'aménagement important du littoral et aux rechargements en sable. Autour du cap d'Agde, les cellules sont en accrétion sur toute la période 1977-2009, là aussi en raison de nombreux brise-lames et épis implantés sur ce secteur. Cette tendance à « l'accrétion », du moins à une avancée du trait de côte, s'accélère ces dernières années grâce à la construction de nouveaux ouvrages et aux rechargements ponctuels, comme au grau d'Agde (construits de janvier à avril 2013). On note en conséquence une très forte avancée du trait de côte de toute la cellule comprise entre le port du Cap d'Agde et l'embouchure de l'Hérault (qui comprend 18 brise-lames sur 5 km de côte), avec une progression de +1,6 m/an.



Figure 28 : illustration du phénomène de dépôt à Agde lié en grande partie aux aménagements du Grau d'Agde à l'Est de l'embouchure (trait rouge = 2009 ; image = Pléiades 2018)

L'évolution du littoral agathois est donc conditionnée par les nombreux aménagements anthropiques. L'engraissement de quelques plages, acquis grâce à l'implantation massive d'épis et de brise-lames, se fait indéniablement au dépend du dépérissement de plusieurs autres, notamment les plages qui se trouvent en aval-dérive comme celles de Vias.

4. D'Agde à Frontignan (Annexes 7 et 8)



Figure 29 : stabilité du trait de côte de la zone d'érosion forte au NE du Lido de Sète obtenue ces dix dernières années grâce à un recul stratégique, un géotube immergé et des rechargements importants (trait bleu = 1977 ; rouge = 2009 ; fond image IGN ortho-express de 2018)

Concernant le lido de Sète à Marseillan, cinq brise-lames ont été construits près de la ville entre 1981 et 1993. Un programme de sauvegarde et de réhabilitation a été lancé en octobre 2007, et

Octobre 2020

terminé fin 2014, comprenant la relocalisation de la route littorale (2007 à 2010) plus dans les terres, un rechargement important en sable au nord, et l'expérimentation d'ouvrages atténuateur de houle immergés (2014) et de drainage de la plage. Au total, 55 millions d'euros ont été investis et 540 000 m³ ont été injectés entre Sète et le château de Villeroy. Le résultat sur la cartographie de 2009-2018 est une cellule en accrétion de 0,5 m/an contre -0,5 m/an sur la période 1977-2009. Cette évolution est clairement due aux aménagements importants réalisés sur le secteur et à la réhabilitation d'une plage et d'un cordon dunaire plus naturel. A contrario, il est à relever que la cellule plus au sud de Marseillan, avant les plages rocheuses, est marquée par un passage en érosion de -1,1 m/an.

Pour la partie urbanisée de Fontignan-plage, avec les nombreux épis et brise-lames de part et d'autre du port, l'accrétion liée à la dérive (depuis les Aresquiers) se poursuit mais elle ralentit distinctement. Toutefois cette accrétion se fait au détriment de la partie Est de la cellule située près de la dent creuse aux Aresquiers (Figure 30 ; information non visible sur la carte des surfaces de plage) :

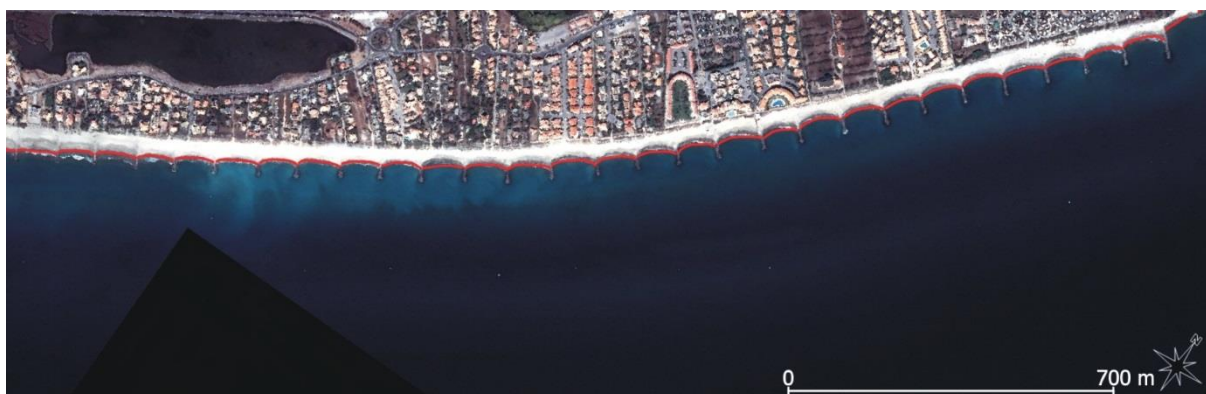


Figure 30 : secteur en érosion à l'ouest de la dent creuse des Aresquiers et au début de Fontignan-plage (à droite de l'image ; trait rouge = 2009 ; image = Pléiades 2018)

Sur la portion naturelle de Vic / Aresquiers, on note un maintien de l'érosion en place (-0,7 m / an). Toutefois, il faut signaler sur l'ouest de la cellule, face au pont de Vic-la-Gardiole, un rechargement important de 200 000 m³ de sable début 2015 et la création de 3 nouveaux épis dégressifs (de plus en plus court dans le sens de la dérive sur leur longueur en mer) et d'un nouveau cordon de galets en haut de plage. Ce rechargement a donc tout juste pu contenir l'accélération des phénomènes érosifs.

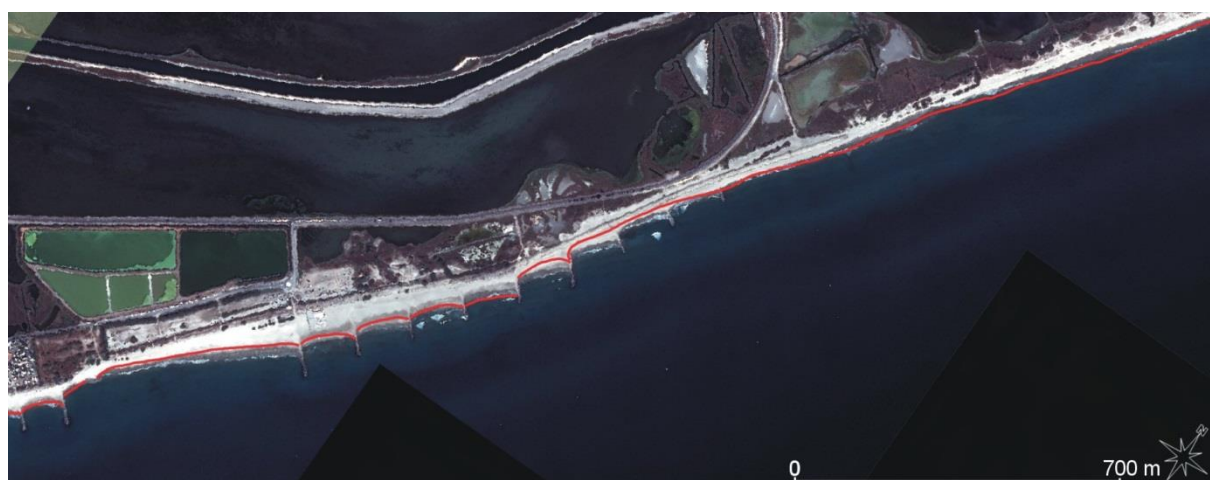


Figure 31 : secteur en érosion de la dent creuse des Aresquiers et face au pont de Vic (trait rouge = 2009 ; image = Pléiades 2018)

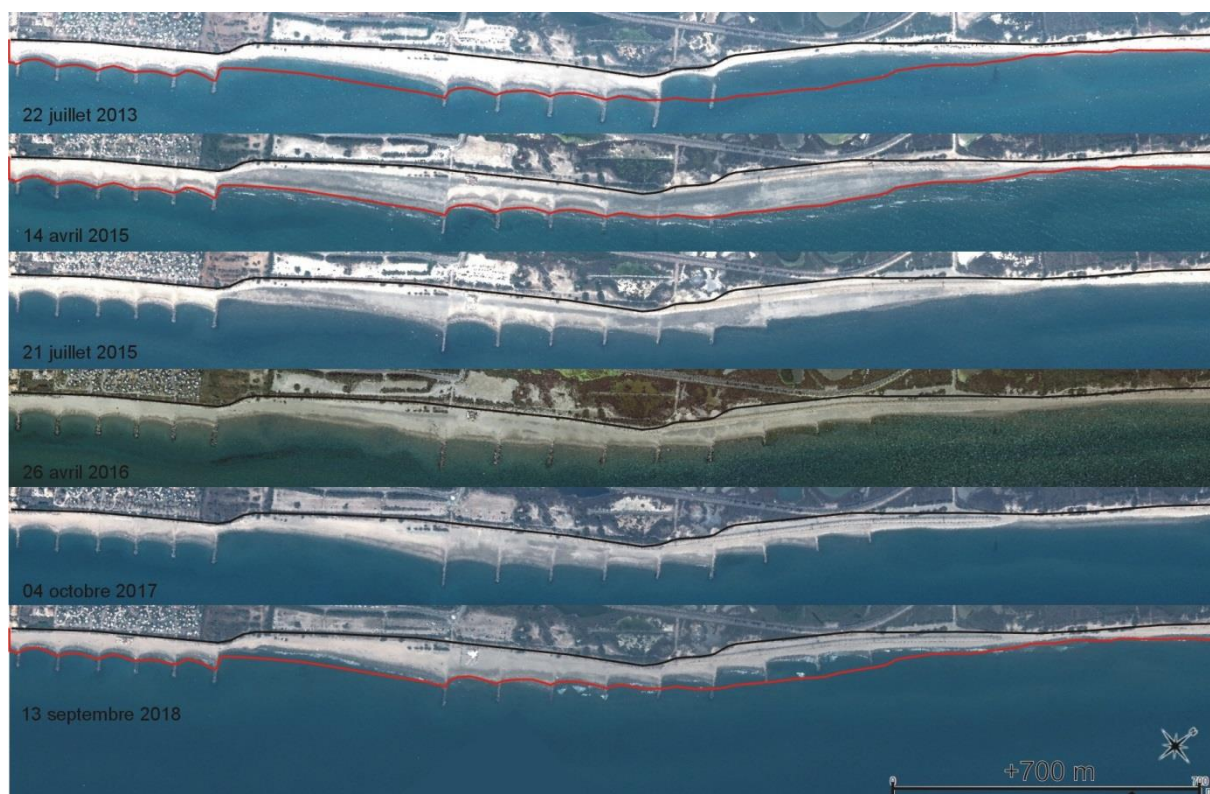


Figure 32 : évolution chronologique haute fréquence sur image satellites et aériennes du rechargement de plage des Aresquiers de 2015 et des suites de la mise en place des épis dégressifs (étude EID-Méd., 2019). Attention, la ligne rouge correspond ici au trait de côte d'avril 2015, juste après le rechargement.

Zoom avec DSAS sur le lido des Aresquiers (Annexe 13)

Le littoral de Frontignan plage a été aménagé par un tronçon d'épis dans les années 70-80, ce qui a entraîné une érosion vers l'est, dans le sens de la dérive, menaçant la route départementale face au pont. En 2015, un nouveau tronçon de 3 épis dégressifs est ajouté dans la continuité du précédent...

« C'est en voulant protéger les biens et les activités humaines que le secteur "naturel" des Aresquiers est aujourd'hui menacé ».

Une étude récente a mis en évidence que depuis 1895, 164 hectares de plage ont disparu sur tout le cordon littoral des 18 km séparant Sète de Palavas-Les-Flots, confirmant la fragilisation progressive du cordon littoral. En moyenne, la plage a reculé de 90 m en 123 ans. (EID & Conservatoire du littoral, 2019).

5. De Maguelone au Canal du Recul (Annexes 9 et 10)

Au sud-ouest de Palavas, la tendance est à l'accélération du phénomène érosif avec une cellule passant de -0,6 m/an à -1,3 m/an, ce qui justifie les nombreuses destructions par la mer de la dune entre la cathédrale et le grau du Prévost observées ces dernières années à chaque tempête importante.

Entre 1977 et 2009, on observe une relative stabilité des plages du fond du golfe d'Aigues-Mortes, liée à l'opération de rechargement (2007- 2008) de plus de 1 million de m³ de sable entre Palavas et le Boucanet et à l'implantation plus ancienne de batteries d'ouvrages de défense (entre les années 1977 et 2000). Sur la même période, la « flèche de l'Espiguette », du moins toute la plage de l'Espiguette au sud de la grande digue d'arrêt, est en très forte accrétion (+7,6 m/an).

Actuellement, entre 2009 et 2018, les chiffres changent peu dans l'ensemble sur les plages urbaines, avec toutefois une tendance vers davantage d'érosion à Palavas, et moins de dépôt à Carnon. Les modifications du trait de côte sont surtout liées à des phénomènes locaux liés au blocage de la dérive par les épis entre le Carnon et le lido du Travers (Figure 33). En effet, la cellule entre Carnon et la Grande-Motte est particulièrement large, ce qui a pour conséquence de masquer l'érosion accrue au niveau du secteur du petit travers, en aval dérive des derniers ouvrages de défense, et du dépôt de sable contre la digue de la Grande-Motte à l'autre bout de la cellule.



Figure 33 : encoche d'érosion du Petit Travers lié au blocage du sable par les ouvrages dans le sens de la dérive (trait rouge = 2009 ; images fond de carte = Google Earth 2018)

Si l'on compare ces deux périodes entre Palavas et le Grau du Roi, on observe une diminution des largeurs de plage avec une disparition de l'effet bénéfique du rechargement. D'après différentes études menées (EID Méditerranée, 2018 ; CEFREM, 2019), il y aurait eu dès la première année une perte massive de ce sable rechargé sur la plage de l'ordre des trois quarts du volume. Ce sable n'a pas été réellement perdu car il se retrouve pour l'essentiel sur la partie immergée des barres d'avant-côte (entre 0 et - 6 mètres). Les suivis réalisés ensuite par la DREAL montrent une dynamique importante de ce volume sableux et des échanges avec le large au-delà des systèmes des barres : certaines années le sable revient sur les barres, d'autres années, il sort de la zone de détection des bathymétries (au-delà de -6 mètres). Ce phénomène est dû à la granulométrie trop fine du sable utilisé, matériel venant au départ de la flèche sous-marine de l'Espiguette. Cette faible taille des grains entraîne un transfert transversal du sable vers l'avant-côte où il trouve sa position d'équilibre. Ce sable sert aujourd'hui à dissiper de manière plus efficace les vagues avant qu'elles n'atteignent la plage.

Zoom avec DSAS sur le lido de Manguio-Carnon (Annexe 14)

Ce littoral présente une réaction similaire au lido des Aresquiers, avec une zone balnéaire urbanisée à l'ouest (Carnon), et une zone portuaire urbanisée à l'est (La Grande-Motte), séparées par une longue plage rectiligne. Ce secteur a fait l'objet de plusieurs projets d'aménagements accompagnés d'une accentuation du phénomène érosif à chaque phase de complément de batteries d'épis par effet dominos. Ce phénomène d'encoche d'érosion en aval dérive est logique du fait des épis, il est également la marque de la force de la dérive littorale. Le secteur oscille entre érosion forte à l'ouest et accrétion forte à l'est contre la digue du port de La Grande-Motte poussée par la dérive littorale.

Le rechargement massif du golfe d'Aigues Mortes en 2008 aura été, dans l'ensemble, une solution de ralentissement des phénomènes de pertes sableuses sur le moyen terme, en fonction des secteurs, et la possible implantation d'épis dégressifs en bout du secteur aménagé du Petit-Travers (dossier en instruction) ne ferait que déplacer le problème. Dans une vision long-terme sans apport externes, le stock général de sédiment va décroître inévitablement avec le temps (sable qui sortirait au-delà de la zone de dissipation des vagues qu'il s'agira de continuer à étudier ; CEFREM, 2019).

On constate également un ralentissement important du dépôt contre la digue d'arrêt des sables de l'Espiguette. L'avancée de la plage est quasiment 7 fois moins importante sur la période récente, mais sans aucun doute la conséquence du contournement du sable de la digue vers le nouveau banc de sable (flèche sableuse) qui ne cesse de s'accroître en avançant vers le nord et en gagnant sur la mer. D'autre part, le site de Port Camargue « Plage sud », de l'autre côté de la digue d'arrêt des sables, est intéressant car il semblerait que le recul de la plage soit lié à la progression de la flèche sableuse de l'Espiguette. La barre sableuse émergente crée un effet barrière pour les houles et modifie la forme du profil de plage, et en conséquence la position du trait de côte (figure 9).



Figure 9 : Image satellite de la plage sud de port Camargue, image à gauche 25/11/11, image à droite 22/04/18. Google earth.

Enfin, sur la cellule à l'Est de l'Espiguette entre les baronnets et la Capelude (et la prise d'eau du « canal de Recul), on observe une vitesse d'érosion divisée par deux, expliquée par l'aménagement de très nombreux épis sur le linéaire côtier entre 1975 et 1997. Ces épis, se sont construits d'est en ouest pour faire face aux phénomènes d'érosion. Aujourd'hui, ils semblent jouer en partie leur rôle de « griffe à sable », malgré l'érosion très critique sur le secteur aval-dérive du Baronnet. On ne dénombre pas moins de 126 épis alignés aujourd'hui entre Saintes-Maries-de-la-Mer et le début de la flèche de l'Espiguette.

Zoom avec DSAS sur le massif dunaire de l'Espiguette et le point d'érosion (Annexe 12)

Suite à l'implantation d'une digue d'arrêt des sables en 1977, la flèche s'engraisse rapidement et de manière conséquente, agrandissant ainsi la dune de l'Espiguette. Plus en amont, de nombreux épis sont installés pour protéger les marais salants. Ces aménagements entraînent aujourd'hui le déplacement du point d'inflexion, point de bascule entre la zone d'accrétion et la zone d'érosion plus à l'est, en direction de l'Ouest, augmentant le linéaire du secteur Est en érosion (entre le dernier épi et le bourrelet dunaire de l'Espiguette). Sur cette zone d'érosion, on note face à l'étang des Baronnets **un recul record de -7,8 m / an entre 2009 et 2018** pour la zone la plus touchée. Couplé au ralentissement de l'accrétion de la dune et à l'ouverture de plusieurs zones de brèches, ce secteur pourrait, à terme, être menacé par les eaux, ou plus précisément, menacé par des mises en eau régulière des zones humides rétro-cordon par les submersions lors des tempêtes.

Cette nouvelle cartographie met en lumière les grandes disparités de profils de plage que l'on peut retrouver à l'intérieur d'une même cellule. On peut ainsi affirmer que les secteurs en aval dérivés des derniers ouvrages de défense sont particulièrement impactés par l'érosion et que les solutions actuelles de gestion ne semblent que peu efficaces face au déficit général en sable qui paraît inévitable.

VI. Conclusion de l'étude

L'analyse des largeurs de plage du Golfe du Lion sur 40 ans a fait ressortir les tendances d'évolutions récentes, par rapport aux évolutions des décennies passées. Depuis 2009 on observe un ralentissement des apports sableux (renouvellement des stocks par des apports latéraux ou au niveau des embouchures) entraînant une accentuation du phénomène érosif. L'étude de certains secteurs par l'extension DSAS confirme cette tendance, et met surtout en lumière l'impact parfois fortement néfaste des ouvrages de défense sur la dynamique sédimentaire, avec des impacts collatéraux forts de la zone directement défendue. A partir de l'analyse cartographique, et les différentes images aériennes présentées au fil de ce rapport, il peut être établi qu'un transfert de sédiments s'organise entre des cellules en érosion et des cellules en accrétion.

L'érosion est donc un phénomène qui tend à se généraliser sur l'ensemble des plages sableuses du littoral occitan. Là où l'érosion existait déjà, elle prend de l'ampleur, les secteurs historiquement stables connaissent aujourd'hui le phénomène inverse et même la flèche de l'Espiguette ne progresse plus aussi rapidement (mais dans ce cas, une part est liée à l'édification du banc sableux devant « plage sud » et la sortie du port de Port-Camargue).

Globalement, la période 2015-2018 est marquée par une accentuation de l'érosion sur l'ensemble des unités littorales, dû principalement à la répétition et à la force des tempêtes. Ces hivers énergétiques entraînent une modification de l'équilibre morphologique de plage ainsi qu'une récupération plus longue du système, du fait de la répétition des coups de mer. De plus, sur la côte Méditerranéenne, les processus étant moins énergétiques, le système mettrait plus de temps à récupérer des grosses tempêtes (Certain, 2002). Enfin, à travers l'analyse par cellule hydrosédimentaire, on note que tous les types de littoraux sont concernés par l'érosion : côte à lido,

plage de poche, plage avec ou sans ouvrage de défense. Bien-sûr, le suivi du littoral doit se poursuivre sur une plus longue période pour confirmer le diagnostic de l'érosion en progression sur le long terme et mieux appréhender le rôle des tempêtes.

Ce travail d'actualisation des mouvements du trait de côte montre la part importante du forçage hydrodynamique ainsi que le rôle des aménagements en mer dans les modifications du trait de côte à moyen et à court terme du Golfe du Lion.

Au vu des prévisions futures sur le climat, l'érosion présente un risque croissant qu'il conviendrait de mieux prendre en considération. En effet, au travers du prisme des Plans de Prévention des Risques (PPR) des territoires emblématiques par leur exposition au recul du trait de côte, on constate une non-réactualisation de ces PPR depuis des années (par exemple le PPR érosion de Lacanau date de 2001). Par ailleurs, suite à la tempête Xynthia (2010), le gouvernement avait prescrit 303 PPR prioritaires sur le territoire, or en 2020 seuls 60 % d'entre eux ont été approuvés. Bien-sûr ces chiffres peuvent être nuancés par région, en Occitanie, 80% des PPR littoraux identifiés prioritaires en 2010 ont été approuvés entre 2010 et 2017. Néanmoins les PPRI non prioritaires, prenant en compte la submersion marine, doivent encore être mis à jour car ils sont incompatibles avec les mesures de 2010. En Occitanie, l'aléa érosion est étudié sur les PPRL/I depuis 2010, en revanche il n'est pas forcément traduit dans le zonage de délimitation de l'action dynamique des vagues si l'évolution aléa 2100 y est incluse.

Concernant les PPRL, on remarque tout de même un changement de mode d'administration de l'Etat lorsqu'il propose de ne plus considérer l'érosion comme un risque naturel mais comme un phénomène naturel et graduel prévisible, qu'il propose de rebaptiser dynamique littorale (Buchou, 2019).

VII. Bibliographie

Balouin, Y. Longueville, F. Colombet Y. 2015. Video monitoring of soft coastal defenses at the lido of Sète, France. Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime.

Bolandard, J. 2018. Etude de la dynamique sédimentaire du littoral héraultais depuis les années 2000. Mémoire de M1 Sciences de l'eau. Eid Méditerranée.

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. Géomorphologie. Université de Provence – Aix Marseille.

Buchou, S. 2019. Quel littoral pour demain ? Vers un nouvel aménagement des territoires côtiers adapté au changement climatique.

CEFREM 2019. Evolution du rechargement massif des plages du Golfe d'Aigues-Mortes (2008-2018). AXE 3 – Contrat d'étude PAUL (Pertes AU Large) avec la DREAL-Occitanie.

Certain, R. 2002. Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barres : Le Golfe du Lion (Languedoc-Roussillon). Université de Perpignan. Océanologie-Géologie.

Cousin, A. 2011. Propositions pour une stratégie nationale de gestion du trait de côte, du recul stratégique et de la défense contre la mer, partagée entre l'Etat et les collectivités territoriales. 61p.

DREAL. 2018. Stratégie Régionale de Gestion Intégrée du Trait de Côte. Littoral Occitanie 2018 – 2050.

Durand, P. 1998. Cinématique d'un littoral sableux à partir de photographies aériennes et de cartes topographiques. Exemple du littoral d'Arglès-Plage à Saint-Cyprien (Roussillon, France).

Durand, P. 1999. L'évolution des plages de l'ouest du Golfe du Lion au XXeme siècle. Cinématique du trait de côte, dynamique sédimentaire, analyse prévisionnelle. Lyon 2.

EID Méditerranée. 2018. Accompagnement du Conservatoire du littoral dans la gestion des sites du Petit et du Grand Travers.

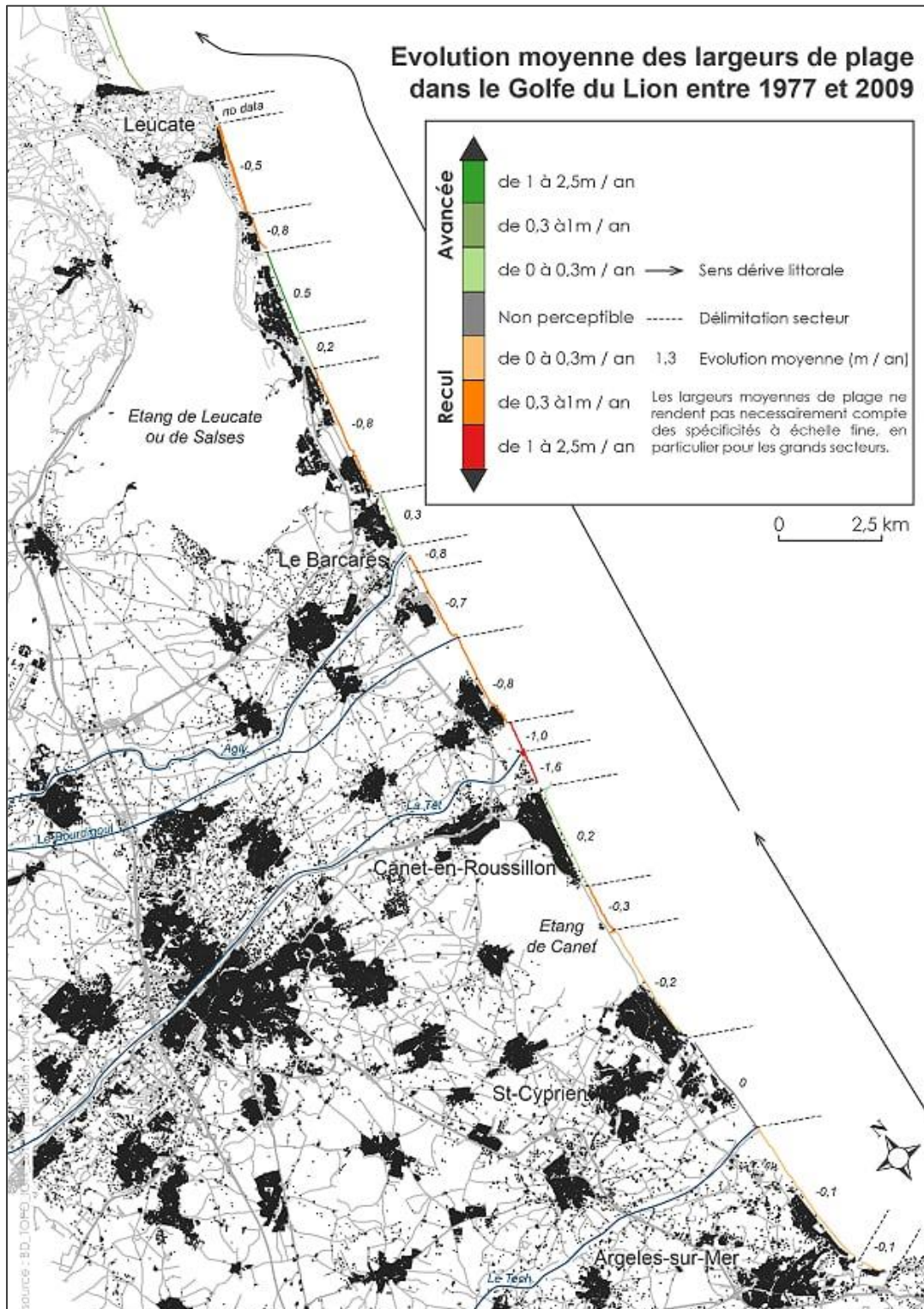
EID Méditerranée. 2019. Accompagnement du Conservatoire du littoral dans la gestion du site du lido naturel des Aresquiers et de Maguelone.

Faye, I. Giraudet, E. Gourmelon F. Henaff A. 2011. Cartographie normalisée de l'évolution du trait de côte. Letg UMR 6554 CNRS. Institut Universitaire Européen de la Mer. UBO.

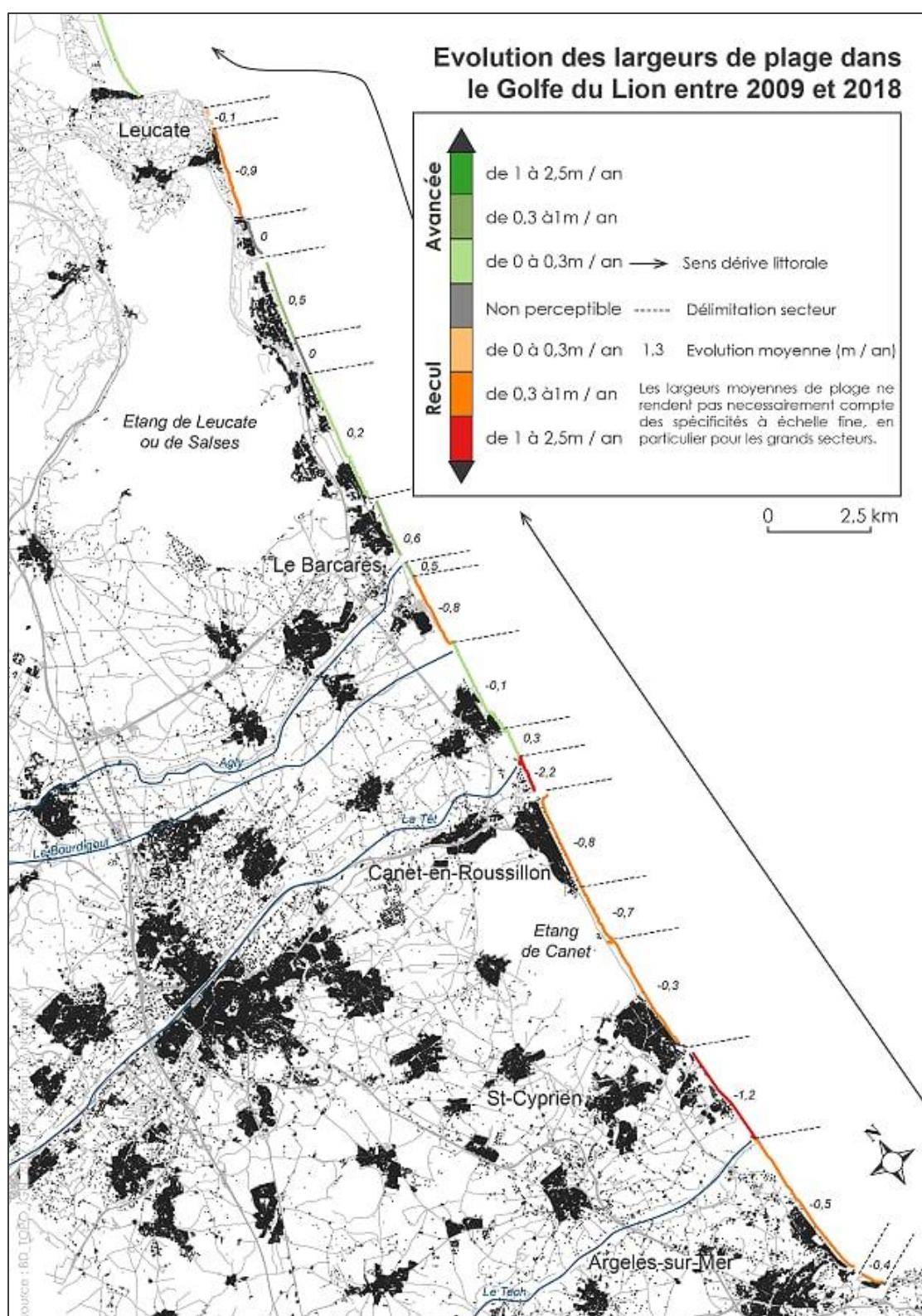
Larue, J-P. Bouabdallah, M. Etienne, R. 2009. Un littoral sableux en progradation : le lido entre Leucate et Port-la-Nouvelle (Aude, Golfe du Lion, France).

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. CEREGE UMR 7073. Dreal LR

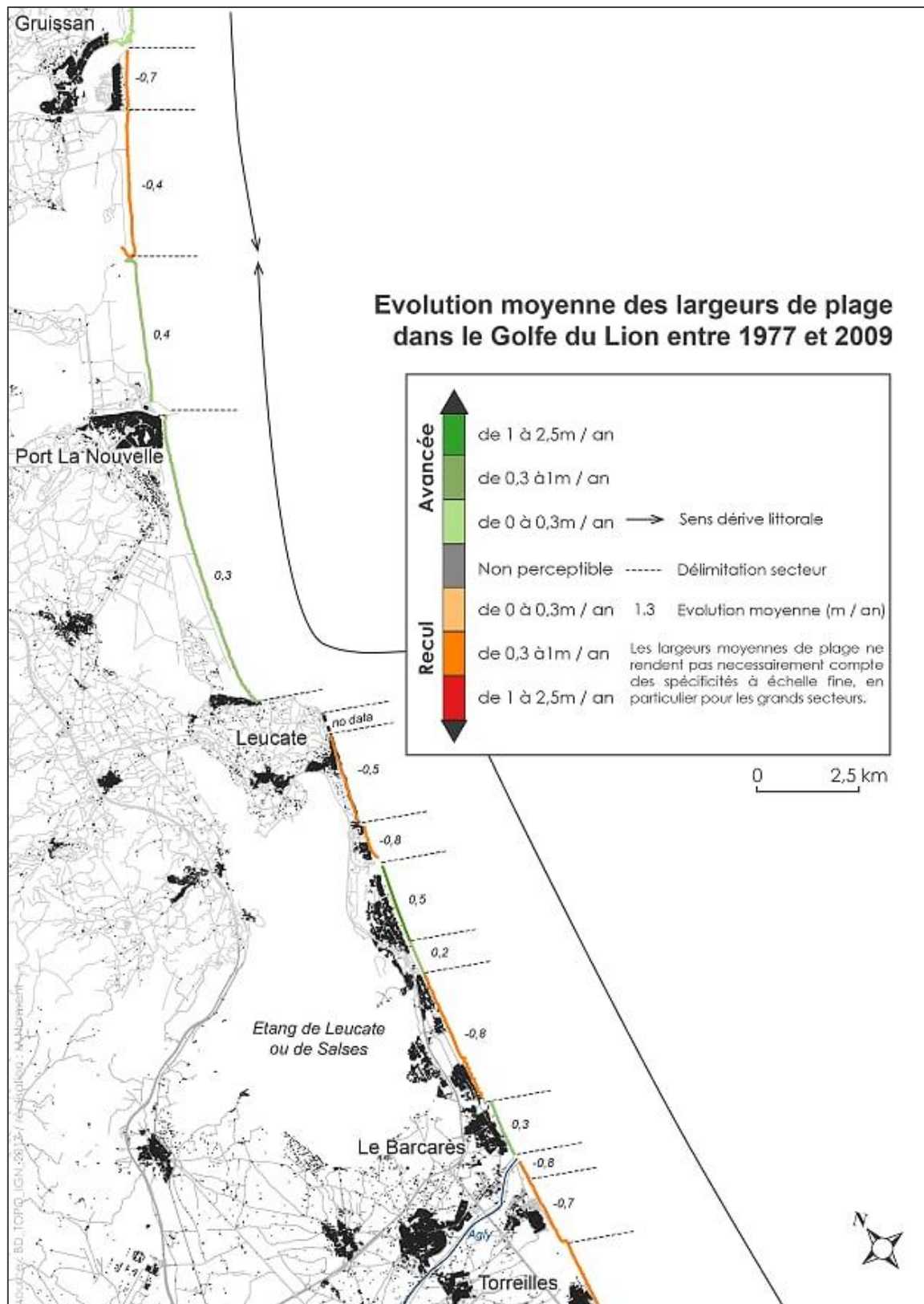
Sabatier, F. Hanot, B. 2012. Les variations du rivage du Languedoc-Roussillon. Les variations du rivage du Roussillon à haute fréquence spatio-temporelle (1895 et 2011). CEREGE UMR 7073. Dreal LR

VIII. Annexes

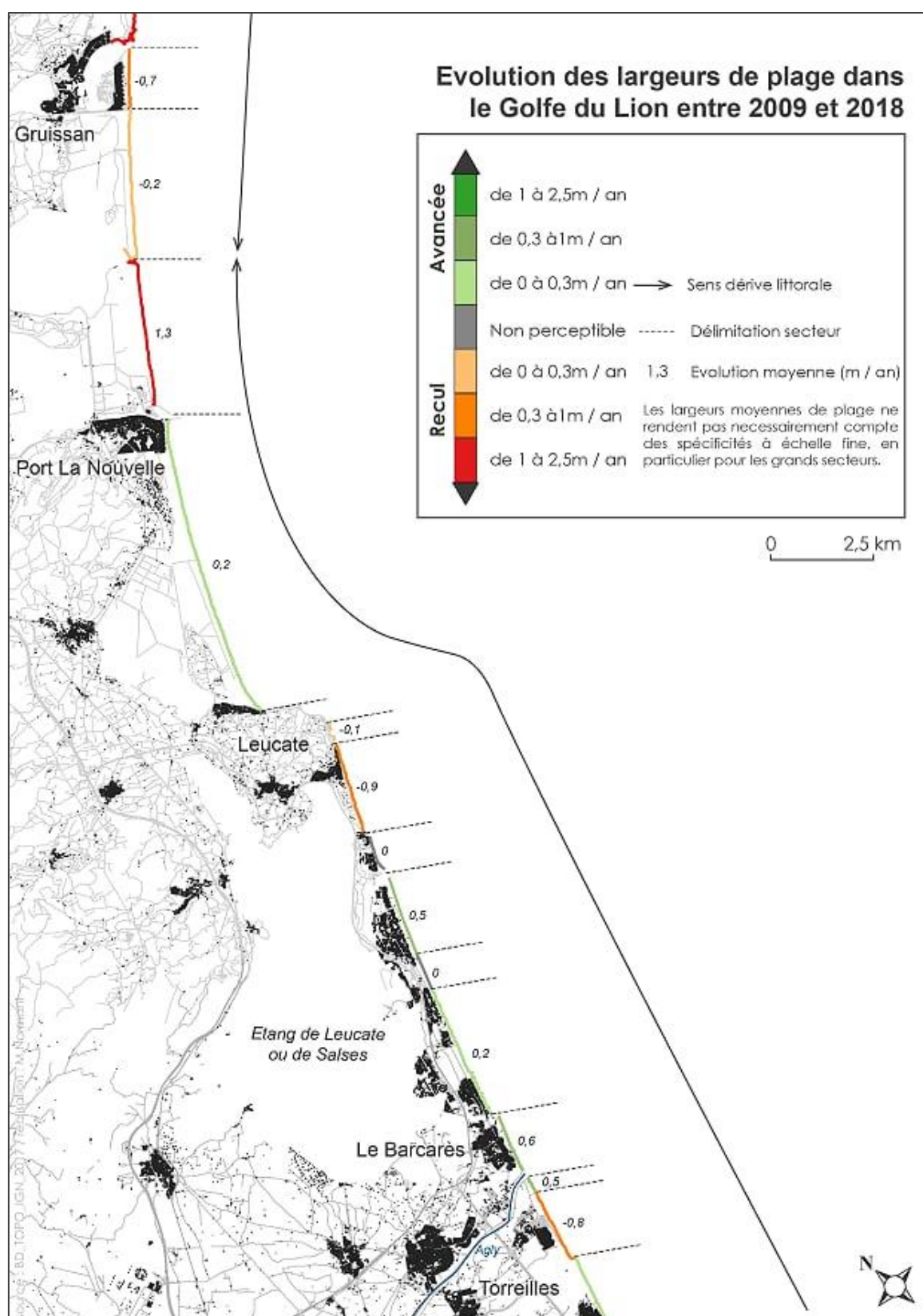
Annexe 1 : Evolution moyenne du trait de côte dans le Golfe du Lion entre 1977 et 2009 d'Argelès-sur-Mer au Tech



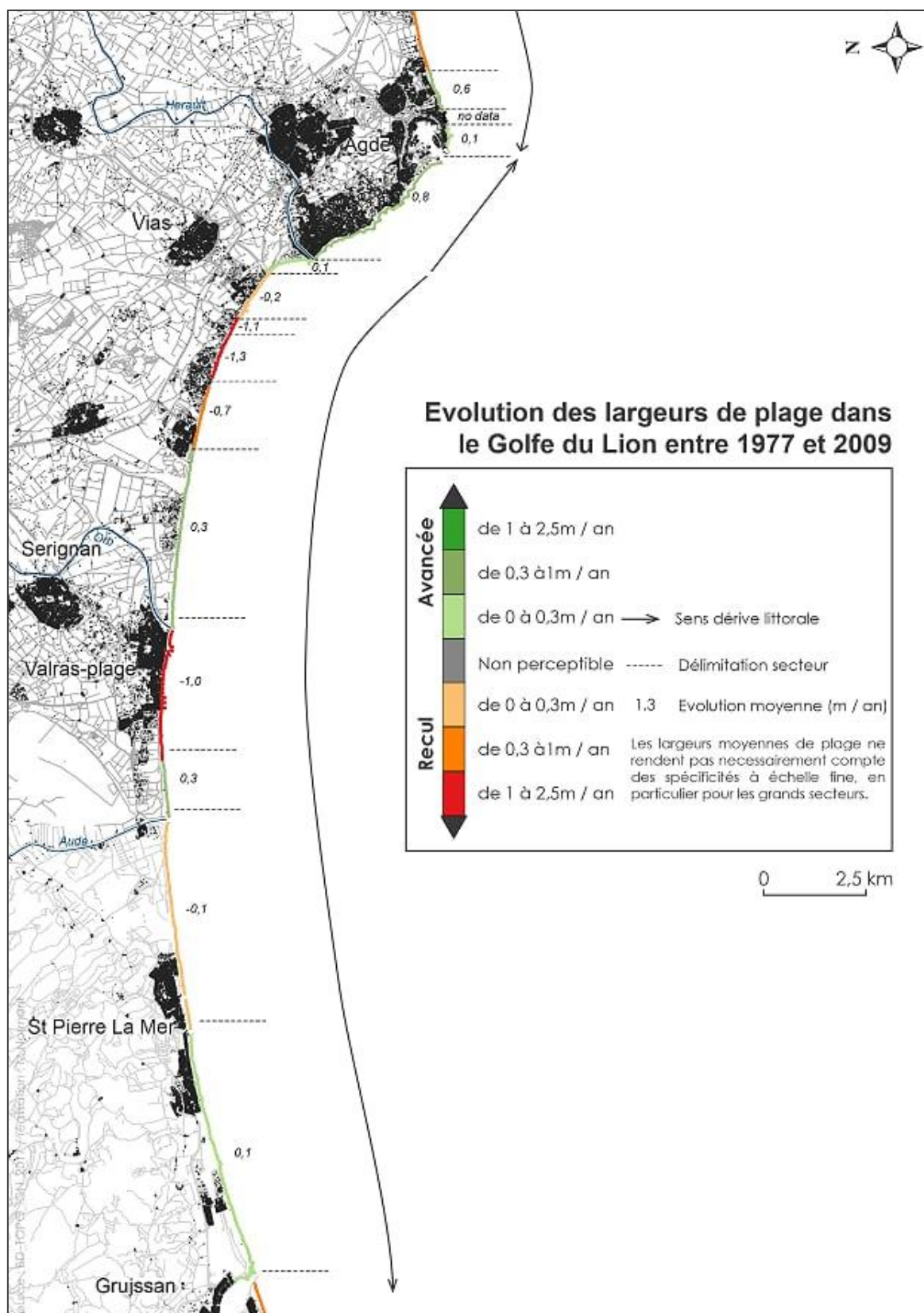
Annexe 2 : Evolution moyenne du trait de côte dans le Golfe du Lion entre 2009 et 2018 d'Argeles-sur-Mer au Tech



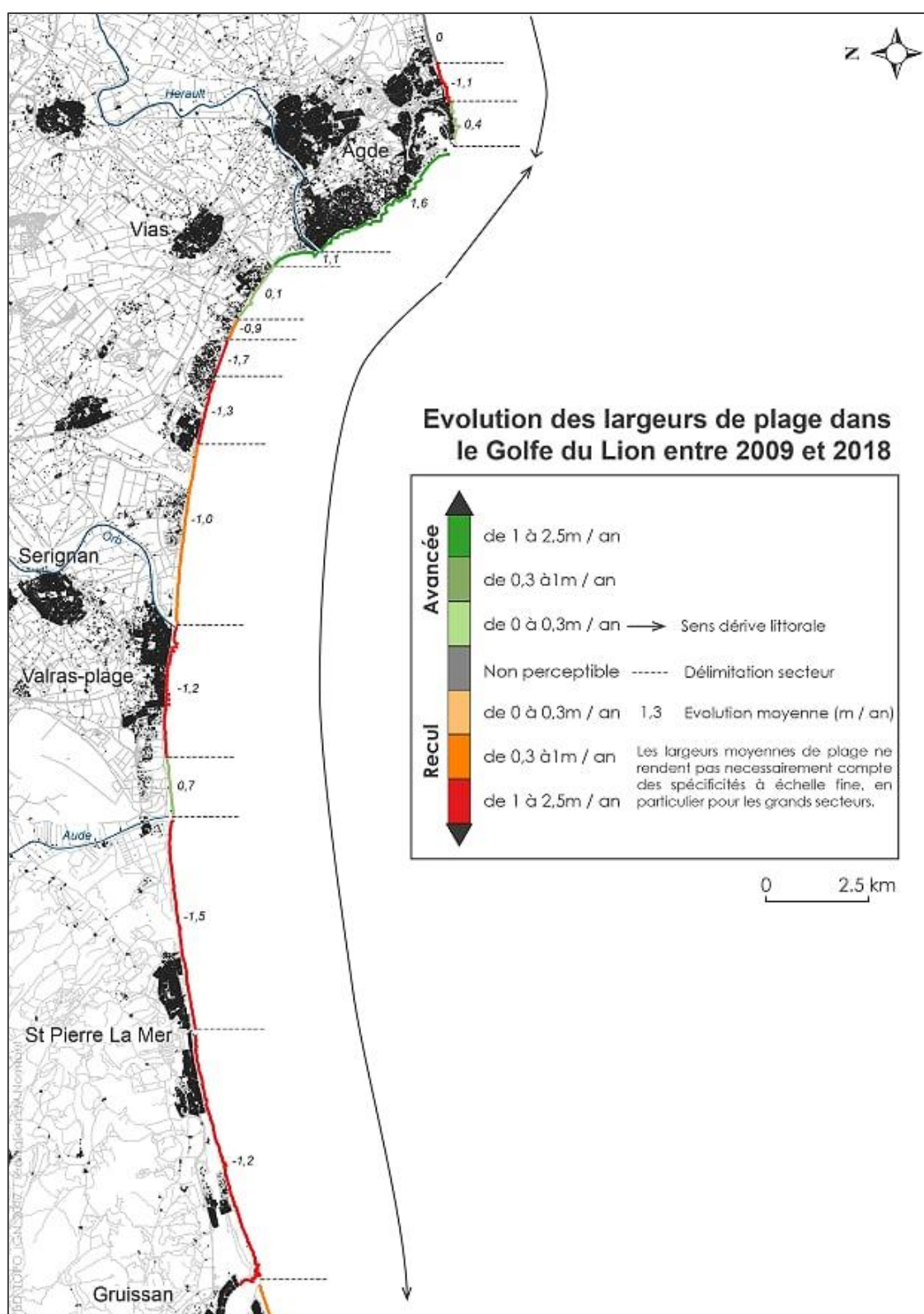
Annexe 3 : Evolution moyenne du trait de côte dans le Golfe du Lion entre 1977 et 2009 entre Torrelles et Gruissan



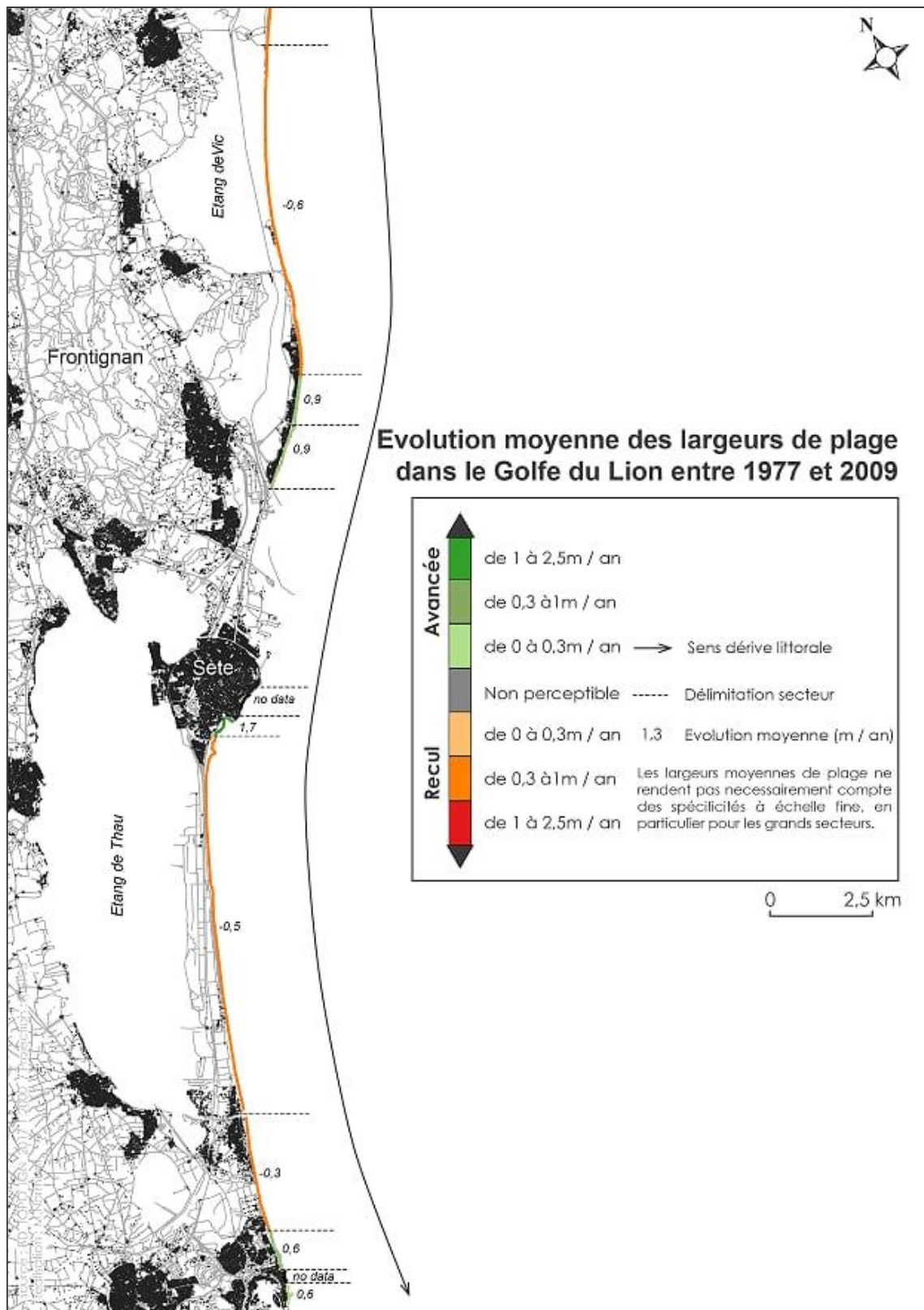
Annexe 4 : Evolution moyenne du trait de côte dans le Golfe du Lion entre 2009 et 2018 entre Torreilles et Gruissan



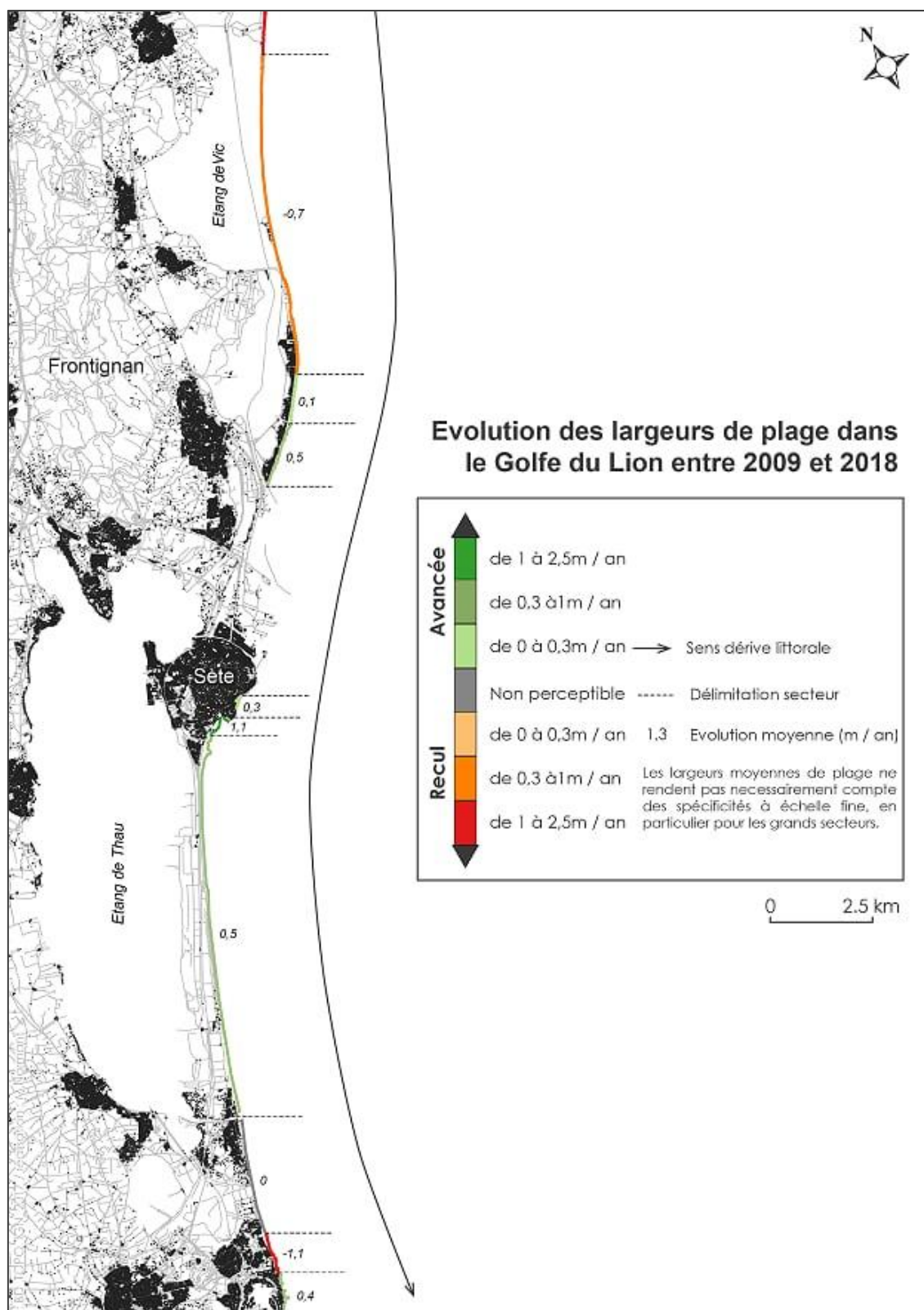
Annexe 5 : Evolution moyenne du trait de côte dans le Golfe du Lion entre 1977 et 2009 de Gruissan à Agde



Annexe 6 : Evolution moyenne du trait de côte dans le Golfe du Lion entre 2009 et 2018 de Gruissan à Agde

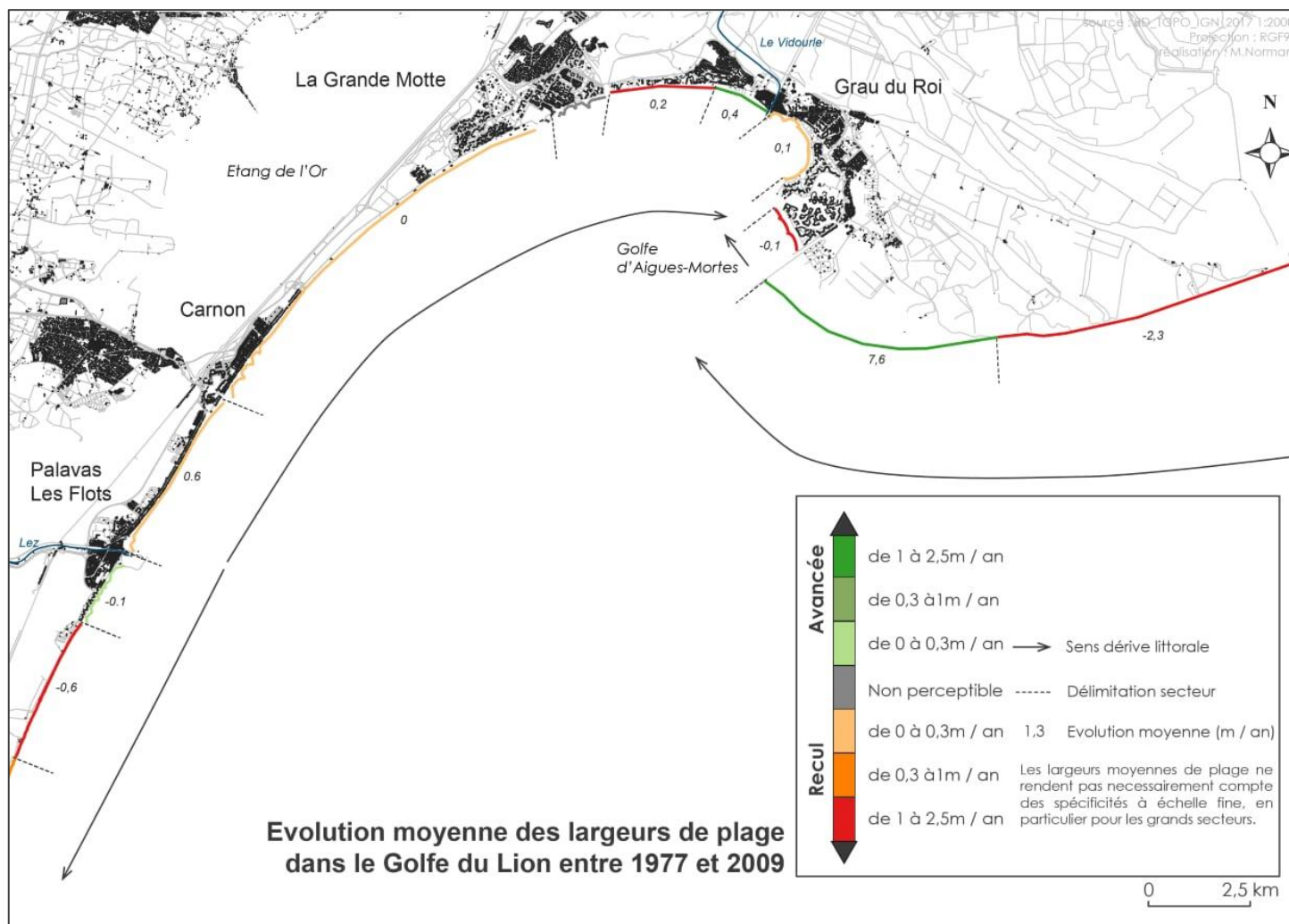


Annexe 7 : Evolution moyenne du trait de côte dans le Golfe du Lion entre 1977 et 2009 d'Agde à Frontignan



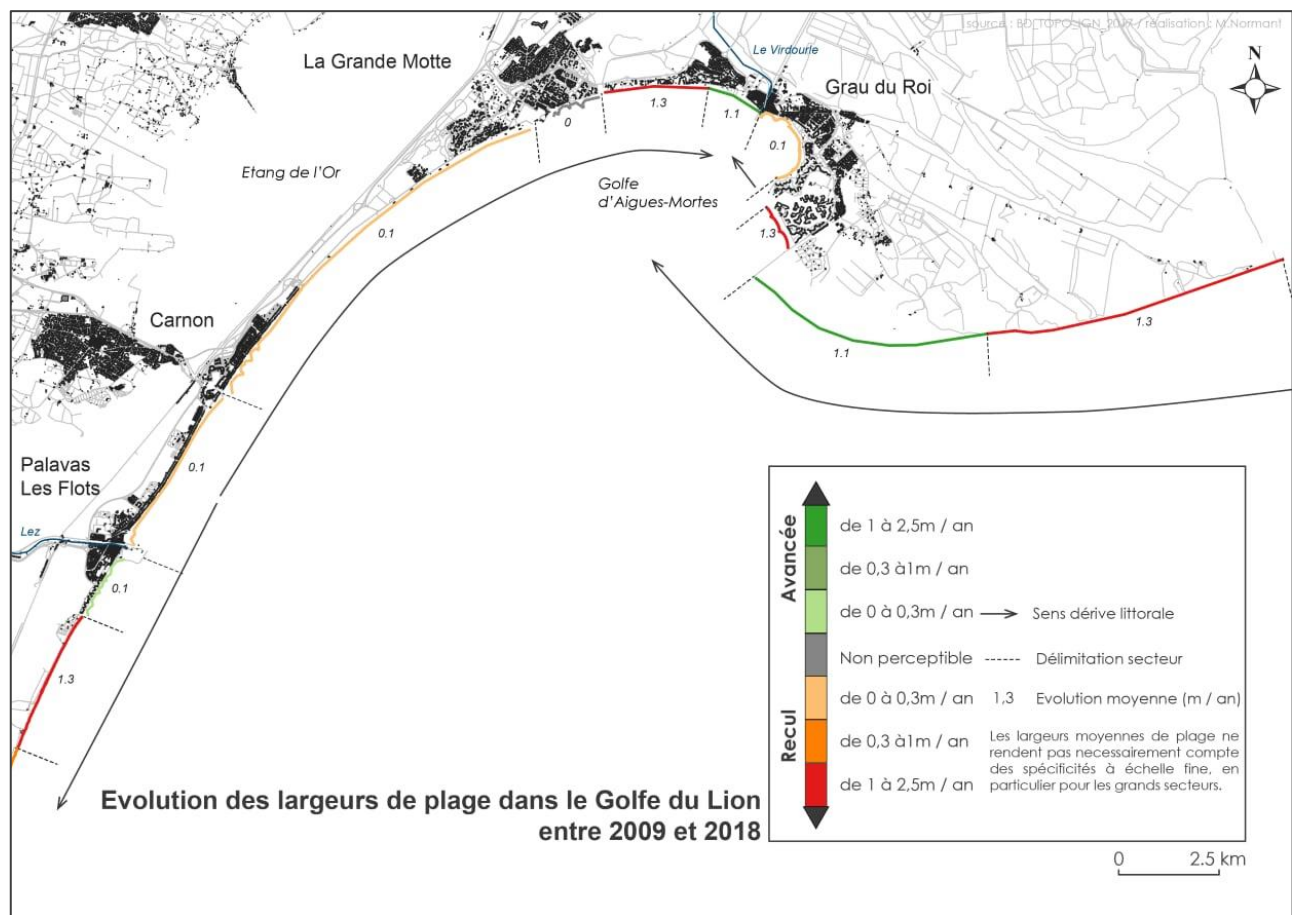
Annexe 8 : Evolution moyenne du trait de côte dans le Golfe du Lion entre 2009 et 2018 d'Agde à Frontignan

Etude de l'évolution du trait de côte et des surfaces de plages du Golfe du Lion (1977 -2018)

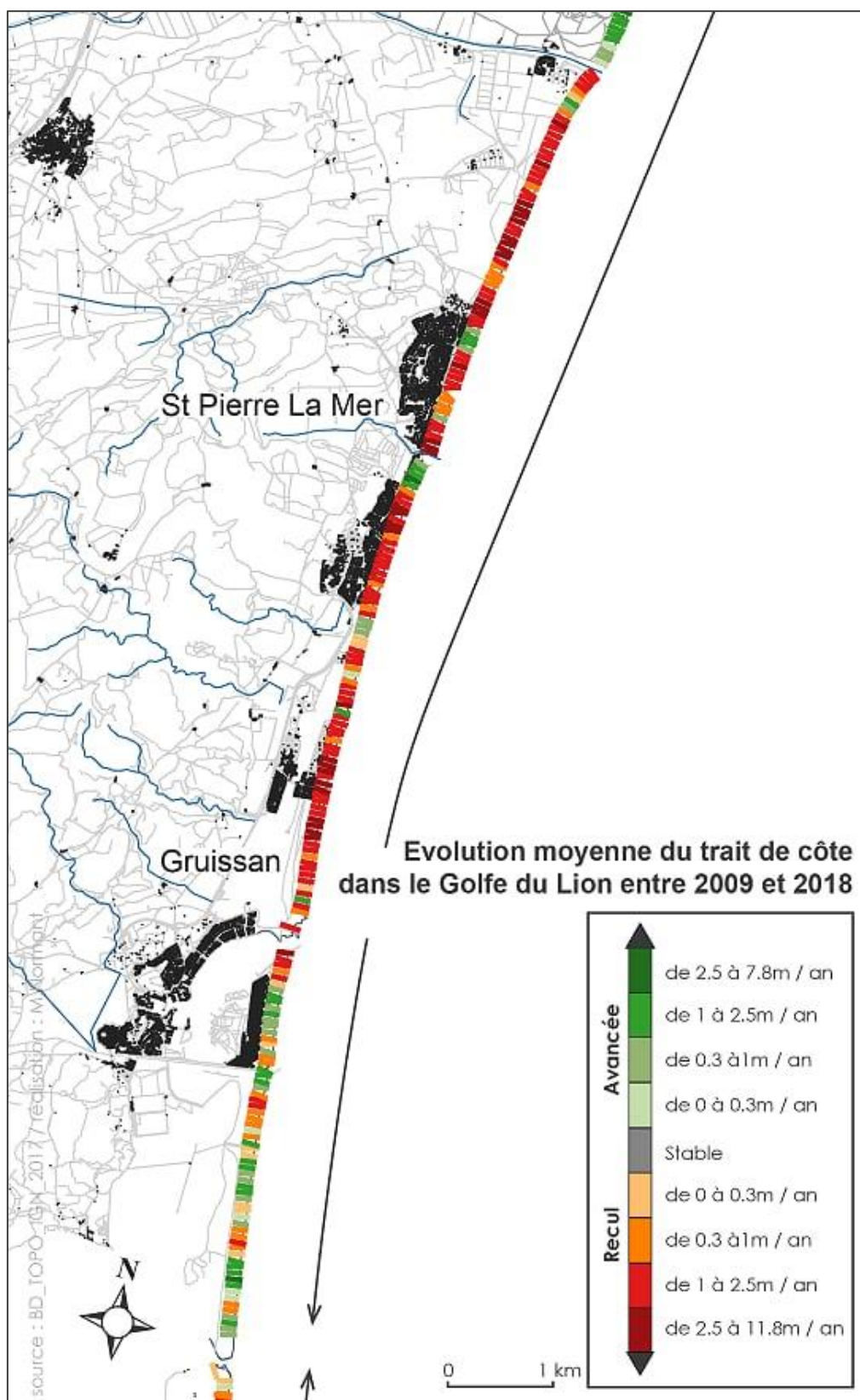


Annexe 9 : Evolution moyenne du trait de côte dans le Golfe du Lion entre 1977 et 2009 dans le golfe d'Aigues-Mortes

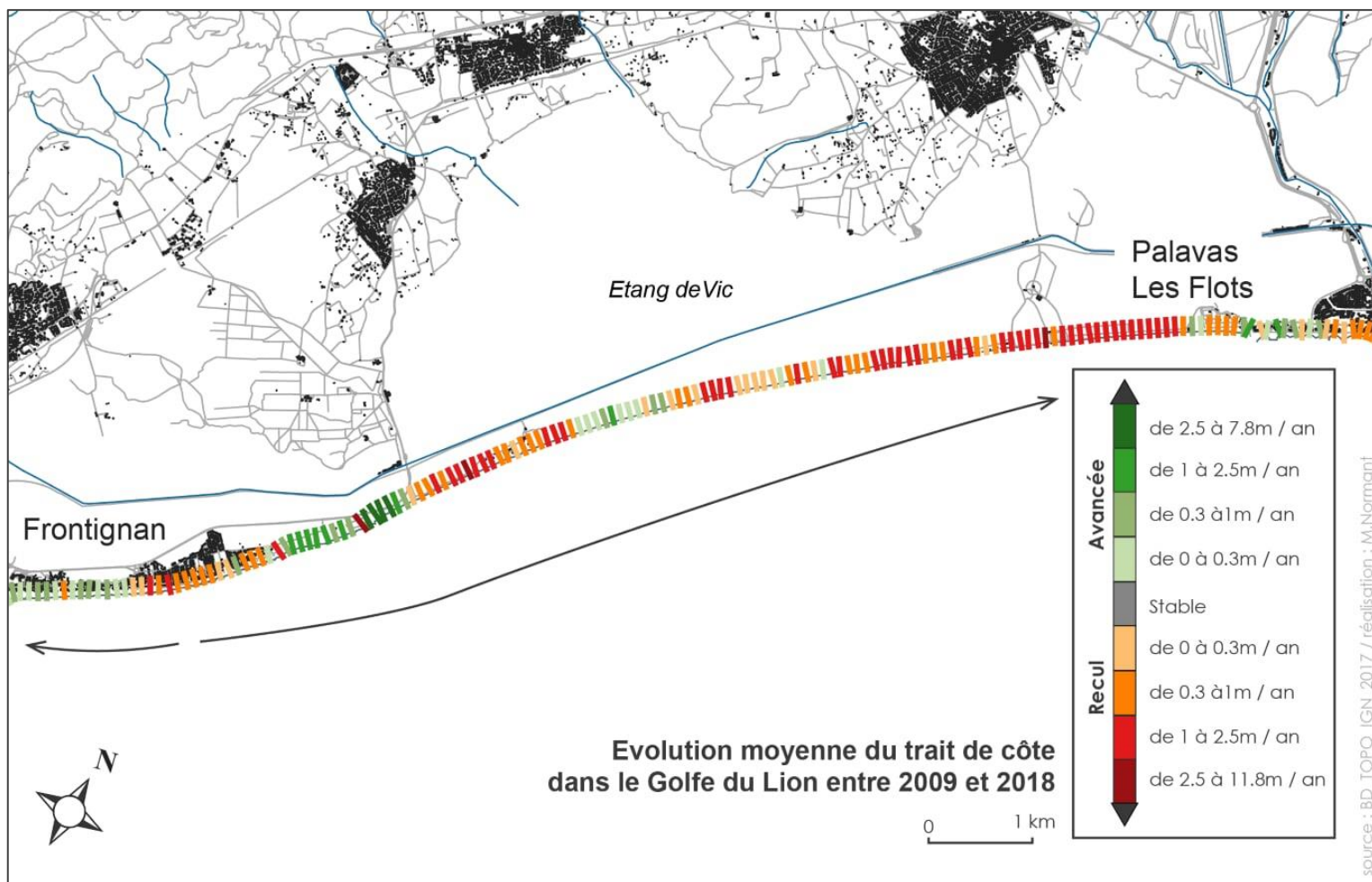
Etude de l'évolution du trait de côte et des surfaces de plages du Golfe du Lion (1977 -2018)



Annexe 10 : Evolution moyenne du trait de côte dans le Golfe du Lion entre 2009 et 2018 dans le golfe d'Aigues-Mortes

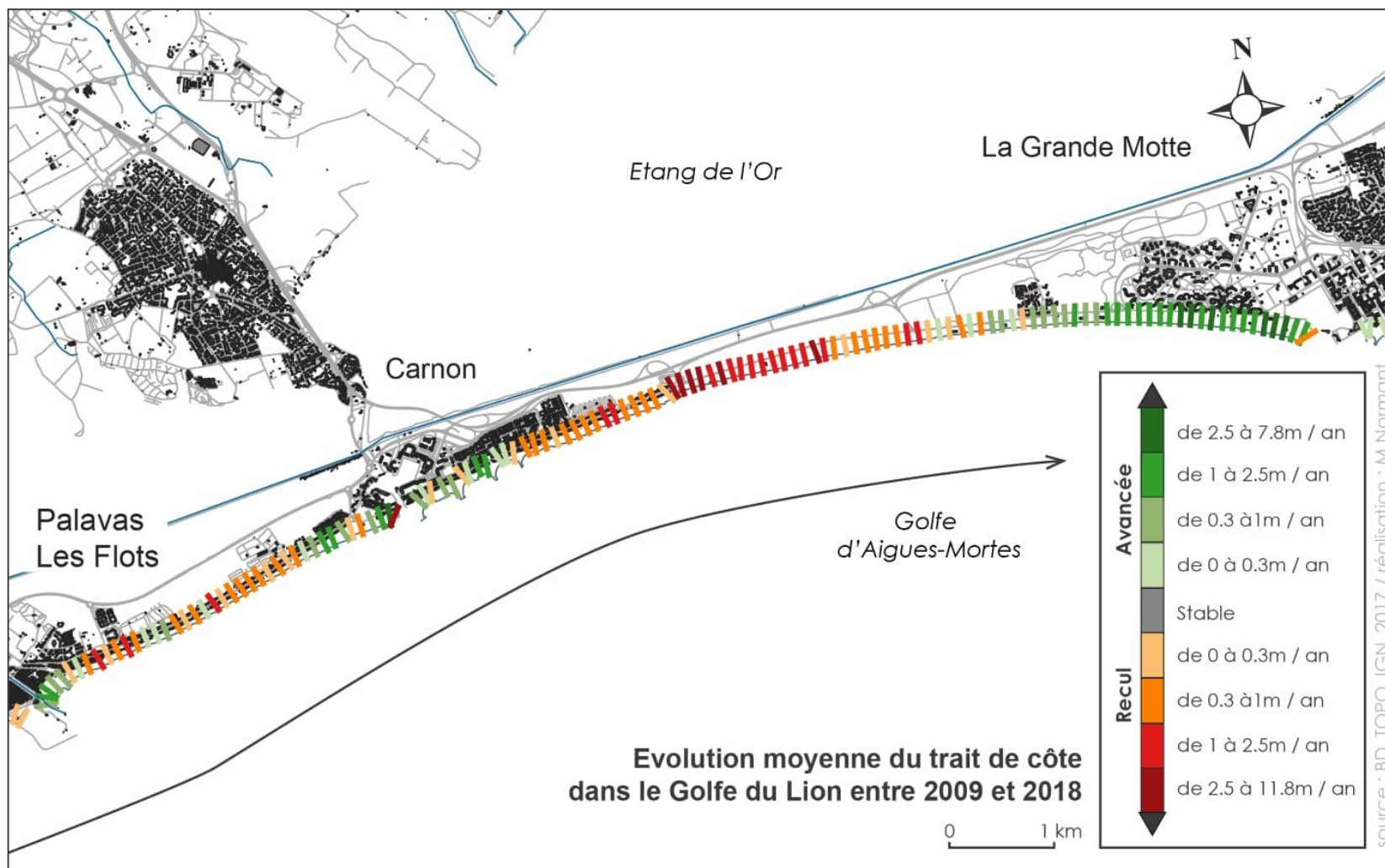


Annexe 11 : Evolution moyenne de trait de côte dans le Golfe du Lion entre 2009 et 2018 sur le secteur nord du Narbonnais

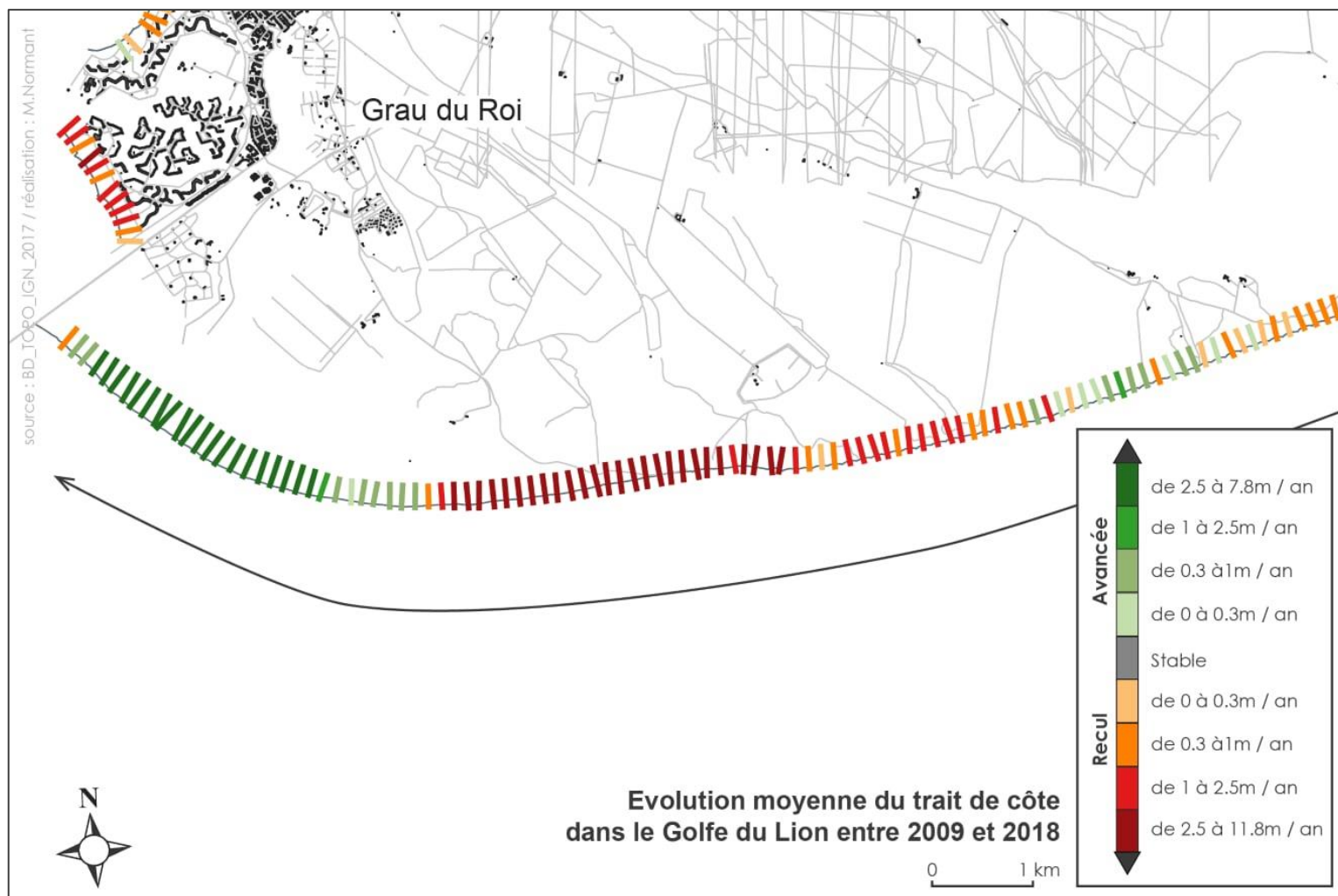


Annexe 12 : Evolution moyenne du trait de côte dans le Golfe du Lion entre 2009 et 2018 sur le secteur des Aresquiers

Etude de l'évolution du trait de côte et des surfaces de plages du Golfe du Lion (1977 -2018)



Annexe 13 : Evolution moyenne du trait de côte dans le Golfe du Lion sur le secteur du Petit et du Grand Travers



Annexe 14 : Evolution moyenne du trait de côte dans le Golfe du Lion entre 2009 et 2018 à l'Espiguette