

## Addendum Occitanie

### au document national de recommandations pour l'élaboration des cartes locales d'exposition au recul du trait de côte



*Gruissan, Occitanie – Source : Cerema*

**RAPPORT D'ETUDE**

**Février 2024**



# Addendum Occitanie au document national de recommandations pour l'élaboration des cartes locales d'exposition au recul du trait de côte -

Commanditaire : DREAL Occitanie - Direction des risques naturels

Responsable du rapport

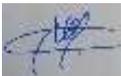
Cerema	BRGM
Cerema Occitanie Agence de Montpellier	BRGM Occitanie
105 av. Guglielmo Marconi 34000 Montpellier	1039 Rue de Pinville, 34000 Montpellier

## Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	11.2023	Version livrée
2	02.2024	Version corrigée

## Références N° d'affaire :22-OC-0086

Organisme	Rôle	Nom
Cerema	Auteur principal	Lucie Campmas
	Contributeur	Claire Dollé Claire, Francois Hédou
	Relecteur	Elodie Kleszczewski, Bruno Andres, Mélanie Guiot, Manuel Martinez
BRGM	Auteur principal	Yann Balouin
	Contributeur et relecteur	Franck Desmazes, Anthony Rey

Vérifié et Approuvé par le Cerema	Vérifié et Approuvé par le BRGM
Claire Dollé 	
Manuel Martinez le 26/02/2024 Le Directeur d'Agence  Manuel MARTINEZ	Anthony Rey 

**Mots clés :** Document régional recommandations, Occitanie, carte locale d'exposition au trait de côte, Loi Climat résilience

## Préface à l'attention des élus des communes littorales d'Occitanie

---

### Le contexte de la loi Climat et résilience

Porteurs d'une grande richesse naturelle et paysagère, les littoraux français sont très attractifs et connaissent une démographie croissante. Ils concentrent ainsi, de plus en plus d'enjeux environnementaux, sociaux et économiques dans un contexte évolutif marqué par des influences continentales, marines, atmosphériques et humaines, auxquelles s'ajoutent désormais les effets du changement climatique et notamment l'élévation du niveau moyen de la mer ainsi que l'augmentation de la fréquence et de l'amplitude de certains phénomènes naturels (Reco, 2021).

La connaissance et la prise en compte de l'évolution du trait de côte dans les politiques d'aménagement du littoral sont essentielles pour les collectivités afin d'anticiper l'adaptation de leur territoire à un phénomène de recul qui va s'intensifier. Aujourd'hui, plus d'un tiers du trait de côte régional est en recul et certaines zones sont stabilisées artificiellement par des ouvrages ou des rechargements récurrents en sable.

Dans ce contexte, la loi Grenelle 1 du 3 août 2009 a consacré le principe d'une gestion intégrée de la mer et du littoral. "Vivre avec la mer plutôt que contre elle", tel est le changement de paradigme concrétisé par la première stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte (SNGITC) adoptée par le gouvernement en 2012, actualisée en 2017, et qui est en cours de refonte.

En février 2020, le quatrième Conseil de défense écologique a entériné le renforcement du soutien de l'État en faveur de la recomposition spatiale et de la valorisation des écosystèmes par le développement de solutions fondées sur la nature ainsi que la mise en place de nouvelles mesures pour faire face à l'érosion du trait de côte.

Les dispositions relatives au trait de côte de la loi n°2021-1104 du 22 août 2021 portant sur la lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets, dite **loi « Climat et résilience »** tiennent compte du constat suivant : le recul du trait de côte est un phénomène naturel irréversible à l'échelle de temps humaine et qui relève d'une dynamique progressive et anticipable pour les échéances de l'aménagement du territoire et de la planification urbaine.

Ainsi, la mise en œuvre de cette politique d'anticipation et d'adaptation rend nécessaire l'élaboration d'une cartographie locale d'évolution du trait de côte aux horizons 30 et 100 ans et son intégration dans les documents d'urbanisme. Il revient aux communes de se positionner sur l'opportunité de s'engager dans la démarche d'anticipation et de connaissance du phénomène de recul du trait de côte et des enjeux exposés sur leurs territoires afin de définir les actions adaptées et pertinentes à mener localement.

Les hypothèses sur le recul du trait de côte retenues par les maires dans le cadre de leur document d'urbanisme seront étroitement liées aux choix opérés à l'échelle intercommunale en matière de mesures de protection ou de mesures de recomposition du territoire.

L'identification des zones exposées au recul du trait de côte dans les documents d'urbanisme permet la mobilisation des outils fonciers et financiers offerts par la loi précitée. L'État soutient les communes, identifiées par décret pour leur particulière vulnérabilité, en finançant jusqu'à 80 % ces cartes locales d'exposition au recul du trait de côte.

## La vocation du présent document et votre implication dans le processus de cartographie

Le présent document commandité par la DREAL Occitanie, rassemble les recommandations de l'Etat **spécifiques au littoral d'Occitanie et constitue donc un addendum Occitanie** au document national de recommandations pour l'élaboration des cartographies locales d'exposition au recul du trait de côte. **Ce présent document est une déclinaison régionale de celui-ci, qui vient le compléter sans s'y substituer.**

**Il permet aux bureaux d'études qui seront missionnés sur ces cartes locales de comprendre :**

- **Les principaux éléments de connaissances mobilisables et utilisables dans cet exercice**, dans toutes leurs composantes : connaissance de la mobilité du littoral en Occitanie via un recueil des connaissances spécifiques et synthétiques de l'environnement littoral, influence du changement climatique via une information sur les projections d'élévation du niveau marin.
- **La méthodologie** à suivre pour l'élaboration des cartes locales afin de prendre en compte la complexité et la diversité du fonctionnement du littoral d'Occitanie, et d'assurer une finesse d'analyse des processus, en phase avec l'échelle réduite de la projection
- **Le processus au cours duquel vous serez associés, en tant que décideurs élus, aux choix techniques** pouvant être impactants pour les résultats cartographiques et leur impact sur le document d'urbanisme.

Les éléments techniques mobilisables sont nombreux, de nature très variée, avec chacun des variantes possibles. Leur combinaison dans un nombre limité de scénarios permet d'engager les discussions techniques et politiques sur l'adaptation de vos territoires littoraux.

**Il est essentiel en tant qu' élu, que vous soyez décideur lors des principales étapes du processus de travail résumé dans le chapitre 3 de cet addendum, et que vos bureaux d'études éclairent vos choix en toute connaissance de cause. Ces choix seront tracés et auront vocation à apparaître dans les phases de consultations publiques ultérieures.**

Le linéaire de littoral de votre commune est une partie d'un ensemble plus vaste, les phénomènes naturels ne s'arrêtent pas aux limites communales administratives.

Il est donc important de comprendre les interactions dans cet ensemble et de dialoguer entre collectivités sur les choix à faire, les choix faits, et mesurer les impacts réciproques.

Certains paramètres mériteraient notamment ce dialogue intercommunal, voire à l'échelle des cellules hydrosédimentaires correspondant approximativement aux limites d'EPCI, par exemple :

- Les paramètres d'élévation du niveau marin liés au changement climatique, pourraient être utilement choisis de manière homogène entre tous,
- Les fréquences des événements extrêmes pourraient aussi être homogénéisées à des échelles plus importantes que la commune.

Les communautés de travail mises en place au niveau national (en particulier via le réseau expertise territoires) ou régional (à travers le Plan Littoral 21 notamment) pourront contribuer au partage et à l'harmonisation des connaissances.

# Sommaire

<b>1</b>	<b>La connaissance de la mobilité du littoral Occitanie.....</b>	<b>10</b>
1.1	L’histoire du littoral Occitanie .....	10
1.2	La connaissance du fonctionnement du littoral.....	10
1.2.1	La géomorphologie de l’avant-côte.....	11
1.2.2	Les volumes sableux de l’avant-côte .....	15
1.2.3	La géomorphologie des côtes.....	20
1.2.4	Les lagunes et les zones basses.....	22
1.2.5	Le réseau hydrographique.....	22
1.2.6	La marée et le niveau marin .....	24
1.2.7	La dérive littorale.....	26
1.2.8	La houle et les évènements extrêmes .....	27
1.2.9	Les cellules hydro-sédimentaires .....	31
1.2.10	Les relations trait de côte / volume sableux d’avant-côte.....	32
1.2.11	Connaissance des phénomènes induisant des reculs majeurs du trait de côte.....	36
1.2.12	Les projections du GIEC en Occitanie .....	38
<b>2</b>	<b>Recueil de données.....</b>	<b>43</b>
2.1	Les plateformes d’accès aux données.....	43
2.1.1	Le Cerema .....	43
2.1.2	Le BRGM / site InfoTerre.....	44
2.1.3	Le Shom : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.....	45
2.1.4	La Banque Hydro et Vigicrues .....	45
2.1.5	DREAL Occitanie / PictOccitanie.....	47
2.1.6	Le portail Occitanie Littorale (avec BRGM).....	47
2.1.7	Pôle-relais lagunes méditerranéennes .....	48
2.1.8	Observatoire Hérault Littoral.....	48
2.1.9	L’OBSCat .....	48
2.1.10	La communauté BEACHMED.....	48
2.1.11	Gladys.....	48
2.1.12	LMUSCA .....	49
2.2	Synthèse de la position passée du trait de côte .....	49
2.3	Synthèse sur les reculs évènementiels dû aux évènements de tempêtes (Lmax) 54	
<b>3</b>	<b>Méthodologie pour la cartographie de la projection du trait de côte ....</b>	<b>55</b>
3.1	Les tendances d’évolution du trait de côte .....	56
3.2	Les volumes sableux disponibles dans l’avenir .....	59

<b>3.3</b>	<b>Les phénomènes de reculs majeurs évènementiels du trait de côte .....</b>	<b>60</b>
3.3.1	Spécificité du recul du trait de côte évènementiel sur le littoral d'Occitanie.....	60
3.3.2	Évènements majeurs à prendre en compte .....	61
3.3.3	Approches mobilisables pour la prise en compte des reculs majeurs évènementiels dans les projections du trait de côte aux échéances 30 et 100 ans .....	61
<b>3.4</b>	<b>L'influence du changement climatique .....</b>	<b>65</b>
3.4.1	Relations entre élévation du niveau de la mer et recul du trait de côte dans les projections : Précaution d'usage de la loi de Bruun (1962) .....	65
3.4.2	Envahissement des zones basses.....	65
3.4.3	Augmentation de la fréquence des épisodes extrêmes (crue, tempête marine).....	68
<b>4</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>69</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>70</b>
<b>6</b>	<b>Annexes .....</b>	<b>73</b>
6.1	Prise en compte des incertitudes .....	73
6.2	Localisation des bouées du réseau CANDHIS .....	74
6.3	Fiche de mise à jour des données de la bouée de l'Espiguette en cours de publication.....	75
6.4	Roses des houles issues de simulations numériques ANEMOC .....	76
6.5	Localisation des stations de mesure in-situ du réseau Vigicrue.....	77
6.6	Table attributaire des productions MOBITC .....	78
6.7	Typologie SAR 2021 utilisée dans la mise à jour 2023 de la base de données « Ouvrages littoraux » .....	79

## Table des illustrations

Figure 1-Bathymétrie du Golfe du Lion. Source : Shom. ....	11
Figure 2-Géomorphologie sous-marine de l'avant-côte en Occitanie. Source : (Cerema, 2020) .....	12
Figure 3-Pentes respectives de la partie supérieure du profil d'avant-côte où se trouvent les barres ; de l'étage inférieur jusqu'à 1 km plus au large ; et du profil entier jusqu'à la limite de détection du lidar. Découpage kilométrique entre la plage du Racou et l'embouchure du Petit-Rhône. Source : (Aleman et al., 2015) .....	13
Figure 4-En haut : Classification des états de plage observés entre le Racou et le Petit-Rhône. (a) pente de l'avant-côte, (b) Diamètre médian des sédiments émergés et immergés, (c) nombre de barres, (d) forme du profil, (e) localisation du compartiment, (f) nombre de profils, (g) kilomètres de côte et (h) pourcentage de côte concernée. En bas : localisation de ces différents types de pentes sur le littoral d'Occitanie. Source : (Aleman et al., 2015).....	14
Figure 5-Evolution de l'avant-côte sur la période naturelle (1895-1984, pré-mission Racine). Source : (Cerema, 2020) .....	16
Figure 6-Evolution de l'avant-côte sur la période aménagée (1984-2009, post-mission Racine). Source : (Cerema, 2020) .....	17
Figure 7-Volume de sédiment associé à l'Unité Sableuse Supérieure, Projet LITTOSIS. Source : (Raynal et al., 2015) .....	19
Figure 8-Les différents types de côte en Occitanie. Source : (Cerema, 2020) .....	21
Figure 9-Réseau hydrographique en Occitanie. Source : (Cerema, 2020).....	23
Figure 10-Carte synthétique des principaux cours d'eau et de leurs caractéristiques dans le golfe du Lion. Source : (Brunel, 2010).....	24
Figure 11-Schématisme des différents niveaux caractéristiques de la marée et référentiels. Source : Shom.....	25
Figure 12-Référence altimétrique Maritime pour les sites d'Occitanie. Source : (Shom, 2022) .....	26
Figure 13-États de mers issus de l'observation in situ – hauteurs significatives. Source (Cerema, 2020) .....	28
Figure 14-Rose des houles issues de l'analyse des données de mesure in situ Candhis. Source : (Cerema, 2020) .....	29
Figure 15-Carte synthétique des cellules littorales et du transit sédimentaire en Occitanie. Source : (Brunel, 2010).....	32
Figure 16-Schéma synthétique de la typologie de la relation TC/BSAC .....	33
Figure 17-Tableau synthétique des différents types de relation TC/BSAC observés dans les graphiques de corrélation.....	33
Figure 18-Prospective à l'horizon 2050 de l'évolution du littoral à l'échelle régionale. A - cartographie des typologies du Couple TC/BSAC en référence à la Figure 17. B - intensité de l'aléa recul du trait de côte et érosion de l'avant-côte. ....	35
Figure 19-Typologies des tempêtes affectant le littoral du Golfe du Lion (Balouin et al., 2011).....	36
Figure 20-Orientations et genèses des principaux types de tempêtes affectant le Golfe du Lion. ....	37
Figure 21-Exemples d'impacts des tempêtes sur le littoral d'Occitanie en termes d'érosion, submersion et dégâts.....	37
Figure 22-Echelle d'impacts (érosion, submersion, dégâts) en fonction des hauteurs de vagues au large (Réseau Tempêtes Occitanie). ....	38
Figure 23-Trajectoires de réchauffement planétaire selon les cinq scénarii SSPx-y retenus dans le résumé pour décideurs du Giec (Giec, 2021).....	39

Figure 24-Projections d'élévation du niveau marin à Sète au travers des scénarii du Giec pertinents pour l'élaboration des cartes locales (Source : Nasa , basé sur projection GIEC 6 <sup>e</sup> rapport, (Giec, 2021) <a href="https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?psmsl_id=958">https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?psmsl_id=958</a> .)	40
Figure 25-Projections d'élévation du niveau marin et du phénomène de subsidence en Occitanie. Source : Nasa, basé sur le 6 <sup>ème</sup> rapport du Giec (Giec, 2021) <a href="https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?psmsl_id=958">https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?psmsl_id=958</a> .	41
Figure 26-Le parcours des données hydrométriques dans le réseau de la banque hydro. Source : Cerema.	46
Figure 27-Recensement des traits de côte existants par département.	53
Figure 28-Schéma des principales notions prises en compte pour l'élaboration des cartes locales de recul du trait de côte aux horizons 30 et 100 ans.	56
Figure 29-Extrait de l'étude d'évaluation prospective des enjeux affectés par le recul du trait de côte (Cerema, 2019b)	58
Figure 30-Erosion du front dunaire lors de la tempête du 1 <sup>er</sup> mars 2018 sur le Petit-Travers (© BRGM)	60
Figure 31-Cartographie de la vulnérabilité du littoral d'Occitanie aux effets aggravant de l'érosion côtière événementielle sur la submersion marine (Valentini et Balouin, 2020).	62
Figure 32- Erosion des systèmes dunaires par les tempêtes et falaises et micro-falaises dunaires. Source : DREAL-LR dans Gervais 2012	63
Figure 33-Cartographie de la vulnérabilité du littoral d'Occitanie aux effets aggravant de l'érosion côtière événementielle sur la submersion marine (Valentini et Balouin, 2020).	64
Figure 34-Résultat des simulations pour un événement cinquantennal. Localisation des profils (à gauche), et érosion simulée sur les profils (à droite) (Valentini et Balouin, 2020).	64
Figure 35-Extraits des cartes d'ennoiement futur des zones basses. Source : Cerema 2023	67

## Résumé

La DREAL Occitanie s'est appuyée sur l'expertise technique et scientifique du BRGM et du Cerema pour mettre à la disposition des collectivités, cet **addendum Occitanie** au document national de recommandations pour l'élaboration des cartographies locales d'exposition au recul du trait de côte. **Le présent document est une déclinaison régionale de celui-ci, qui vient le compléter sans s'y substituer.**

Effectivement, cet addendum complète, avec des informations régionales et/ou locales, les informations données à l'échelle nationale dans le document de recommandations. Les éléments introductifs de définitions, la méthodologie globale pour la cartographie, les usages et les limites restent applicables autant à l'échelle nationale que régionale et ne seront pas rappelés dans cet addendum.

Ce document est composé de trois grandes parties :

- 1) La connaissance de la mobilité du littoral en Occitanie : ce chapitre est un état de l'art non-exhaustif des connaissances spécifiques de la dynamique hydro-sédimentaire du littoral en Occitanie ;
- 2) Le recueil des données disponibles : ce chapitre vise à présenter et informer sur les données déjà disponibles en Occitanie et utiles pour la production de la carte locale d'exposition au recul du trait de côte ;
- 3) La méthodologie pour l'élaboration des cartes locales : ce chapitre vise à donner des éléments techniques et spécifiques au littoral d'Occitanie, pour l'élaboration des cartes locales.

# 1 LA CONNAISSANCE DE LA MOBILITE DU LITTORAL OCCITANIE

## 1.1 L'histoire du littoral Occitanie

Jusqu'aux années 1950, le littoral de la région Occitanie était essentiellement naturel. L'urbanisation était principalement constituée de villages de pêcheurs souvent à l'intérieur des terres. À l'exception de Sète, la côte était très peu artificialisée. Les évolutions du littoral étaient plus uniformes qu'aujourd'hui et surtout elles ne menaçaient aucun enjeu socio-économique.

**À partir de 1963, la mission interministérielle d'aménagement du littoral du Languedoc-Roussillon (Mission Racine) a aménagé le littoral.** La création d'ouvrages portuaires a fractionné la côte en compartiments relativement indépendants les uns des autres, modifiant ainsi le transit sédimentaire. Cette mission a planifié l'aménagement du littoral et créé les grands équipements qui structurent aujourd'hui cet espace.

Sur les secteurs à vocation touristique, de grands travaux ont été menés : ouvertures de graus, creusements de ports, développement des stations touristiques et des infrastructures routières. L'urbanisation des cordons dunaires (ex : La Grande Motte) a privé le système sédimentaire global d'un volume de sable important. Dans le même temps, les apports sédimentaires des fleuves ont sensiblement diminué principalement en raison de la construction de digues, barrages ou de l'extraction de sédiments en lit mineur et les aménagements agricoles (stations de pompage, canaux, barrages antisel,...) ont perturbé le fonctionnement hydraulique des espaces littoraux.

Ces facteurs couplés aux effets déjà perceptibles du changement climatique ont rapidement entraîné une érosion sur l'ensemble du Golfe du Lion, en dépit des ouvrages de protection mis en place (épis et brise-lame).

Dès 1982, après les lois de décentralisation, l'État n'a plus joué ce rôle d'aménageur global du littoral et la Mission Racine a cédé sa place au Syndicat Mixte pour l'aménagement touristique du littoral, rassemblant le Conseil Régional et les Conseils Généraux.

24 ports ont été construits ou réaménagés entre 1965 et 1995. Ces aménagements ont eu des conséquences importantes sur la dynamique des milieux littoraux. Aujourd'hui, la côte est fortement urbanisée et le processus de littoralisation se poursuit. Le territoire côtier de la région est devenu un espace fortement attractif de par le phénomène d'héliotropisme. Il est maintenant soumis à des enjeux considérables tant d'un point de vue économique qu'environnemental (coupures vertes et lagunes).

## 1.2 La connaissance du fonctionnement du littoral

La façade littorale de la région Occitanie concerne 4 départements et 154 communes situées dans une bande littorale de 15 km de large, dont 54 communes littorales (au sens de la Loi Littoral), quatre grandes agglomérations (Montpellier, Béziers, Narbonne et Perpignan), et 31 communes maritimes. Elle s'étend sur un linéaire d'environ 230 km (190 km de côtes sableuses de faible altimétrie et 40 km de côtes rocheuses) de la frontière Espagnole à la limite ouest de la Camargue. Les côtes sableuses représentent environ 85% du linéaire côtier et sont constituées de différents ensembles : les plages, les dunes et lidos, les lagunes littorales. Le littoral est entrecoupé de plusieurs caps naturels rocheux (Leucate, le Cap d'Agde et le Mont Saint Clair) qui forment des frontières naturelles. La quasi-totalité du littoral est constituée de basses plaines, particulièrement vulnérables à l'élévation du niveau de la mer et ses incidences sur les risques côtiers de submersion marine et d'érosion côtière (Reco, 2021).

Ce chapitre vise à détailler les connaissances de l'hydro-morphodynamique historique et actuelle de la bande côtière le long du littoral d'Occitanie.

## 1.2.1 La géomorphologie de l'avant-côte

La partie sous-marine du golfe du Lion est constituée d'un large plateau continental d'environ 90 km de large. Sa profondeur atteint un peu plus de 100 m au rebord. Le talus continental est incisé par de nombreux canyons profonds qui se prolongent jusqu'à la plaine abyssale à -2000 m de profondeur.

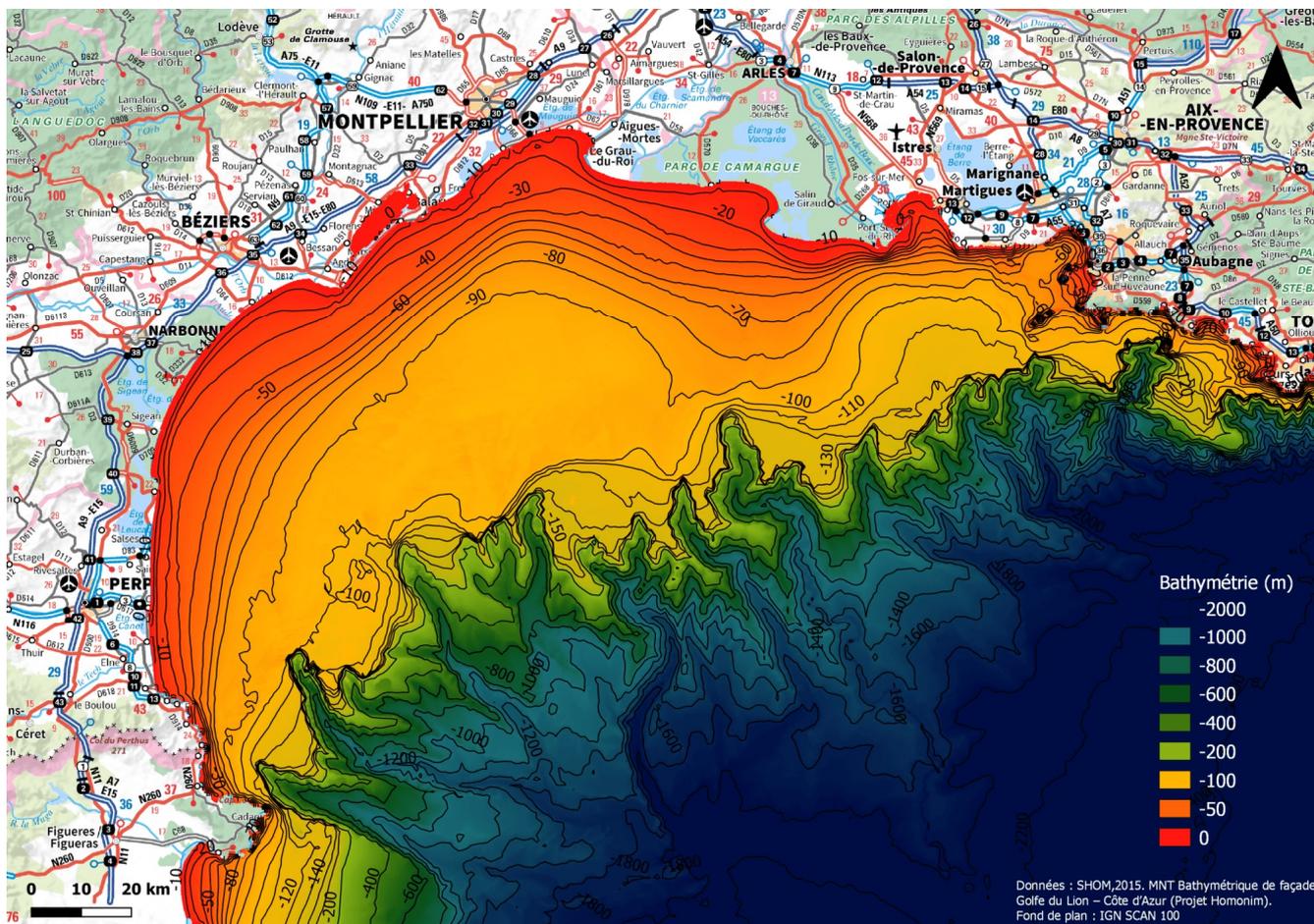


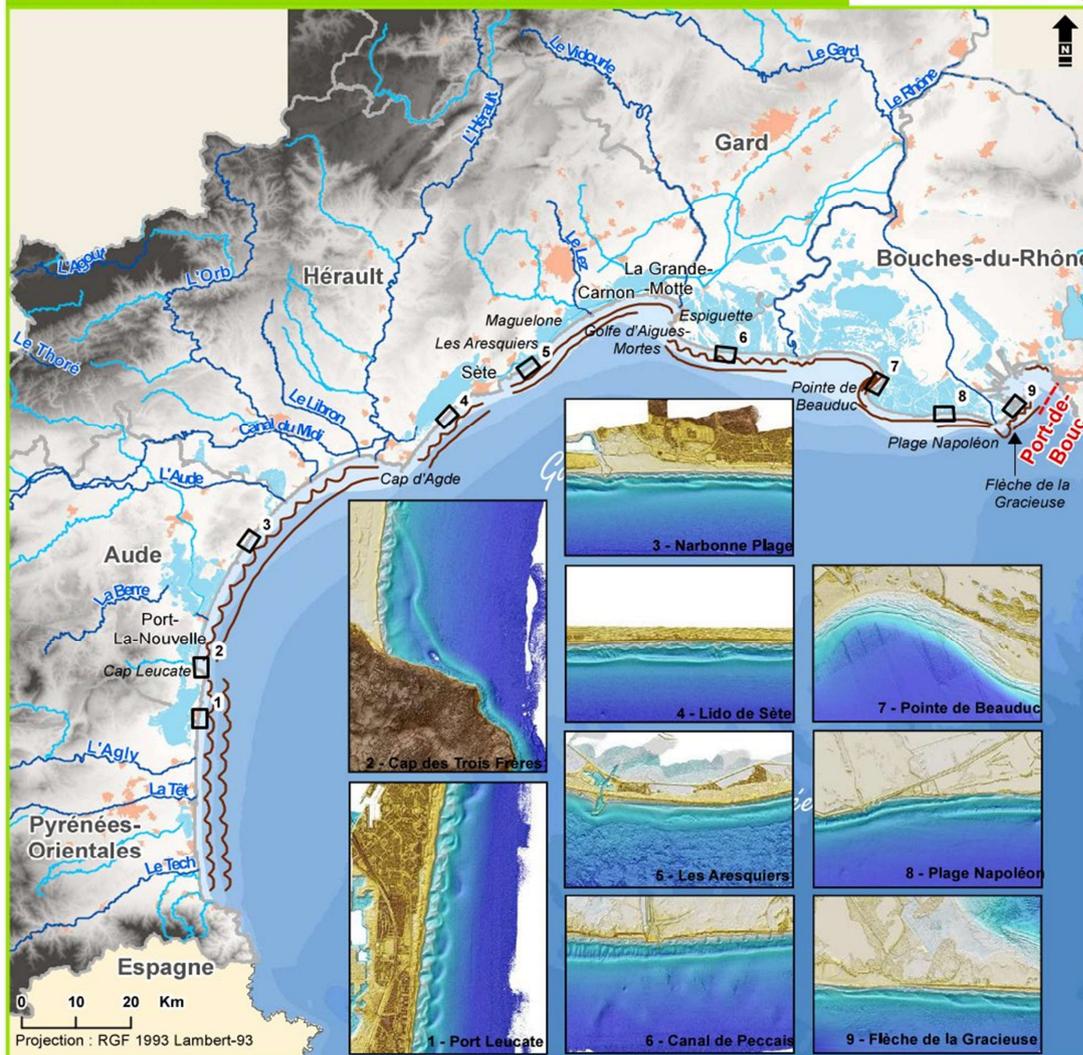
Figure 1-Bathymétrie du Golfe du Lion. Source : Shom.

Sur l'avant-côte plus proche du rivage, se trouvent des barres sableuses d'avant-côte. Ces barres en forme de dunes sous-marines se retrouvent au nombre de 1 à 2, sont parallèles au trait de côte et présentent des typologies différentes le long du littoral d'Occitanie : « linéaires » ou « festonnées » (en forme de croissants) selon les secteurs (Certain, 2002).

## Dynamiques et évolution du littoral

### Synthèse des connaissances de la frontière espagnole à Port-de-Bouc

#### Géomorphologie sous-marine de l'avant-côte



--- Limite de province sédimentaire

#### Cours d'eau

- Cours d'eau principal
- Cours d'eau secondaire
- Etang
- Bâti
- Limite départementale

#### Barres d'avant-côte

- Position schématique des barres festonnées
- Position schématique des barres linéaires

Pour en savoir plus : [www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr](http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr)

Source - Copyrights :  
Province sédimentaire - Cerema & MEEM  
Bathymétrie de métropole - Ifremer  
Pays limitrophes - EEA

GEOFLA® - ©IGN Paris - Reproduction interdite  
BD Alti® - ©IGN Paris - Reproduction interdite  
BD Carthage® - ©IGN Paris - Reproduction interdite



Figure 2-Géomorphologie sous-marine de l'avant-côte en Occitanie. Source : (Cerema, 2020)

Les barres sont des corps sableux mobiles et leurs emplacements et formes précises peuvent varier à l'échelle pluri-annuelle, de la saison, ou encore des tempêtes, du fait des variations de l'intensité du forçage par les vagues (Aleman, 2013; Certain, 2002; Ferrer *et al.*, 2010; Gervais, 2012).

Dans l'étude de *Aleman et al.*, 2015, les pentes de ces zones proches du rivage sont calculées à partir du levé lidar régional de l'été 2009, allant du Racou (commune d'Argelès sur mer) jusqu'au Petit-Rhône. Ces pentes varient assez significativement le long du littoral, avec les gradients les plus forts observés dans la partie sud du golfe du Lion. Ce travail montre également la rupture des pentes causée par les pointes rocheuses, dont celle du cap Leucate. Une tendance à l'adoucissement de la pente dans le sens de la dérive sédimentaire dominante est à noter, depuis l'extrémité sud ou l'extrémité nord du golfe de Lion vers la zone de rencontre de la dérive et de dépôt du sable dans le Narbonnais.

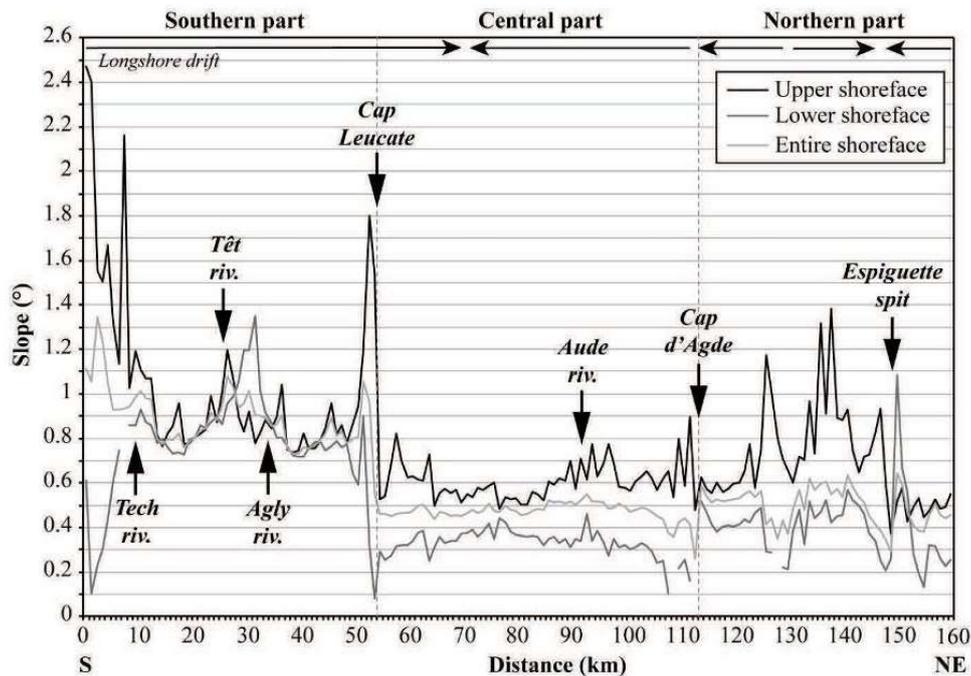


Figure 3-Pentes respectives de la partie supérieure du profil d'avant-côte où se trouvent les barres ; de l'étage inférieur jusqu'à 1 km plus au large ; et du profil entier jusqu'à la limite de détection du lidar. Découpage kilométrique entre la plage du Racou et l'embouchure du Petit-Rhône. Source : (Aleman *et al.*, 2015)

Aleman et al., 2015 propose ainsi une nouvelle classification des pentes de plages du littoral telle que :

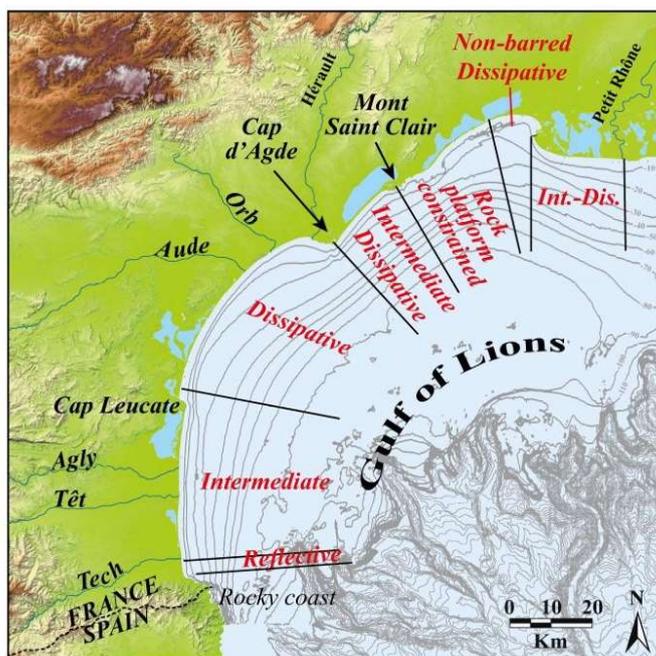
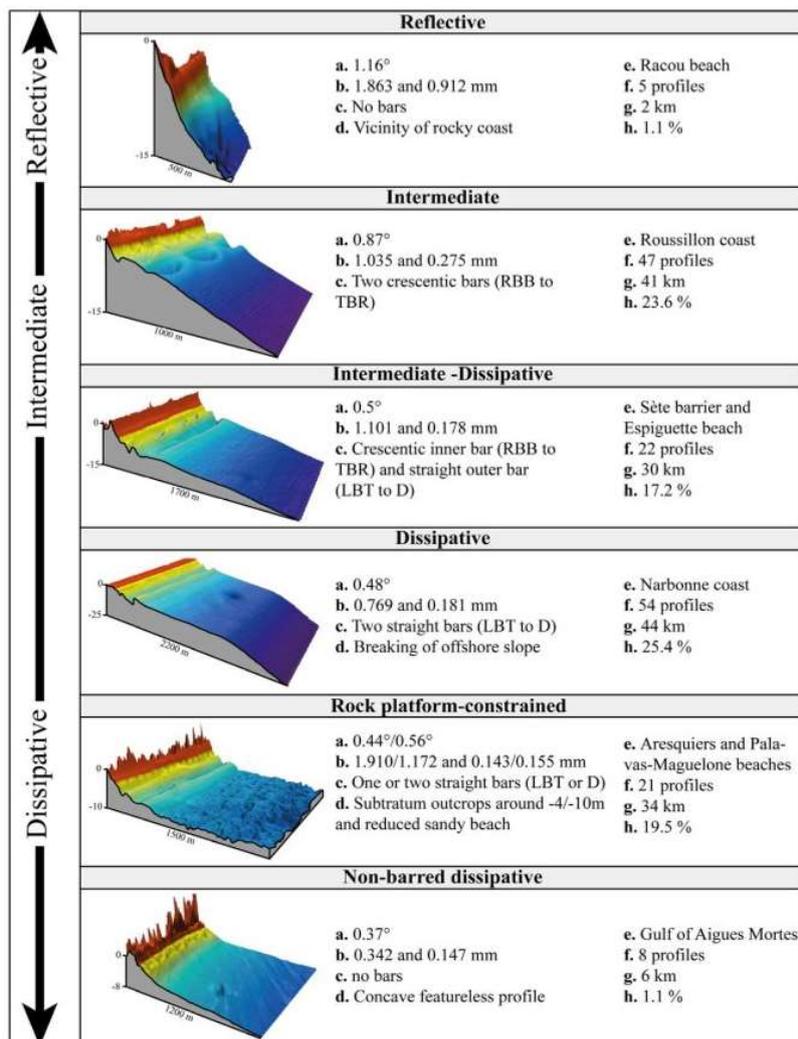


Figure 4-En haut : Classification des états de plage observés entre le Racou et le Petit-Rhône. (a) pente de l'avant-côte, (b) Diamètre médian des sédiments émergés et immergés, (c) nombre de barres, (d) forme du profil, (e) localisation du compartiment, (f) nombre de profils, (g) kilomètres de côte et (h) pourcentage de côte concernée. En bas : localisation de ces différents types de pentes sur le littoral d'Occitanie. Source : (Aleman et al., 2015)

La largeur du plateau continental, la présence des canyons sous-marins ou des barres sableuses d'avant-côte sont d'autant de paramètres importants à considérer dans 1) la disponibilité du volume sédimentaire et 2) la relation entre la dynamique sédimentaire d'avant-côte et la dynamique spatiale du trait de côte. Effectivement le disponible sédimentaire en lien avec la dynamique spatiale du trait de côte est un facteur à considérer dans la résilience de celui-ci face aux épisodes de tempêtes (voir chapitre 1.2.2 et 1.2.10 pour plus de détail sur ce point). Il en va de même entre la dynamique spatiale du trait de côte et la morphologie des barres sableuses d'avant-côte (voir chapitre 3.3 pour plus de détail).

## 1.2.2 Les volumes sableux de l'avant-côte

L'évolution séculaire des volumes sableux de l'avant-côte de 1895 à 2009 a été étudiée pour la zone du Racou (commune d'Argelès-sur-Mer) au Boucanet (commune du Grau du Roi) (Brunel, 2010). Dans cette étude, la date de transition entre la période naturelle et aménagée (pré et post-mission Racine) est 1984.

Pour la période naturelle (1895-1984), une nette différence de l'évolution de l'avant-côte est relevée entre la moitié sud de la province, en accrétion, et la moitié nord, en érosion. L'avant-côte du lido de Sète et du golfe d'Aigues-Mortes sont en érosion, seule la zone du fond du golfe d'Aigues-Mortes à l'est de Carnon est en accrétion. La zone de Marseillan à Palavas-les-Flots se révèle la plus critique avec des pertes très importantes à la fois cumulées par cellule ou pondérées par les distances et les surfaces étudiées. L'essentiel des accumulations de sables sont présentes sur les deux grandes zones du centre Roussillon et du Narbonnais : entre Argelès-sur-Mer et Port-Leucate, et du nord de la Franqui à l'embouchure de l'Aude.

Pour la période aménagée (1984-2009), tous les secteurs, hormis les flèches sableuses de la Camargue, passent en érosion. Les secteurs en accrétion d'Argelès-sur-Mer à l'embouchure de l'Aude, dans les unités Roussillon et Narbonnais, passent nettement vers une dominante en érosion. Cette inversion est particulièrement frappante pour les secteurs qui subissaient une accrétion forte comme le littoral narbonnais de Port-la-Nouvelle, et de Gruissan à Narbonne-Plage, qui sont le lieu désormais de vitesses d'érosion fortes. Sur les unités au nord du golfe du Lion où l'érosion était déjà présente, les taux d'érosion annuels s'accroissent en particulier sur les secteurs au sud du cap d'Agde et ceux du lido de Sète.

A l'échelle de la région dans son ensemble, l'avant-côte du Roussillon au golfe d'Aigues-Mortes présente un très léger gain de sédiments entre 1895 et 1984. En effet, malgré la présence de compartiments en érosion (lido de Sète, Golfe d'Aigues-Mortes, le Racou et Argeles), le bilan total est équilibré ou légèrement positif avec une valeur estimée de +4,1 millions de m<sup>3</sup> de sable (de 0,5 à 7,4 millions de m<sup>3</sup>). Par contre, au cours de la période équipée (1984-2009), le bilan global est très négatif et déficitaire de -30,2 millions de m<sup>3</sup> (de -34,4 à -25,8 millions de m<sup>3</sup>). Le disponible sédimentaire en avant-côte impactant directement la mobilité du trait de côte, ces volumes sont à considérer dans l'évaluation de la capacité de résilience à long terme du trait de côte. Voir chapitre 3.3 pour plus de détails.

## Dynamiques et évolution du littoral

Synthèse des connaissances de la frontière espagnole à Port-de-Bouc

### Evolution de l'avant-côte sur la période naturelle



- Limite de province sédimentaire  
- - - Limite d'unité morphosédimentaire
- Cours d'eau**  
— Cours d'eau principal  
- - - Cours d'eau secondaire  
■ Bâti  
□ Limite départementale

- Etang  
**Avant-côte**  
■ Accrétion  
■ Erosion

Evolution de l'avant-côte sur la période naturelle \*  
\* données d'après :  
Brunel et al. (2012)  
Sabatier et al. (2017b)

➤ Pour en savoir plus : [www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr](http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr)

Source - Copyrights :  
Province sédimentaire - Cerema & MEEM  
Bathymétrie de métropole - Ifremer  
Pays limitrophes - EEA

GEOFLA® - ©IGN Paris - Reproduction interdite  
Cours d'eau - BD Carthage

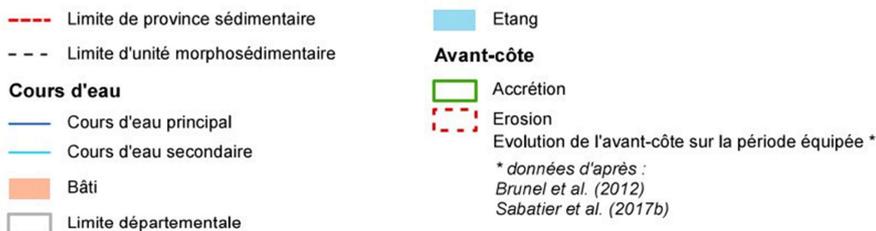


Figure 5-Evolution de l'avant-côte sur la période naturelle (1895-1984, pré-mission Racine). Source : (Cerema, 2020)

## Dynamiques et évolution du littoral

### Synthèse des connaissances de la frontière espagnole à Port-de-Bouc

#### Evolution de l'avant-côte sur la période équipée



Pour en savoir plus : [www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr](http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr)

Source - Copyrights :  
Province sédimentaire - Cerema & MEEM  
Bathymétrie de métropole - Ifremer  
Pays limitrophes - EEA

GEOFLA® - ©IGN Paris - Reproduction interdite  
Cours d'eau - BD Carthage



Figure 6-Evolution de l'avant-côte sur la période aménagée (1984-2009, post-mission Racine). Source : (Cerema, 2020)

Le projet LITTOSIS (Analyse volumétrique et granulométrique du prisme sableux littoral du Languedoc-Roussillon, 2015), a permis de quantifier plus précisément le volume de sable compris dans l'unité sableuse supérieure (USU) du prisme littoral en avant-côte entre le Racou et le Petit-Rhône. Ce volume correspond au volume de sédiments historique et disponible aujourd'hui sur l'ensemble du littoral d'Occitanie (Raynal *et al.*, 2015).

Ainsi, il apparaît que les secteurs les plus pauvres en sédiments sont principalement au sud (le Racou, Argelès) et le littoral héraultais (du lido de Sète au Grau-du-Roi). La façade ouest du cap d'Agde, où le substrat rocheux est sub-affleurant ou affleurant, présente également des profils à faibles volumes. En moindre proportion, le secteur central du Narbonnais, de Port-la-Nouvelle à Gruissan, a un volume de l'unité sableuse supérieure relativement faible. À l'inverse, les profils dont le volume est le plus important se trouvent sur l'Espiguette et au centre du Roussillon. Deux autres zones (Le Barcarès et la Franqui), beaucoup plus restreintes spatialement, sont caractérisées par des volumes similaires (Raynal *et al.*, 2015).



### 1.2.3 La géomorphologie des côtes

En Occitanie, la frange littorale est caractérisée par de longues étendues de sables entrecoupées par quelques promontoires rocheux, tels que le cap Leucate ou le mont Saint-Clair à Sète. Au sud se trouve la côte Vermeille. Cette côte rocheuse est le prolongement en mer de la chaîne pyrénéenne.

Comme décrit en détail dans le fascicule 8 *Dynamique et évolution du littoral – synthèse globale* (Cerema, 2020), six grandes unités morphosédimentaires définissent le littoral de la région Occitanie et sont essentiellement délimitées par des caps rocheux. Ces caps rocheux modifient les conditions hydrodynamiques et la répartition des sédiments ; ils interviennent dans la compréhension du fonctionnement dynamique du littoral.

Les six grandes unités morphosédimentaires et leurs stations urbaines sont :

- Les plages de poche de la côte Vermeille, situées de la frontière espagnole au Racou : stations urbaines de Cerbère, Banyuls-sur-Mer, Port-Vendres et Collioure.
- Les plages du Racou au cap Leucate : stations urbaines d'Argelès-sur-Mer, Saint-Cyprien, Canet-plage, Sainte-Marie-plage, Torrelles-plage, Port-Barcarès et Leucate.
- Les plages du cap Leucate au cap d'Agde : plage de La palme, Port-la-nouvelle, Gruissan, Narbonne-plage, Saint-Pierre-la-mer, Vendres-plage, Valras-Plage, Sérignan, Portiragnes-plage, Vias-plage et Grau-d'Agde.
- Les plages du cap d'Agde au cap de Sète : stations urbaines du Cap d'Agde et de Marseillan et le lido de Sète
- Les plages du cap de Sète au Grau-du-Roi : stations urbaines de Frontignan, Villeneuve-lès-Maguelone, Palavas-les-Flots, Mauguio Carnon, La-Grande-Motte et le Grau-du-Roi.
- La flèche sableuse de l'Espiguette.



## Dynamiques et évolution du littoral Synthèse des connaissances de la frontière espagnole à Port-de-Bouc

### Type de côte

- Limite de province sédimentaire
- Cours d'eau**
- Cours d'eau principal
- Cours d'eau secondaire
- Type de côte**
- Falaise et côte rocheuse supérieure à 20m
- Falaise et côte rocheuse inférieure à 20m
- Côte d'accumulation vaseuse ou sablo-limoneuse
- Côte d'accumulation vaseuse
- Côte artificialisée (zone portuaire et podérivée)
- Côte artificielle (zone portuaire et podérivée)
- Massif dunaire
- Plaiers rocheux et plate-formes rocheuses sous-marines
- Etang et lagune
- Marais intérieur
- Marais maritime et marais salant
- Bâti
- Limite départementale



Le projet européen EUROSION a permis de caractériser la nature du trait de côte sur la métropole à petite échelle en 2004.

Les informations attributaires du trait de côte EUROSION (géologie et géomorphologie) ont été transférées par le Cerema vers les éléments de surface supérieure à 1 ha du trait de côte Histolit®. Ce transfert géométrique a été complété par de nombreux ajustements afin de compenser le changement d'échelle mais il a été réalisé sans actualisation des données (non prise en compte des nouveaux ports par exemple), ni de modification de la géomorphologie définie dans le projet EUROSION.

Il intègre néanmoins une analyse complémentaire pour la hauteur des falaises et côtes rocheuses, en lien avec les informations contenues dans la BD ALTI® IGN.

Pour en savoir plus : [www.geo littoral.developpement-durable.gouv.fr](http://www.geo littoral.developpement-durable.gouv.fr)

Source - Copyrights :  
Province sédimentaire, unité morphosédimentaire - Cerema & MEEW  
Bassin méditerranéen - Cerema  
Pays méditerranéen - Cerema  
Géologie - Cerema  
GEOIRLabs - ©IGN Paris - Reproduction interdite  
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012  
Cours d'eau - BD Carthage  
Morphologie - Cerema  
TC Historique - ©SNOH - ©IGN Paris - Reproduction interdite



Figure 8-Les différents types de côte en Occitanie. Source : (Cerema, 2020)

## 1.2.4 Les lagunes et les zones basses

Les lagunes sont de véritables spécificités du territoire littoral de l'Occitanie et représentent le point de rencontre entre le bassin versant et le milieu marin. Elles sont caractérisées par une grande diversité de taille, de forme et de fonctionnement et recensées par le pôle-relais lagunes méditerranéennes sur cette carte interactive : <https://pole-lagunes.org/les-lagunes/cartographie-interactive>.

En termes de surfaces et par ordre décroissant, les 4 systèmes lagunaires principaux d'Occitanie sont Thau, Salses-Leucate, Bages-Sigean et Or. La différence entre la surface du bassin versant et la surface de la lagune renseigne sur les dynamiques hydrologiques d'un système dont les lagunes constituent l'aval, « le réceptacle ». À titre d'exemple, une étude comparée entre les bassins du Lez et de l'Or montre que dans le premier cas, le volume de stockage est dix fois inférieur au volume d'apport (sur la base d'une crue exceptionnelle) du bassin mais que la vidange des eaux s'effectuait rapidement ; dans le second cas les volumes de stockage et les apports étaient égaux mais la vidange était lente (SYBLE - Syndicat du Bassin du Lez).

En termes hydrogéologiques, les eaux souterraines influencent également le fonctionnement des lagunes et seront directement impactées par l'élévation du niveau marin due au changement climatique.

En termes morphologiques, seuls les graus maintiennent une communication entre les lagunes et la mer. Ces graus peuvent être permanents ou temporaires suite à l'impact d'une tempête.

Par simple élévation du niveau marin, des graus temporaires peuvent se transformer en graus permanents et avoir un impact important dans l'hydrodynamique générale de la lagune et du lido. La prise en compte de l'envahissement par la mer des zones basses et de l'évolution morphologique des lidos est donc nécessaire dans les projections de l'évolution du trait de côte (voir chapitre 3.4.2).

## 1.2.5 Le réseau hydrographique

Bien qu'historiquement majoritairement construit avec les apports sédimentaires venant du Rhône, le golfe du Lion est aujourd'hui dépourvu de cette source d'apport de sédiments. Effectivement, afin de construire le port de plaisance de Port-Camargue, le secteur de l'Espiguette a été modifiée par l'ajout d'une grande digue d'arrêt du sable en 1968, interrompant la progression naturelle de la flèche et favorisant d'autant le dépôt massif de sables venant du delta (ou des prodeltas) du Rhône (Brunel, 2010; Raynal *et al.*, 2015).

Néanmoins, le linéaire côtier de l'Occitanie est alimenté par de nombreux fleuves qui se jettent directement dans la Méditerranée ou dans les lagunes littorales. Ces apports viennent principalement des épisodes torrentiels de crues. Les sédiments les plus grossiers se situent ainsi au départ des zones de dérive, à proximité des embouchures et s'affinent vers les zones de dépôt (Brunel, 2010).

Six fleuves alimentent principalement en sédiments le littoral de la région. Les fleuves Tech, Têt et Agly alimentent la côte roussillonnaise. Le littoral narbonnais est alimenté par les fleuves Aude, Orb et Hérault. Au nord du cap d'Agde, sur le lido de Sète et dans le golfe d'Aigues Mortes, le littoral est actuellement quasiment dépourvu d'alimentation sédimentaire fluviale (Cerema, 2020).

Par ailleurs, depuis le début du XXe siècle une baisse des apports naturels des fleuves est constatée. Celle-ci est principalement due aux actions anthropiques qui diminuent fortement l'entraînement des sédiments à la mer (construction de barrages, dragage de chenaux, extraction de granulats...).

Les mesures *in situ* des débits de fleuve en Occitanie sont disponibles *via* le réseau de la Banque Hydro, comme décrit au paragraphe 2.1.4.

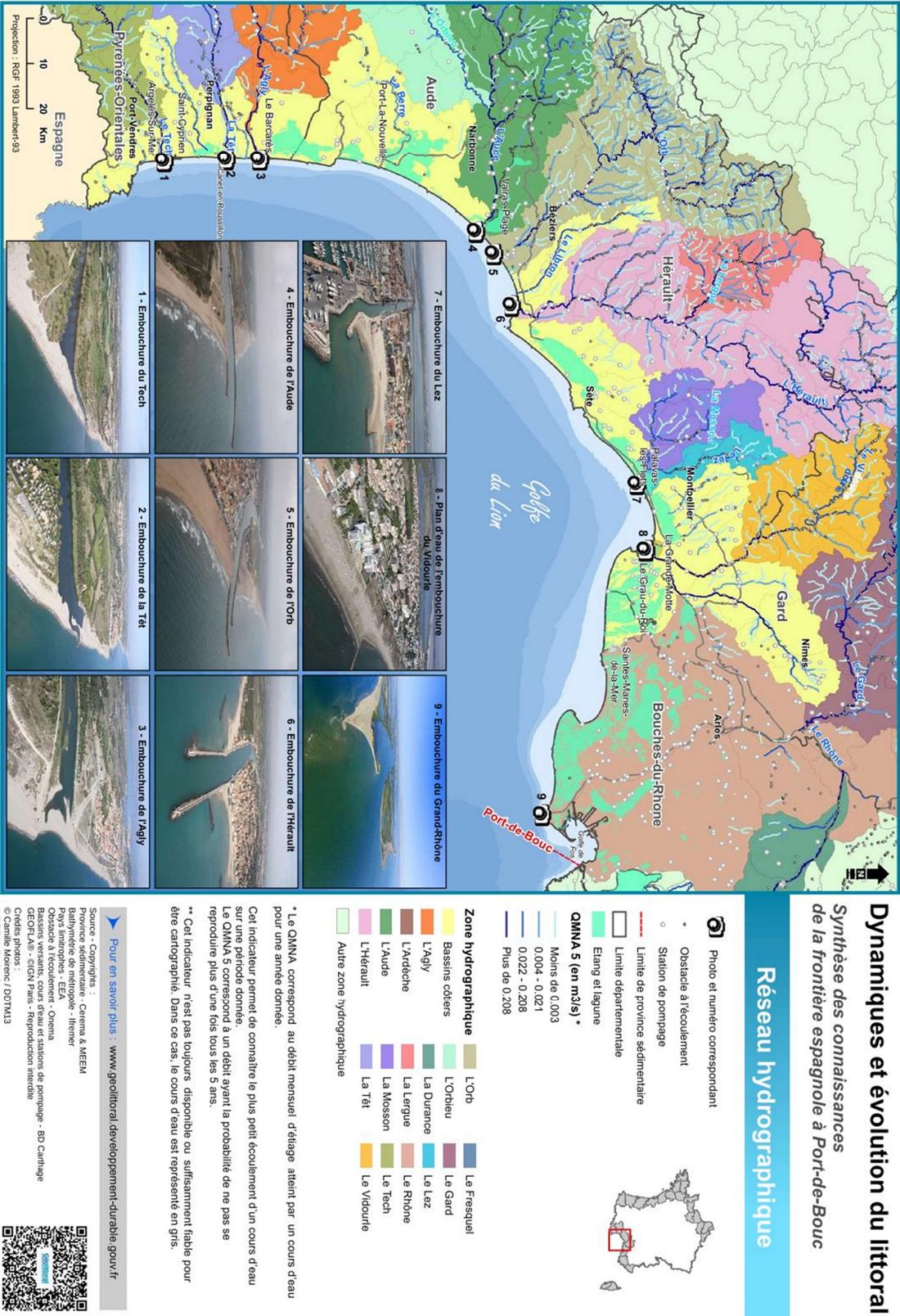


Figure 9-Réseau hydrographique en Occitanie. Source : (Cerema, 2020)

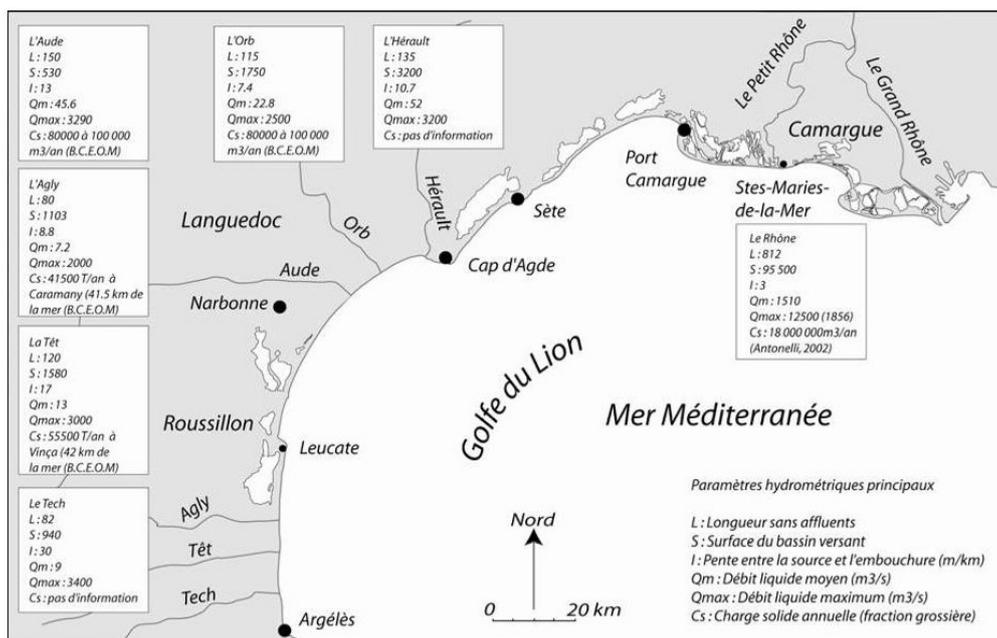


Figure 10-Carte synthétique des principaux cours d'eau et de leurs caractéristiques dans le golfe du Lion. Source : (Brunel, 2010).

## 1.2.6 La marée et le niveau marin

En Méditerranée, la marée est microtidale de type semi diurne à inégalité diurne.

Les niveaux caractéristiques de la marée, et côtes des « zéro hydrographiques » actuels dans les différents ports de Méditerranée sont disponibles dans le document de *Références altimétriques Maritimes (RAM) 2022* (Shom, 2022) en téléchargement libre sur la plateforme du Shom :

<https://diffusion.shom.fr/donnees/references-verticales/references-altimetriques-maritimes-ram.html>

Le Shom entretient et diffuse les informations relatives aux côtes des « zéro hydrographiques » dans les systèmes de référence altimétriques légaux (Ex : IGN69) des ports de France métropolitains et d'Outre-mer (départements et collectivités). Par extension, le SHOM produit et met à disposition des informations relatives aux niveaux caractéristiques de la marée, notamment le niveau de plus haute mer astronomique (PHMA), le niveau moyen (NM), le niveau de plus basse mer astronomique (PBMA). Ces données sont disponibles sous différents formats (PDF, Shapefile, CSV, flux Wms).

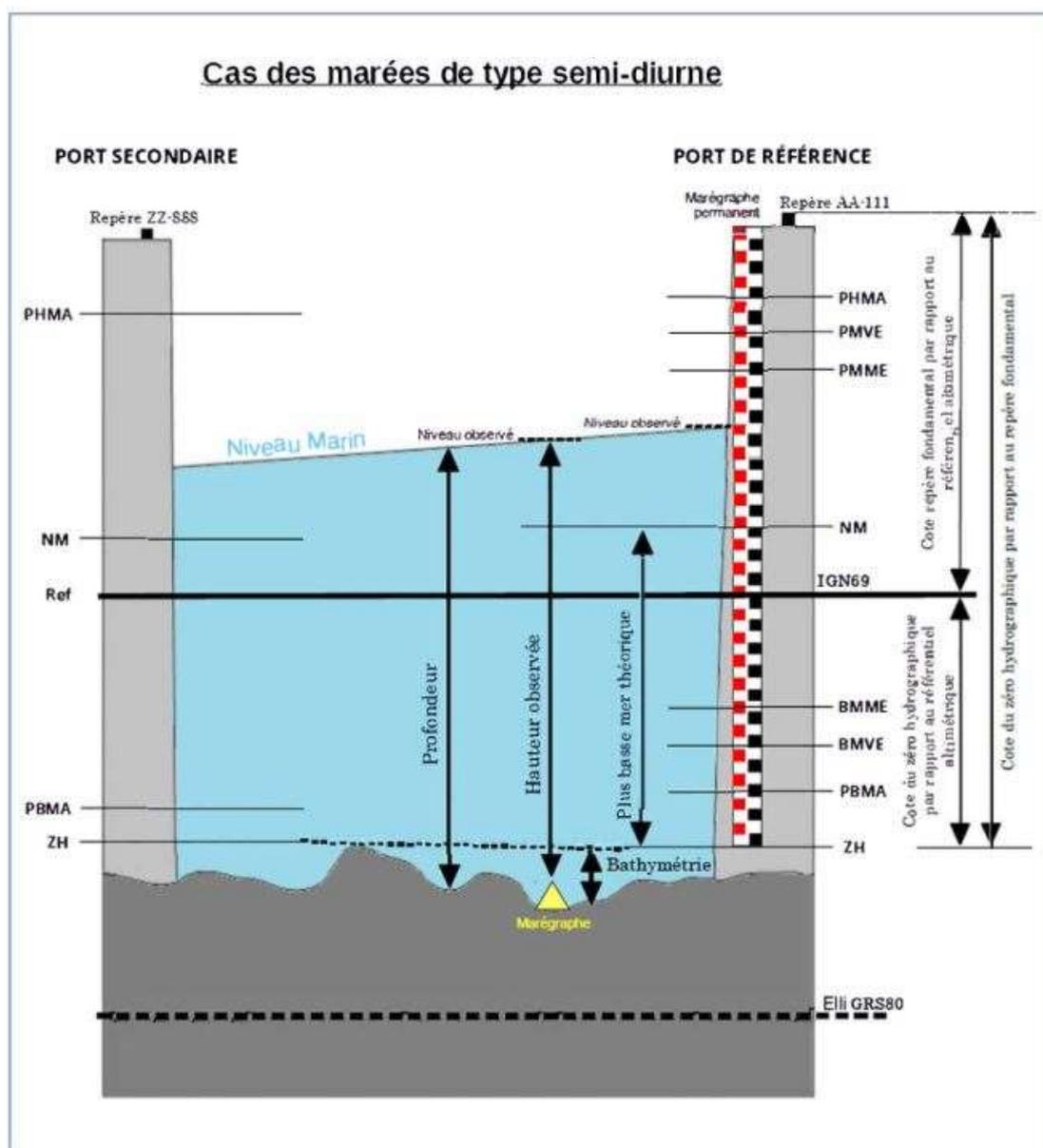


Figure 11-Schématization des différents niveaux caractéristiques de la marée et référentiels. Source : Shom

Le tableau ci-dessous présente les données disponibles en Occitanie (Shom, 2022) des différents niveaux caractéristiques de la marée et des côtes des « zéro hydrographiques »

*A noter, concernant les dates indiquées sur ce tableau, qu'il s'agit pour l'attribut « Année CH » de l'année de calcul des constantes harmoniques du site concerné, et pour l'attribut « date » de l'année de détermination ou de calcul de la côte du repère fondamental par rapport au système altimétrique légal.*

07	Nom	Type	Lat.	Long.	Et.	Année CH	PHMA			NM			PBMA
	Banyuls-sur-Mer	S	42 29 N	03 08 E		2014	00.74			00.57			00.43
	Port-Vendres	S	42 31 N	03 06 E		2014	00.72			00.52			00.31
	Port-la-Nouvelle	S	43 01 N	03 04 E		2017	00.75			00.55			00.34
	Gruissan	S	43 06 N	03 06 E		2012	00.91			00.68			00.47
	Port de Sète	S	43 24 N	03 42 E		2017	00.67			00.46			00.25
	Port Camargue	S	43 31 N	04 08 E		2012	00.76			00.53			00.35

Nom	Repère fondamental	Organisme	Date	RF/ZH	RF/Ref	ZH/Ref	ZH/Elli	Ref
Banyuls-sur-Mer	M.E.I3 - 7	IGN	1983	4.961	4.423	-0.538		IGN69
Port-Vendres	EM 47	IGN	2020	2.584	2.192	-0.392	49.34	IGN69
Port-la-Nouvelle	M.E.K3-21	IGN	2019	3.740	3.319	-0.421	49.10	IGN69
Gruissan	M.E.K3 - 180	IGN	1994	3.453	3.026	-0.427	48.95	IGN69
Port de Sète	M.E.M3-39	IGN	2019	6.422	6.115	-0.307	49.19	IGN69
Port Camargue	M.F.CF3G3-11	IGN	1981	2.634	2.352	-0.282	49.14	IGN69

Figure 12-Référence altimétrique Maritime pour les sites d'Occitanie. Source : (Shom, 2022)

Le niveau moyen au référentiel IGN69 se retrouve tel que (*niveau marin moyen (m NGF) = NM + (ZH/ref)*) :

Niveaux marins (m IGN69)	NM	PHMA
<b>Port de Sète</b>	0,153	0,363
<b>Port-Vendres</b>	0,128	0,328

## 1.2.7 La dérive littorale

La dérive littorale est un courant de houle qui se forme entre la zone de déferlement et le trait de côte. Elle produit la majorité des transits sédimentaires de long-terme sur les plages et a un sens déterminé par la direction des houles incidentes. Les travaux de thèse de Raphael Certain (Certain, 2002) pour la région Occitanie confirment globalement les directions résultantes des dérives littorales déjà connues (Durand, 1999).

Par la suite, d'autres études ont également été menées sur le sens de cette dérive littorale (Brunel, 2014) en observant, par exemple, l'accumulation sur les digues d'entrée des ports, ainsi que la formation des flèches sableuses qui referment partiellement les embouchures après les crues (Aleman *et al.*, 2017). Le phénomène de transit sédimentaire régional a ensuite été approfondi avec les suivis traitant de l'origine et de l'évolution longitudinale du matériel sableux, en ce qui concerne sa minéralogie et son tri granulométrique (DREAL Occitanie et Région Occitanie/CASAGEC Ingénierie, 2020). Les directions de cette dérive littorale résultante sont disponibles au format SIG sur le site Picto de la DREAL Occitanie, comme décrit au chapitre 2.1.5.

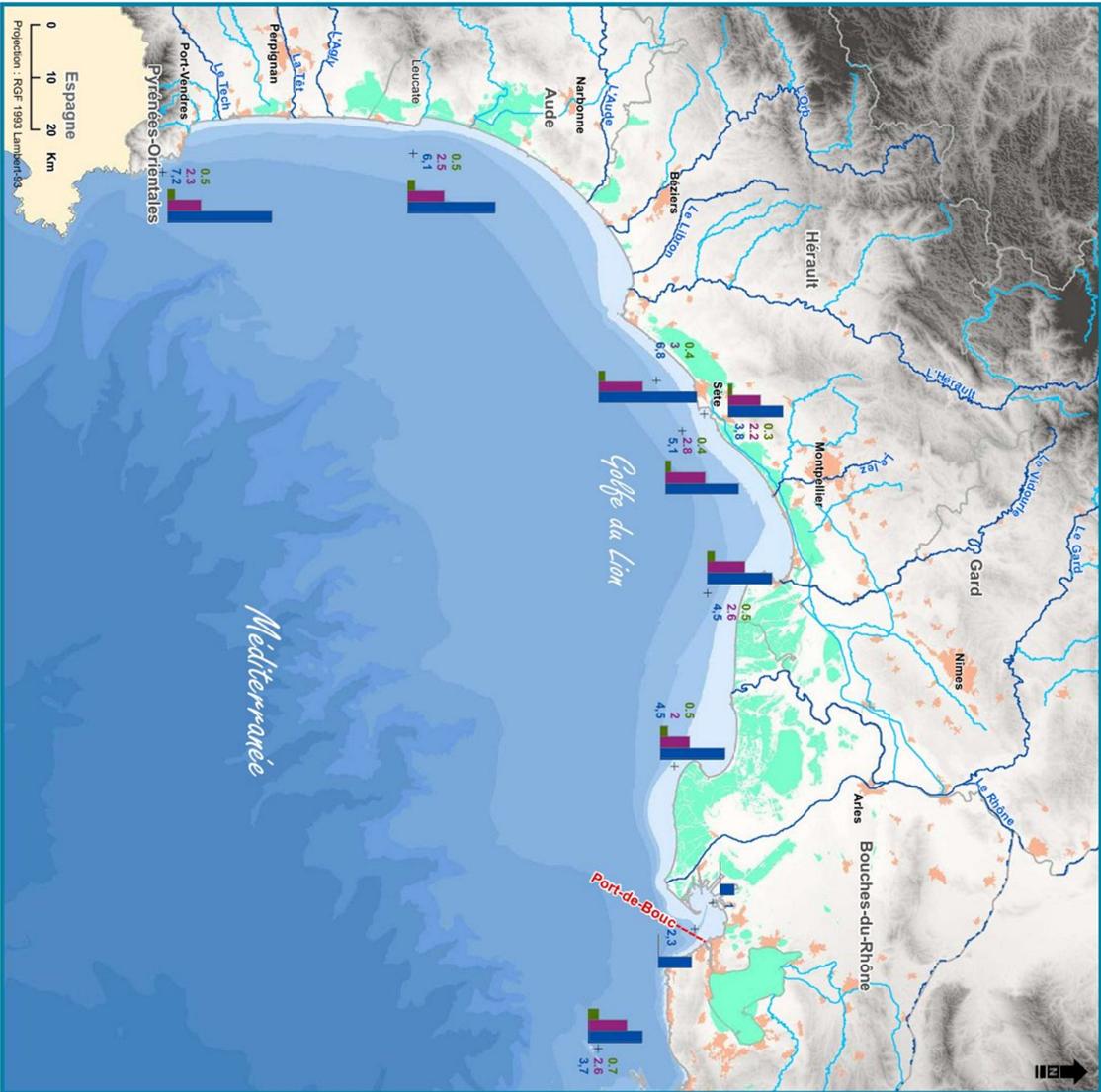
Les travaux de thèse de Benjamin Kulling apportent néanmoins les premières modélisations à l'échelle de la région (Kulling, 2017). Le modèle (Unibest-LT) propose ainsi une quantification du transport longitudinal en se basant sur des données hydrodynamiques ANEMOC-2 (voir paragraphe 1.2.8 pour l'accès à ces données) et topo-bathymétriques du LIDAR aéroporté (disponible sur le site Picto de la DREAL Occitanie comme décrit au chapitre 2.1.5). Les données géomatiques de ces travaux de recherche sont, au besoin, disponibles auprès de la DREAL Occitanie.

### 1.2.8 La houle et les évènements extrêmes

Bien que les cartes locales ne traitent pas des évènements extrêmes qui induisent des submersions marines ponctuelles, la houle en Occitanie est néanmoins le moteur principal du transport sédimentaire près du littoral et de l'érosion ou du dépôt du sable sur les plages.

Le paramètre d'état de mer le plus classiquement représentatif de la houle est la hauteur significative ( $H_{1/3}$ ), correspondant à la valeur moyenne du tiers supérieur des hauteurs de vagues observées *in situ*. Ces états de mer en condition de forte houle (tempête) sont disponibles grâce au réseau de bouées Candhis en proche côtier pour ce qui concerne les mesures *in situ*, mais également par des modélisations *via* les données ANEMOC-2. Les roses de houle issues des modèles sont générées à partir de climats de houle ANEMOC-2 entre 1979 et 2010, par environ 20 m de fond (annexe 6.3).

Toutes les données in-situ et modélisées sont téléchargeables gratuitement telles que présentées dans le chapitre 2.1.1.



## Dynamiques et évolution du littoral

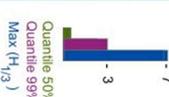
### Synthèse des connaissances de la frontière espagnole à Port-de-Bouc

### Etats de mer issus de l'observation in situ - Hauteurs significatives

- + Localisation des points de mesure
- Cours d'eau
  - Cours d'eau principal
  - Cours d'eau secondaire
  - Etang et lagune
- Limite de province sédimentaire
- Bâti
- Limite départementale



#### Hauteur significative (en mètres)



Quantile 50%  
Quantile 99%  
Max (H<sub>10</sub>)

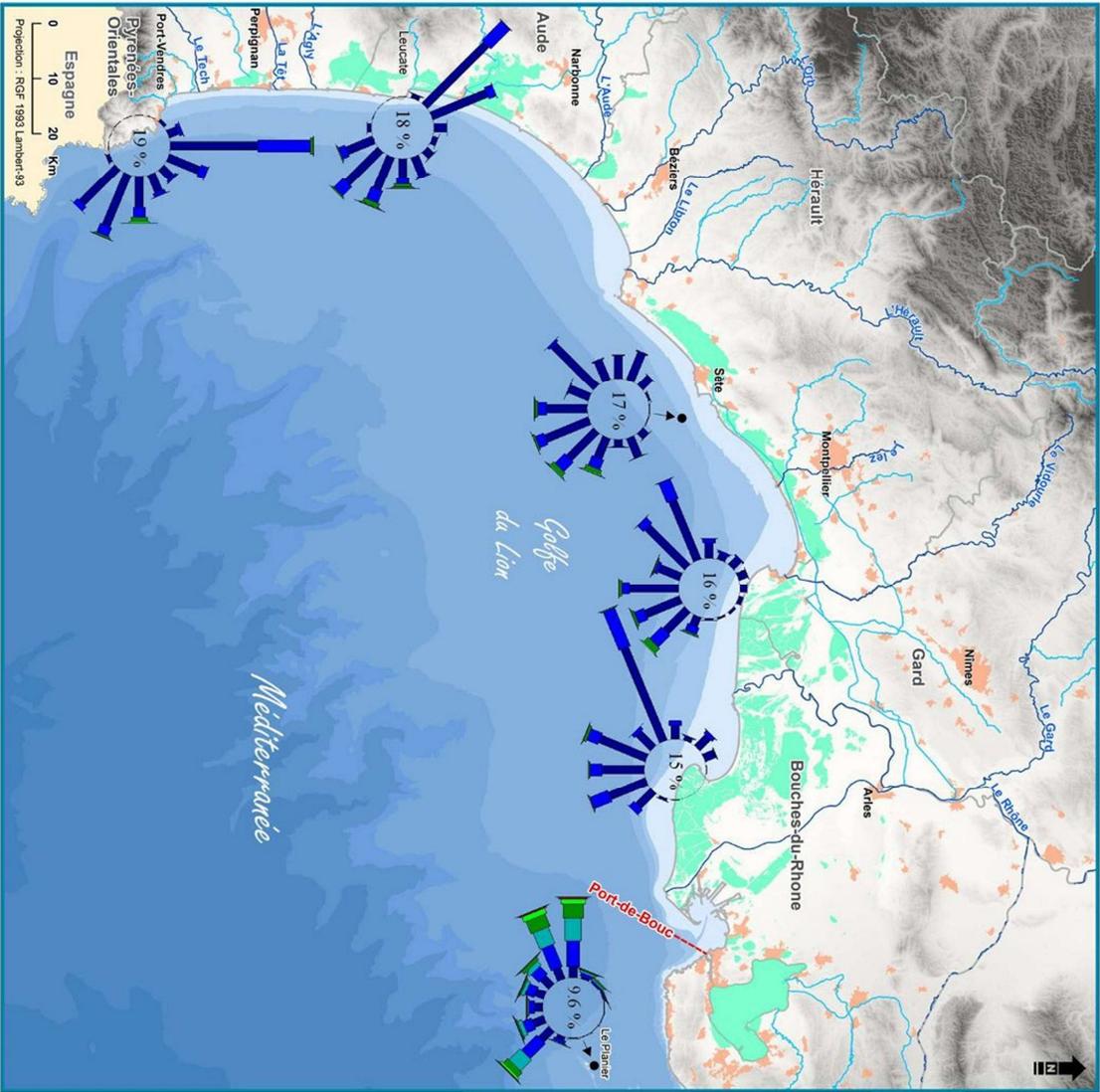
Le paramètre d'états de mer représenté est la hauteur significative H<sub>10</sub> correspondant à la valeur moyenne du tiers supérieur des hauteurs de vagues observées in situ sur 20 à 30 min. Les quantiles 50% et 99% de H<sub>10</sub> ne sont représentés que si les durées d'observation sont supérieures ou égales à 1 an. Ces quantiles correspondent aux valeurs dépassées respectivement 50% et 1% du temps. La valeur maximale de H<sub>10</sub> est représentée quelle que soit la durée d'observation. Cette valeur est à considérer avec prudence, particulièrement si la durée d'observation est inférieure à 1 an (points pour lesquels les quantiles 50% et 99% ne sont pas fournis).

Pour en savoir plus : [www.geo littoral.developpement-durable.gouv.fr](http://www.geo littoral.developpement-durable.gouv.fr)

Source - Copyrights :  
Province sédimentaire - Cerema & MEEEM  
Cartes - Cerema 2015  
Bathymétrie des métropoles - Ifremer  
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012  
Cours d'eau - BD Carthage  
GEOFLA@ - IGN Paris - Reproduction interdite  
BD ANRS - IGN Paris - Reproduction interdite



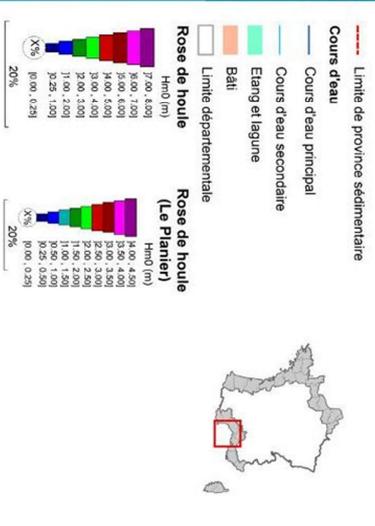
Figure 13-États de mers issus de l'observation in situ – hauteurs significatives. Source (Cerema, 2020)



## Dynamiques et évolution du littoral

### Synthèse des connaissances de la frontière espagnole à Port-de-Bouc

## Etats de mer issus de l'observation in situ - Rose de houle



Les paramètres d'états de mer représentés sont issus de l'observation in situ : il s'agit de :

- la direction de provenance des vagues correspondant au pic du spectre d'énergie ;
- la hauteur significative Hm0 établie à partir du moment d'ordre zéro de la densité spectrale.

Les roses des houles ne sont représentées qu'à partir d'une durée minimale d'observation cumulée d'un an.

Les directions de provenance associées à une hauteur Hm0 inférieure ou égale à 0,25 m sont considérées comme non représentatives de la houle. Elles ne sont pas représentées mais leur pourcentage est indiqué au centre de la rose des houles (nombre d'occurrences pour Hm0 <= 0,25 m rapporté au nombre total d'occurrences).

Les échelles des roses des houles sont variables d'une rose à l'autre. Le nombre d'occurrences correspondant à un intervalle donné de Hm0 est représenté par sa couleur et la largeur de la barre.

Pour en savoir plus : [www.geo littoral.developpement-durable.gouv.fr](http://www.geo littoral.developpement-durable.gouv.fr)

Source - Copyrights :  
Province sédimentaire - Cerema & MEEEM  
Candhis - Cerema 2015  
Bassin littoral de l'Orne - Ifremer  
Pyrénées-Orientales - EEA  
GEOFLAV - ©IGN Paris - Reproduction interdite  
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012  
Cours d'eau - BD Carthage  
BD Aire - ©IGN Paris - Reproduction interdite



Figure 14-Rose des houles issues de l'analyse des données de mesure in situ Candhis. Source : (Cerema, 2020)

On constate ainsi que les houles de nord sont négligeables et que la majorité des houles supérieures à 1 m proviennent du secteur est.

En Occitanie, ce sont les zones sud du Narbonnais ainsi que le Roussillon qui subissent préférentiellement les houles extrêmes (hauteurs et périodes). Ces houles viennent de l'est-sud-est avec des hauteurs significatives qui peuvent dépasser les 6 m.

**Le rapport du Cerema (Kergadallan & Cerema, 2023) présente une analyse détaillée des valeurs annuelles et des valeurs extrêmes lors des événements remarquables des données d'états de mer du réseau CANDHIS disponibles au 1<sup>er</sup> mars 2023.**

Dans ce rapport, l'analyse des valeurs extrêmes est effectuée sur les H1/3 (m) pour les campagnes de mesures de durée cumulée supérieure ou égale à deux ans. *A noter que les données concernant la bouée de l'Espiguette sont en cours de révision et disponibles en annexe 6.3 en attendant la publication à venir.*

Pour le littoral d'Occitanie, au vu de cette analyse, les périodes de retour calculées pour les événements extrêmes de H1/3 (m) sont les suivantes :

Campagne de mesures des bouées CANDHIS	Période de retour	H1/3 (m)	
		GPD	Loi exp.
Espiguette 03001	5 ans	4,33	4,41
	10 ans	4,49	4,71
	20 ans	4,62	5,01
	50 ans	4,75	5,41
Leucate 01101	5 ans	5,29	5,52
	10 ans	5,75	6,12
	20 ans	6,17	6,72
	50 ans	6,69	7,51
Sète 03403-03404	5 ans	5,05	5,29
	10 ans	5,34	5,75
	20 ans	5,59	6,21
	50 ans	5,87	6,82
Banyuls 06601	5 ans	5,34	5,37
	10 ans	5,88	5,94
	20 ans	6,41	6,51
	50 ans	7,10	7,27

Pour ces périodes de retour, deux estimations sont fournies, établies respectivement par deux lois de distribution théoriques : la GPD (Generalized Pareto Distribution) et la loi Exp. (exponentielle) (voir le rapport (Kergadallan & Cerema, 2023), pour plus de détails).

### 1.2.9 Les cellules hydro-sédimentaires

Le régime des houles expliqué précédemment, couplé aux variations spatiales et temporelles du disponible sédimentaire, permettent de définir des cellules hydrosédimentaires qui expliquent localement le fonctionnement du littoral. Les 6 cellules classiquement définies dans la littérature (Brunel, 2010; Durand, 1999; Sabatier *et al.*, 2004) sont :

- Les plages de poches de la côte Vermeille : cette côte décrit un tracé tourmenté, avec un relief accentué (certaines falaises atteignent 200 m) marqué par une succession de caps rocheux délimitant des anses et criques, au fond desquelles se trouvent les "plages de poche". Cloisonnées par le découpage rocheux de la côte, ces plages de poche ne sont pas connectées entre elles. Elles évoluent donc en autonomie, avec un stock de matériaux hérité, chaque plage constituant de fait une cellule hydro-sédimentaire. Ces plages de poche à la dynamique très particulière ont fait l'objet d'une étude menée par l'EID pour le compte de la DREAL Occitanie : (Heurtefeux, 2014). De plus, les côtes à falaises ne peuvent que reculer. Leur recul est souvent complexe à appréhender en raison de la combinaison des actions continentales (infiltration, ruissellement...) en haut de falaise et des actions directes de la mer (houle, érosion de pied de falaise) qui s'exercent sur les massifs rocheux de caractéristiques très diverses (lithologie, altération, fracturation ...).
- D'Argelès à l'embouchure du Tech : cette cellule est alimentée par les apports du Tech, avec des transferts résultants du Nord vers le Sud.
- De l'embouchure du Tech au Grau de la Vieille Nouvelle : cette cellule est alimentée par les apports des trois fleuves du Roussillon (Tech, Têt, Agly), dans le cas d'un transit résultant du Sud vers le Nord estimé entre 10 000 et 40 000 m<sup>3</sup>/an. La frontière supérieure de cette cellule est fluctuante et perméable. La divergence des deux dérives (S-N et N-S) au niveau de l'embouchure du Tech peut en effet légèrement se déplacer au gré de l'importance relative des houles de Tramontane et de SE (Durand, 1999).
- De la Vieille Nouvelle à l'embouchure de l'Hérault : elle est alimentée par les apports des fleuves du Languedoc (Aude, Orb, Hérault), dans le cadre d'un transit résultant vers le SW estimé entre 10 000 et 40 000 m<sup>3</sup>/an. La limite de cette cellule avec la précédente correspond à la convergence des dérives entre le Languedoc et le Roussillon. Cette limite est aussi fluctuante, perméable et se déplace de part et d'autre du Grau d'Agde en fonction de l'importance relative des deux dérives littorales (Durand, 1999).
- De l'embouchure de l'Hérault au cap d'Agde : cette cellule a été distinguée de la cellule précédente, car elle ne bénéficie pas d'une alimentation significative des fleuves languedociens, mais dépend principalement des apports venant du Rhône. La frontière avec la cellule sous-jacente n'est pas imperméable, même si les jetées qui calibrent l'embouchure de l'Hérault doivent intercepter une bonne partie des faibles transferts résultants.
- Du cap d'Agde à Sète : cette cellule se différencie des autres par une nette prépondérance des transferts transversaux sur le transport longitudinal, caractérisée par une dérive dominante SW, estimée entre 10 000 et 100 000 m<sup>3</sup>/an. Sa limite au Sud est fixe mais perméable.
- De Frontignan à l'Espiguette : le transfert sédimentaire résultant est orienté vers l'Est, privant le littoral Languedocien d'une partie des apports rhodaniens potentiels (Certain, 2002) et est estimée entre 10 000 et 100 000 m<sup>3</sup>/an. La frontière avec la cellule située plus au Sud est fixe et imperméable du fait des aménagements portuaires et du massif rocheux de Sète.

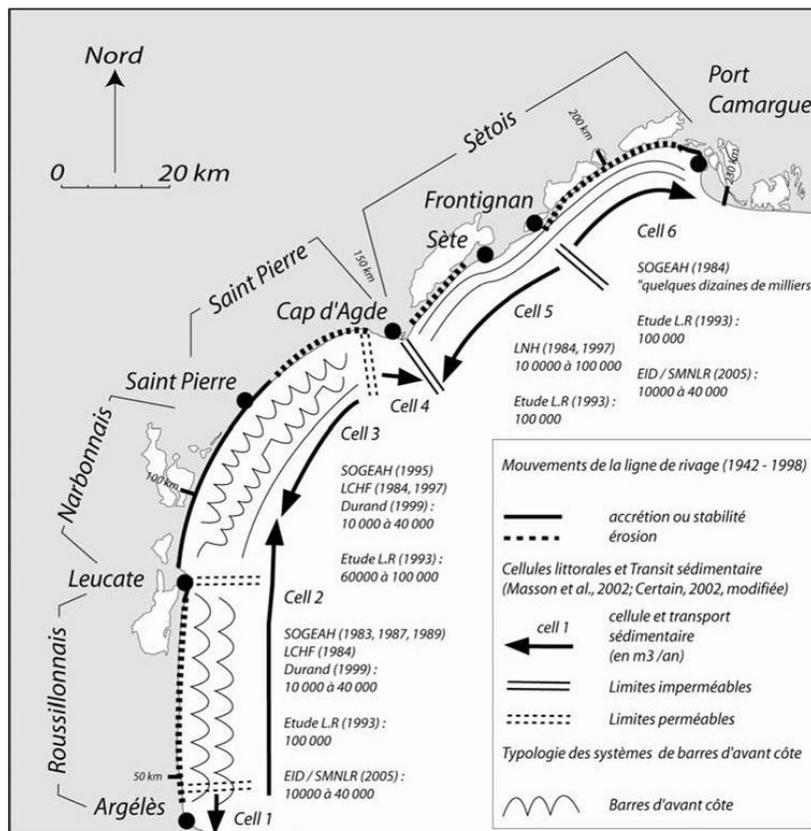


Figure 15-Carte synthétique des cellules littorales et du transit sédimentaire en Occitanie. Source : (Brunel, 2010)

### 1.2.10 Les relations trait de côte / volume sableux d'avant-côte

L'étude REVOLSED « Relation entre évolution du trait de côte et bilan sédimentaire de l'avant-côte du Languedoc-Roussillon » (Cédric Brunel *et al.*, 2014) est une prospection de la relation entre l'évolution dynamique du trait de côte (TC) et le stock sableux d'avant côte (= Bilan Sableux d'Avant-Côte = BSAC).

Dans cette étude, plusieurs modèles ont été définis tels que :

- Le modèle standard d'évolution : morphodynamique où le profil de plage ne change pas de pente et se translate parallèlement à lui-même, vers le large en cas d'accrétion et vers la côte en cas d'érosion, puisque le TC évolue proportionnellement aux mouvements du fond synthésisés par le BSAC ;
- Les types « Progradant », « Progradant-Erosif » et « Erosif » traduisent eux une augmentation de la pente du profil de plage mesurée entre le trait de côte et la limite au large de l'avant côte. Dans le cas bien particulier du profil « Progradant-Erosif » le trait de côte prograde alors que les petits-fonds s'érodent ;
- Les types « Accumulant », « Rétrogradant » et « Rétrogradant-Accumulant ». Dans ce dernier cas bien particulier, la pente du profil diminue puisque leur trait de côte rétrograde alors que leurs fonds gagnent du sédiment.

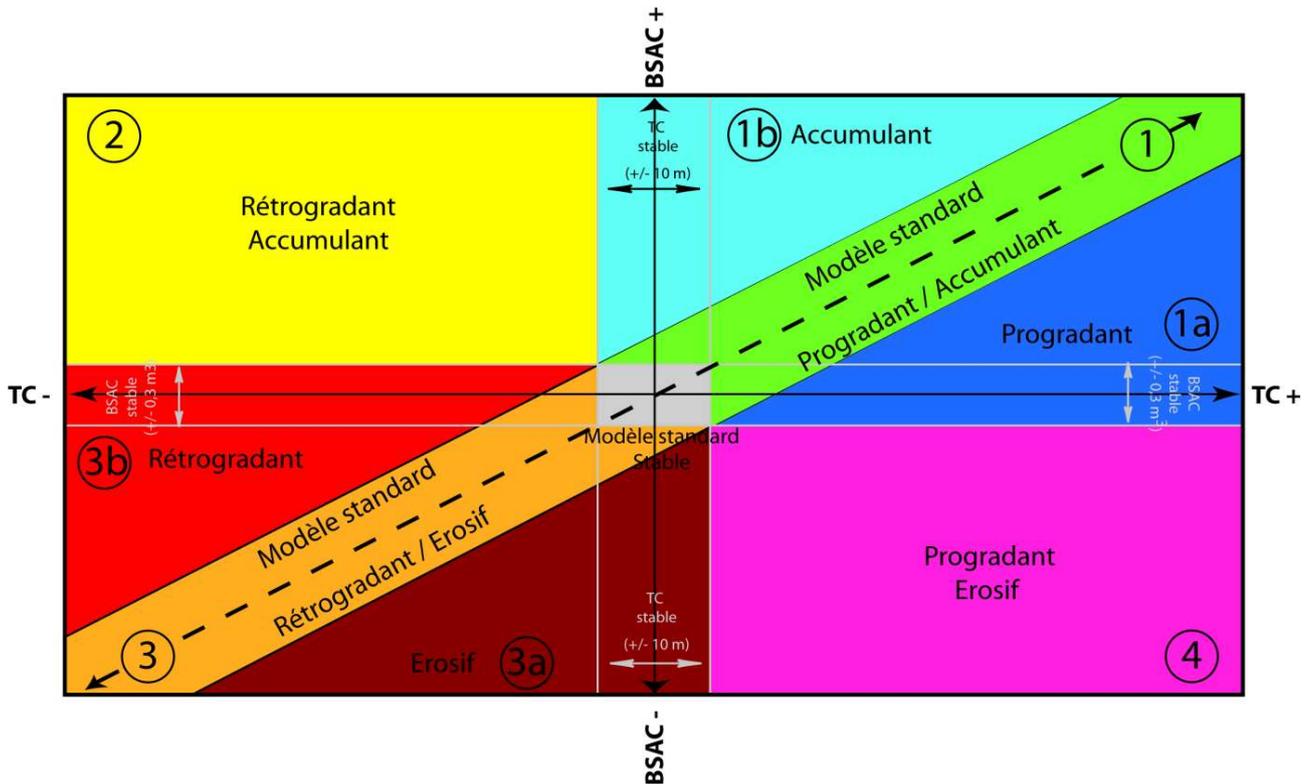


Figure 16-Schéma synthétique de la typologie de la relation TC/BSAC

TYPOLOGIE DES RAPPORTS TRAIT DE COTE / BILAN SEDIMENTAIRE DE L'AVANT COTE	EROSION	ACCRETION	Stabilité
MODELE STANDART D'EVOLUTION = EVOLUTION DU TRAIT DE COTE PROPORTIONNELLE AU BILAN SEDIMENTAIRE DE L'AVANT COTE 1 TC = 4 BSAC	<b>Modèle standard d'évolution Rétrogradant / Erosif</b> -1 TC = -4 BSAC 	<b>Modèle standard d'évolution Progradant / Accumulant</b> 1 TC = 4 BSAC 	<b>Modèle standard d'évolution Stable</b> TC < +/- 10 m BSAC < +/- 0.3 m³ 
EVOLUTION DU BILAN SEDIMENTAIRE DE L'AVANT COTE PROPORTIONNELLEMENT PLUS IMPORTANTE QUE CELLE DU TRAIT DE COTE	<b>Erosif</b> TC- (ou stable) < BSAC- 	<b>Accumulant</b> TC+ (ou stable) < BSAC+ 	
EVOLUTION DU TRAIT DE COTE PROPORTIONNELLEMENT PLUS IMPORTANTE QUE CELLE DU BILAN SEDIMENTAIRE DE L'AVANT COTE	<b>Rétrogradant</b> TC- > BSAC- (ou stable) 	<b>Progradant</b> TC+ > BSAC+ (ou stable) 	
OPPOSITION DES TENDANCES ENTRE EVOLUTION DU TRAIT DE COTE ET BILAN SEDIMENTAIRE DE L'AVANT COTE	<b>Rétrogradant / accumulant</b> TC- ; BSAC+ 	<b>Progradant / érosif</b> TC+ ; BSAC- 	

Figure 17-Tableau synthétique des différents types de relation TC/BSAC observés dans les graphiques de corrélation

Cette étude cible des zones particulières en Occitanie pour lesquelles le manque de stock sableux d'avant-côte pourrait jouer un rôle aggravant dans le recul du trait de côte. Ces modèles particuliers sont plus les « Progradant-Erosif » et « Erosif ». Dans le premier cas, le trait de côte apparaît stable alors que le manque de sédiments en avant-côte mènera à des tendances de recul dans l'avenir. Dans le second cas, le recul déjà à l'œuvre au niveau du trait de côte s'aggravera dans l'avenir par manque de sédiments en avant-côte.

Alors que l'étude REVOLSED donne une vision à l'échelle séculaire de la relation du couple trait de côte/bilan sédimentaire d'avant-côte sur l'ensemble du littoral de la région Occitanie, le projet REVOLSTOCK propose une prospective à l'horizon 2050 des tendances d'évolution du trait de côte combinée à celle du bilan sédimentaire d'avant-côte (Olivier Raynal *et al.*, 2018). Cette projection prend en compte les forçages externes (houles, vents, etc.) et les paramètres intrinsèques des plages (pente, morphologie, granulométrie).

Cette étude montre le retard que peut prendre la réponse du trait de côte aux processus érosifs de l'avant-côte. Le comportement de certains secteurs littoraux qui présentent actuellement un trait de côte en faible rétrogradation voire même stable malgré une érosion de l'avant-côte ne sera pas pérenne. En effet, l'érosion de l'avant-côte déstabilisera l'ensemble du prisme sableux (augmentation de la pente du profil de plage, diminution importante du stock sableux, mise à l'affleurement du substrat rocheux, etc.) et provoquera à terme un recul du trait de côte.

L'extrait suivant illustre la synthèse des résultats de l'étude avec sur la carte A, la cartographie des typologies du Couple TC/BSAC (en référence aux encadrés de la Figure 17) et en carte B, les intensités de l'aléa recul du trait de côte et érosion de l'avant-côte.

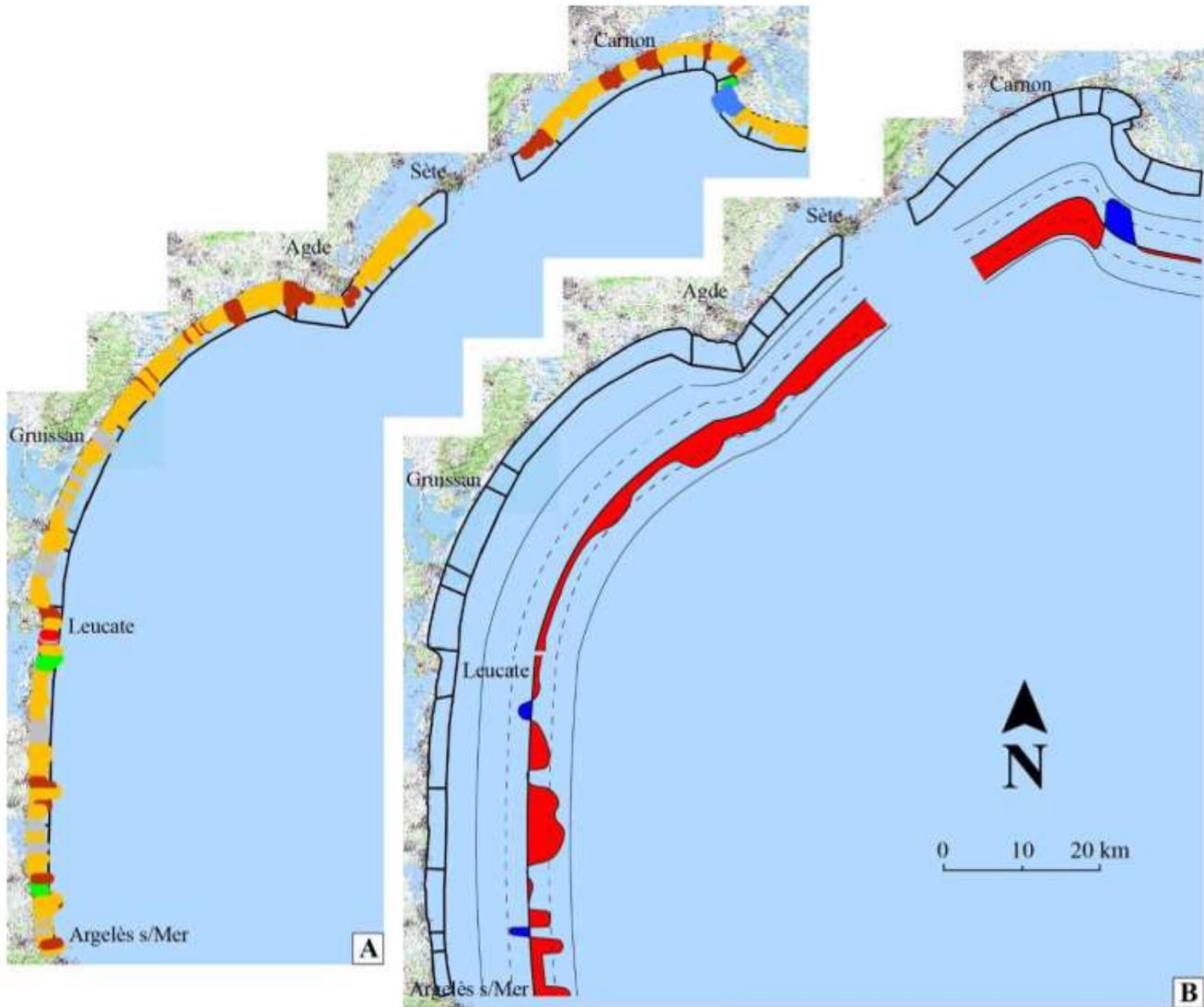


Figure 18-Prospective à l'horizon 2050 de l'évolution du littoral à l'échelle régionale. A - cartographie des typologies du Couple TC/BSAC en référence à la Figure 17. B - intensité de l'aléa recul du trait de côte et érosion de l'avant-côte.

### 1.2.11 Connaissance des phénomènes induisant des reculs majeurs du trait de côte

Chaque année, le littoral du Golfe du Lion est soumis à plusieurs épisodes de tempêtes marines, qui occasionnent des impacts plus ou moins importants sur la côte.

Une tempête marine est généralement définie comme un évènement pour lequel la hauteur des vagues dépasse un seuil déterminé en fonction des caractéristiques locales durant un intervalle de temps assez long.

La plupart des tempêtes qui affectent le littoral d'Occitanie génèrent des vagues dont la hauteur significative est de l'ordre de 3 mètres. Cependant, lors d'évènements extrêmes, ces valeurs peuvent être largement dépassées, générant des reculs majeurs du trait de côte et le franchissement du cordon littoral séparant la mer de la lagune peut avoir lieu par les vagues soit de manière temporaire au pic de la tempête soit de manière continue pendant l'intégralité de la tempête. Ce fut par exemple le cas dans certains secteurs lors des tempêtes extrêmes de novembre 1982 et de décembre 1997 où la hauteur significative des vagues a atteint des valeurs de 7 mètres au large de Sète. La tempête de 1997 a notamment provoqué des dommages importants sur l'ensemble du littoral régional tant sur les espaces naturels que sur les zones urbanisées.

Le golfe du Lion est soumis à un climat de type méditerranéen tant par sa position géographique que par la présence de la mer. Cependant, la Méditerranée occidentale constitue un des secteurs de cyclogenèse active du bassin méditerranéen, ce qui explique que le littoral Languedocien ne soit pas exempt des phénomènes violents que sont les tempêtes marines (Tabeaud, 1995). Globalement, la saison estivale, de mai à septembre, constitue la phase habituelle de rémission des tempêtes compte tenu du caractère anticyclonique du champ de pression. Quelques évènements tempétueux peuvent toutefois survenir plusieurs fois par décennie et le plus souvent avec violence.

C'est en hiver que les tempêtes sont les plus nombreuses en raison d'un champ de pression beaucoup plus dépressionnaire à cette saison. Dans tous les cas, les épisodes de tempêtes interviennent en fonction de conditions aérologiques à grande échelle déterminant la direction des vents et de la houle. Leur origine peut être variable et on distingue dans le Golfe du Lion 3 différents types de tempêtes.

	Vents	Houle	Exemples	Caractéristiques
Tempêtes de Sud-Sud-Est	Sud-Est	Sud-Est	Novembre 1982 Décembre 1997	Dépression centrée sur le Golfe de Gascogne couplée à un anticyclone en Europe Centrale
Tempêtes d'Est	Nord-Est	Est	Décembre 2008	Système dépressionnaire sur les Baléares Vaste anticyclone sur la Sibérie
	Est à Sud-Est	Est	Novembre 1999	Dépression sur les Baléares couplée à un anticyclone sur l'Irlande
Tempêtes liées à des épisodes cévenols	Sud à Sud-Est	Sud à Sud-Est	Décembre 2003 Octobre 2009	Dépression centrée sur l'Atlantique Flux de Sud accompagné de fortes pluies

Figure 19-Typologies des tempêtes affectant le littoral du Golfe du Lion (Balouin et al., 2011)

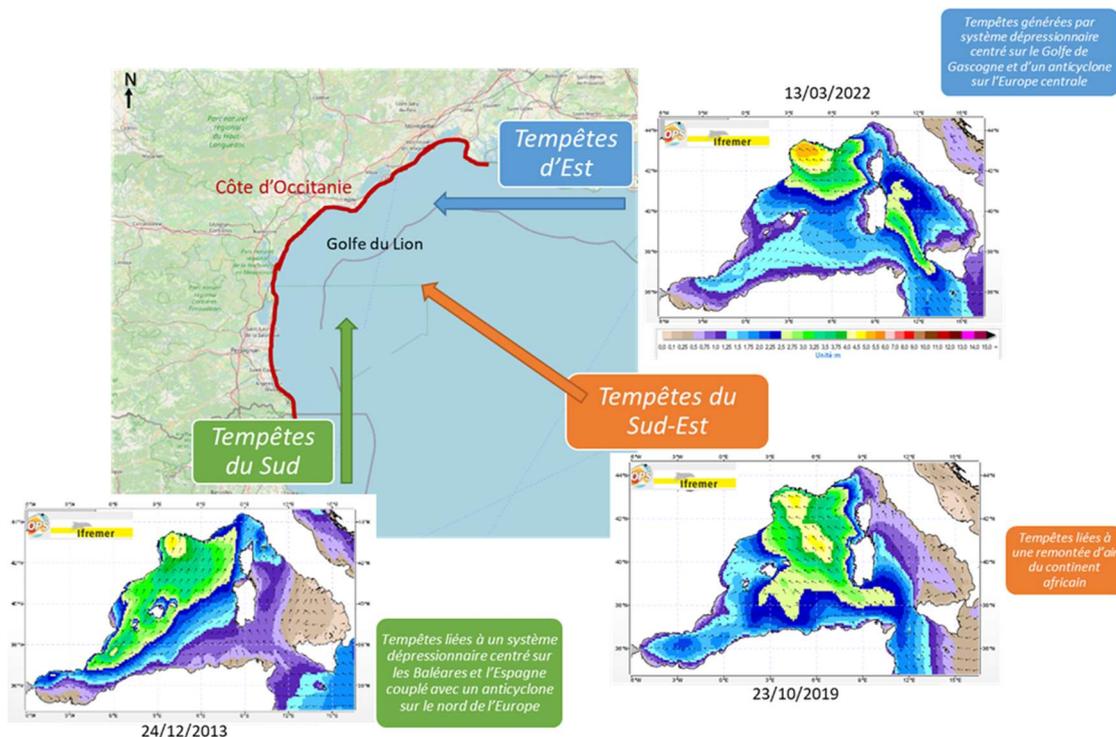


Figure 20-Orientations et genèses des principaux types de tempêtes affectant le Golfe du Lion.

### Impacts morphologiques liés aux tempêtes

En fonction des conditions climatiques initiales et du secteur concerné, les phénomènes de tempêtes marines peuvent induire de nombreux impacts morphologiques sur le littoral ainsi qu'une évolution plus ou moins importante du bas de plage en cas de faible surcote ou du haut de plage et de l'arrière-plage en cas de forte surcote. Parmi ces impacts, on peut observer l'érosion de la plage et du cordon dunaire, les phénomènes de franchissement ainsi que la submersion des zones côtières basses. Ces derniers sont généralement associés au choc mécanique des vagues qui peut affecter les fronts dunaires, mais également les ouvrages, le bâti, et produire un recul significatif.



Figure 21-Exemples d'impacts des tempêtes sur le littoral d'Occitanie en termes d'érosion, submersion et dégâts.

Le niveau d'impact observé résulte principalement des caractéristiques physiques de la tempête : hauteur de vague, durée, surcote. Une analyse réalisée en 2011 par le BRGM (Balouin, 2011) a permis de croiser les conditions physiques des tempêtes passées avec le niveau d'impact observé recensé dans la BD-Tempêtes d'Occitanie (<http://littoral-occitanie.fr/Le-reseau-tempetes>). Cette étude a montré que si une concomitance forte vagues/forte surcote génère le plus d'impact, les niveaux d'érosion, de submersion et de dégâts sont globalement corrélés avec la hauteur de vague significative au large. Cette étude a permis de proposer une échelle d'impact en fonction de ce paramètre qui est utilisé aujourd'hui dans l'analyse des tempêtes.

Niveau	Houle	Erosion	Submersion	Dégâts	
0	Hs < 3m	Pas d'érosion	Plage partiellement recouverte	Pas de dommages observés	○
1	Hs > 3m	Départ de sable apparent	Plage recouverte - Régime de <i>collision</i>	Ganivelles endommagées	●
2	Hs > 4m	Départ de sable avec brèches de petites dimensions	Plage recouverte et traces de circulation à l'arrière du cordon dunaire - Régime d' <i>overwash</i>	Ganivelles et enrochements endommagés	●
3	Hs > 5m	Front d'érosion dunaire et brèches bien formées. Dépôt de sable en arrière du cordon dunaire. Recul du trait de côte	Vagues franchissantes, inondation de l'arrière-dune - Régime d' <i>inondation</i>	Ganivelles, enrochements, bâtiments, campings et autres infrastructures endommagés	●

Figure 22-Echelle d'impacts (érosion, submersion, dégâts) en fonction des hauteurs de vagues au large (Réseau Tempêtes Occitanie).

Les impacts morphologiques lors d'épisodes tempétueux ne sont néanmoins pas uniquement dépendants des caractéristiques de la tempête telle la hauteur des vagues ou la surcote. La morphologie du cordon dunaire ainsi que son élévation constituent également des paramètres importants. Le cordon littoral représente à cet égard la première ligne de défense naturelle à terre. En effet, il est évident que des portions de littoral ne présentant pas de dunes ou des dunes faiblement développées seront plus vulnérables aux aléas que des portions de littoral présentant des dunes évoluées. L'élévation du niveau marin va également jouer un rôle majeur dans l'impact morphologique de ces tempêtes sur ces lidos et donc, dans leurs vulnérabilités face au recul du trait de côte.

### 1.2.12 Les projections du GIEC en Occitanie

Si l'évolution du trait de côte observée aujourd'hui est essentiellement liée à la dynamique hydro-sédimentaire actuelle, au déficit du stock sédimentaire et aux actions anthropiques, l'élévation du niveau de la mer va également induire un envahissement des zones topographiquement basses et une intensification des impacts des tempêtes dans le futur (Reco, 2021).

Le 6ème rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (Giec, 2021) a choisi d'évaluer la réponse du climat futur à cinq scénarii socio-économiques qui couvrent l'éventail des développements futurs possibles des facteurs anthropiques du changement climatique trouvés dans la littérature. Les cinq scénarii retenus par le Giec sont les suivants :

- Deux scénarii avec des émissions de GES élevées et très élevées : SSP3-7.0 et SSP5-8.5. Le scénario SSP5-8.5-*Low confidence* prend également en compte l'impact potentiel de la fonte des glaces arctique et antarctique sur le niveau marin global ;
- Un scénario avec des émissions de GES intermédiaires : SSP2-4.5 ;
- Deux scénarii avec des émissions de GES très faibles et faibles : SSP1-1.9 et SSP1-2.6.

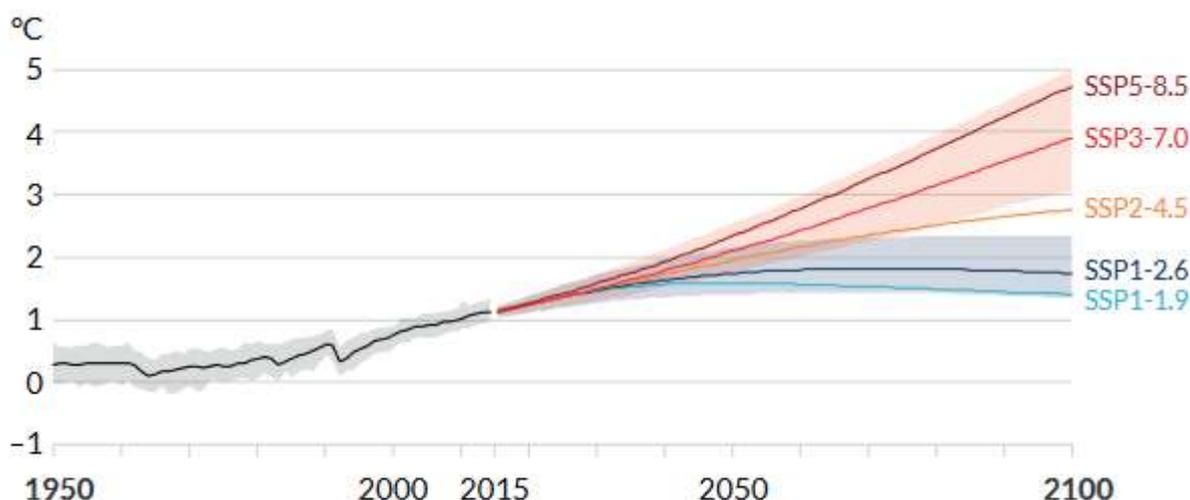


Figure 23-Trajectoires de réchauffement planétaire selon les cinq scénarii SSPx-y retenus dans le résumé pour décideurs du Giec (Giec, 2021).

L'élévation du niveau marin est une conséquence directe du changement climatique.

**En raison des émissions anthropiques de gaz à effet de serre, la rapidité du changement climatique dans le bassin méditerranéen (historique et projeté par les modèles climatiques) est supérieure aux tendances mondiales. La hausse du niveau de la mer entraînera dans le futur, une augmentation de la fréquence et de l'intensité des submersions et de l'érosion côtière (MedECC, 2020).**

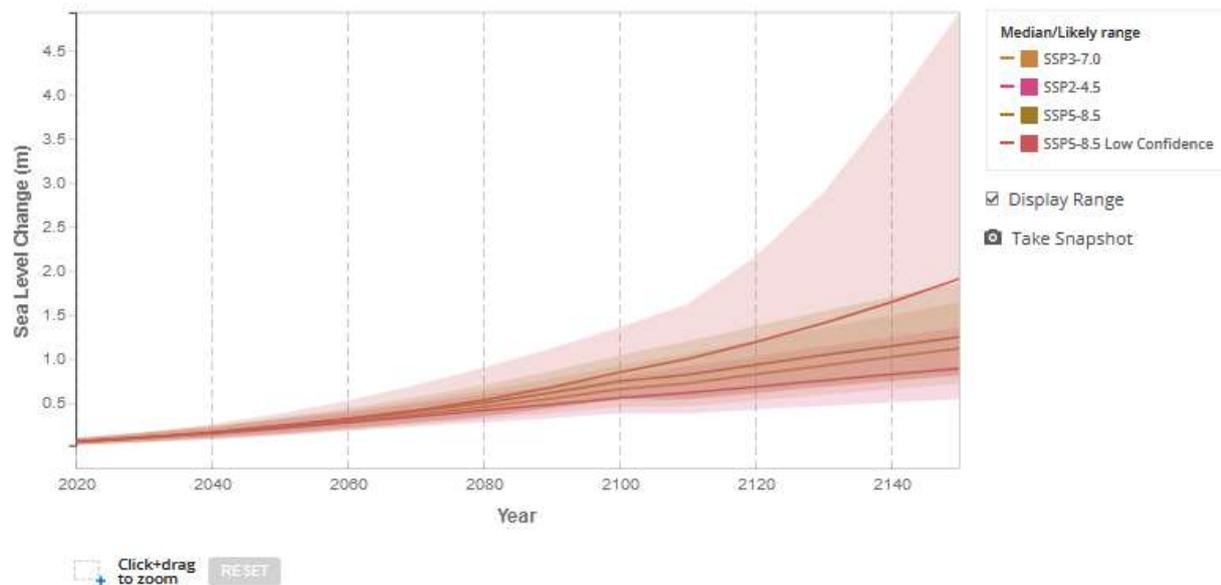
La Nasa a mis en ligne un atlas interactif permettant de **visualiser l'élévation du niveau marin attendue à l'échelle régionale** pour différentes échéances temporelles et scénarii du GIEC. Ces projections sont disponibles à l'adresse suivante pour les ports de Sète et de Port-Vendres en Occitanie :

[https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?psmsl\\_id=958](https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?psmsl_id=958)

Pour exemple, le graphique suivant présente les différentes projections de l'élévations du niveau marin estimés au port de Sète au travers de certains scénarii SSP du Giec. Les projections sont affichées avec leurs marges d'incertitudes respectives illustrées par des zones en filigrane.

## Projected Sea Level Rise Under Different SSP Scenarios

Sea level change for SSP scenarios resulting from processes in whose projection there is *medium confidence*. Two *low-confidence* scenarios, indicating the potential effect of low-likelihood, high-impact ice sheet processes that cannot be ruled out, are also provided. Shaded ranges show the 17th-83rd percentile ranges. Projections are relative to a 1995-2014 baseline. The plot below shows the projection and uncertainties for 'Total Sea Level Change'. Data for the individual contributions can be downloaded under 'Get Data'.



### SCENARIO ⓘ

SSP1-1.9    SSP1-2.6    **SSP2-4.5**    **SSP3-7.0**    **SSP5-8.5**    SSP1-2.6 Low Confidence    **SSP5-8.5 Low Confidence**    GET DATA ▼

Figure 24-Projections d'élévation du niveau marin à Sète au travers des scénarii du Giec pertinents pour l'élaboration des cartes locales (Source : Nasa , basé sur projection GIEC 6<sup>e</sup> rapport, (Giec, 2021) [https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?psmsl\\_id=958](https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?psmsl_id=958)).

Ainsi, les scénarii de projections du phénomène de subsidence (tableau du bas) et de surélévation future du niveau marin (tableau du haut) dans les ports de Sète et de Port-Vendres sont :

Surélévation totale du niveau marin (valeur médiane en m) [vitesse (mm/an)]	2055		2125	
	Sète	Port-Vendres	Sète	Port-Vendres
SSP2-4.5	0,25 m [6,2 mm/an]	0,24 m [6 mm/an]	0,72 m [6,95 mm/an]	0,70 m [6,85 mm/an]
SSP3-7.0	0,26 m [6,5 mm/an]	0,25 m [6,45 mm/an]	0,88 m [9,95 mm/an]	0,86 m [9,85 mm/an]
SSP5-8.5	0,28 m [7,3 mm/an]	0,27 m [7,1 mm/an]	0,99 m [11 mm/an]	0,98 m [10,9 mm/an]
SSP5-8.5 Low Confidence	0,28 m [7,85 mm/an]	0,28 m [7,75 mm/an]	1,3 m [21,45 mm/an]	1,3 m [21,4 mm/an]
Subsidence (= Vertical Land Motion; valeurs médianes en m)	2055		2125	
	Sète	Port-Vendres	Sète	Port-Vendres
SSP2-4.5	0,01	0	0,02	0
SSP3-7.0	0,01	0	0,02	0
SSP5-8.5	0,01	0	0,02	0
SSP5-8.5 Low Confidence	0,01	0	0,02	0

Figure 25-Projections d'élévation du niveau marin et du phénomène de subsidence en Occitanie. Source : Nasa, basé sur le 6<sup>ème</sup> rapport du Giec (Giec, 2021) [https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?psmsl\\_id=958](https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?psmsl_id=958).

Bien que négligeables, les valeurs de subsidence sont incluses dans les valeurs globales de surélévation totale du niveau marin fournies dans le tableau du haut.

A noter que les valeurs minimales d'élévation du niveau marin recommandées dans le document national pour l'élaboration de la carte locale sont de :

- **Horizon 30 ans** = + 20 cm dans le scénario médian et sécuritaire
- **Horizon 100 ans** = + 60 cm dans le scénario médian et + 100 cm dans le scénario sécuritaire

**En Occitanie, il est donc recommandé d'utiliser :**

- **Horizon 30 ans =**
  - **Scénario médian** : valeurs régionalisées de la Nasa : **de +24 cm à +26 cm** en fonction du scénario GIEC choisi *SSP2-4.5 ou SSP3-7.0* et du port de référence le plus proche de la zone d'étude ;
  - **Scénario sécuritaire** : valeurs régionalisées de la Nasa : **de +27 cm à +28 cm** en fonction du scénario GIEC choisi *SSP5-8.5 ou SSP5-8.5LC* et du port de référence le plus proche de la zone d'étude.
  
- **Horizon 100 ans =**
  - **Scénario médian** : valeurs régionalisées de la Nasa : **de +70 cm à +88 cm** en fonction du scénario GIEC choisi *SSP2-4.5 ou SSP3-7.0* et du port de référence le plus proche de la zone d'étude) ;
  - **Scénario sécuritaire** : **de +1 m** (valeur minimale recommandée dans le document national et quasiment égale à la valeur régionalisée pour le scénario *SSP5-8.5* qui est de + 98 cm ou + 99 cm selon le port de référence) à **+1,3 m** (valeurs régionalisées de la Nasa, scénario GIEC *SSP5-8.5LC*).

Ces recommandations sont susceptibles d'évoluer en fonction de la définition en cours de la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC), dans le cadre du Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC, <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/document-reference-TRACC.pdf>).

## 2 RECUEIL DE DONNEES

Ce chapitre vise à recenser les plateformes en ligne disposant d'informations ou de données utiles à la production des cartes locales. Pour chaque plateforme, des données particulières sont mises en avant et pointées dans la marge par le logo suivant :



### 2.1 Les plateformes d'accès aux données

#### 2.1.1 Le Cerema

Le site du Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) offre un large panel d'études disponibles en téléchargement gratuit.

La **plateforme documentaire du Cerema** donne accès aux études et guides méthodologiques qu'il produit : <https://doc.cerema.fr/>



Plateforme  
documentaire



Sur cette plateforme, les données téléchargeables gratuitement et particulièrement intéressantes pour la construction des cartes locales sont :

- Étude de l'intensité-durée-fréquence des houles et niveaux marins au large de Sète (TRMAL & Cerema, 2019) ;
- Dynamiques et évolution du littoral - Fascicule 08 : de la frontière espagnole à Port-de-Bouc : Synthèse des connaissances (Cerema, 2020) ;

Ces documents (synthèse et atlas Cerema, 2020) sont des synthèses des études et données produites sur l'évolution du littoral Occitanie afin de restituer de manière simple l'état des connaissances scientifiques et techniques. Ils abordent 5 grands thèmes que sont, la physiographie, l'hydrodynamisme, la sédimentologie, les activités humaines et l'évolution du trait de côte, ainsi qu'un bilan des transferts sédimentaires généraux.

De plus, les plateformes **CeremaData** et **GeoLittoral** permettent de visualiser et télécharger les données géomatiques sur le littoral :

- <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/open-data-cerema>
- <https://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/>



GéoLittoral

Le portail de la planification de la mer et du littoral



Sur ces plateformes, les données téléchargeables gratuitement et particulièrement intéressantes pour la construction des cartes locales sont :

- Les ouvrages et aménagements littoraux (mise à jour 2023 pour l'Occitanie) : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/cartographie-ouvrages-amenagements-littoraux-methode>
- Les cartographies d'invasion des zones basses aux niveaux PHMA et PHAM + 1 m (production 2023) : <https://cartagene.cerema.fr/portal/apps/instant/minimalist/index.html?appid=8701058d09384ee91f01cf918cf4d66>

- Indicateur national de l'érosion côtière : <https://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/indicateur-national-de-l-erosion-cotiere-a1434.html>
- Les relevés du suivi du trait de côte par smartphone : science participative : traits de côte relevés par le GPS du smartphone dans le cadre de l'application Rivages : <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/applications/appli-mobile-rivages>
- Les orthophotographies (photos aériennes orthorectifiées) V2 et V3 (en cours de production) : [https://cartagene.cerema.fr/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=2b9920e9ac6747b6ab2be8bb722742c7&page=page\\_0](https://cartagene.cerema.fr/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=2b9920e9ac6747b6ab2be8bb722742c7&page=page_0) et <https://www.cerema.fr/fr/actualites/ortho-littorale-v3-suivez-chantier-realisation-du-nouveau>
- Le ruissellement sur l'Arc Méditerranéen : Modélisation Exzeco en Occitanie : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/modelisation-du-ruissellement-bassins-versants-methode>



Plus particulièrement, la cartographie nationale des ouvrages et des aménagements littoraux publié par le Cerema en 2019 recense (Cerema, 2019a), identifie et date les ouvrages littoraux et les aménagements tels que des digues, jetées, brise-lame à l'échelle nationale.

Une mise à jour est en cours de production dans le cadre de la mise à jour de l'indicateur national de l'érosion côtière (Convention DGALN / Cerema). Cette mise à jour se base sur des orthophotographies littorales IGN (résolution 20 cm) récentes (2021) et une nouvelle typologie (celle du SAR : Service d'Administration & des Référentiels marins, 2021). La méthodologie et le format des fichiers indiqués dans le rapport d'étude « Élaboration de la cartographie des ouvrages et aménagements littoraux » (Cerema, 2019a) sont quasi-identiques. La principale nouveauté sera la prise en compte de la typologie des ouvrages littoraux développée pour le SAR.

La typologie SAR 2021 utilisée dans la mise à jour de la base de données « Ouvrages littoraux » est détaillée en annexe 6.7.



De plus, le **réseau des bouées CANDHIS** (Centre d'Archivage National des Données de Houle In Situ, <https://candhis.cerema.fr/>) vise à fournir des mesures in-situ des états de mer (hauteur, période, direction de provenance des vagues) dans le domaine proche côtier (Kergadallan & Cerema, 2023). La répartition en Occitanie de ce réseau de bouée est présentée en annexe. A noter que seules quatre bouées de houle sont actuellement fonctionnelles et permettent d'avoir des données temps réels.

Les plateformes citées ci avant, donnent accès aux téléchargements des données temps réel et archivées des états de mer pour chaque bouée du réseau (<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/open-data-cerema>).

## 2.1.2 Le BRGM / site InfoTerre

Le site InfoTerre <https://infoterre.brgm.fr/rechercher/default.htm> est le portail d'accès à l'information scientifique et technique du BRGM. Il permet d'accéder à la connaissance géologique et aux données géoscientifiques interopérables. Il permet également l'accès aux études du BRGM, et notamment aux rapports concernant le suivi ou la connaissance de l'évolution du trait de côte :



- Rapports OBSCAT (également disponibles sur <https://obscat.fr/>) ;
- Suivi par vidéo du Lido de Sète ;
- Rapport d'actualisation de l'aléa érosion de 2011 ;
- Rapport sur le recul événementiel (Valentini, N & Balouin Y, 2020) ;
- Etudes vulsaco, Miseeva, SolTer, Micore sur les impacts du changement climatique et les impacts morphologiques des tempêtes.

### 2.1.3 Le Shom : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

La plateforme **Diffusion SHOM** est un accès libre aux données open-source du Shom : <https://diffusion.shom.fr/>



Sur cette plateforme, les données téléchargeables gratuitement et particulièrement intéressantes pour la construction des cartes locales sont :

- Le document RAM : Références Altimétriques Maritimes 2022 (Shom, 2022) : . niveaux caractéristiques de la marée (PHMA, NM ..) , les côtes des « Zéros hydrographiques » dans les systèmes de référence altimétriques légaux
- Les données de niveau marin archivées et temps réel, des marégraphes disponibles du Réseau marégraphique français ( accessibles via DATA SHOM)

### 2.1.4 La Banque Hydro et Vigicrues

La plateforme de la **banque Hydro** permet d'accéder gratuitement aux données publiques quantitatives relatives à l'écoulement des cours d'eau (hauteurs, vitesses, jaugeages, débits, statistiques etc.) : <https://www.hydro.eaufrance.fr/>

La répartition en Occitanie des stations hydrométriques de mesures in-situ est présentée en annexe 6.5.



Les données des stations le long des cours d'eau sont traitées et disponibles sur les plateformes **HydroPortail** (<https://www.hydro.eaufrance.fr/>) ou **Vigicrues** (<https://www.vigicrues.gouv.fr/>). Le processus de traitements de ces données est tel que :

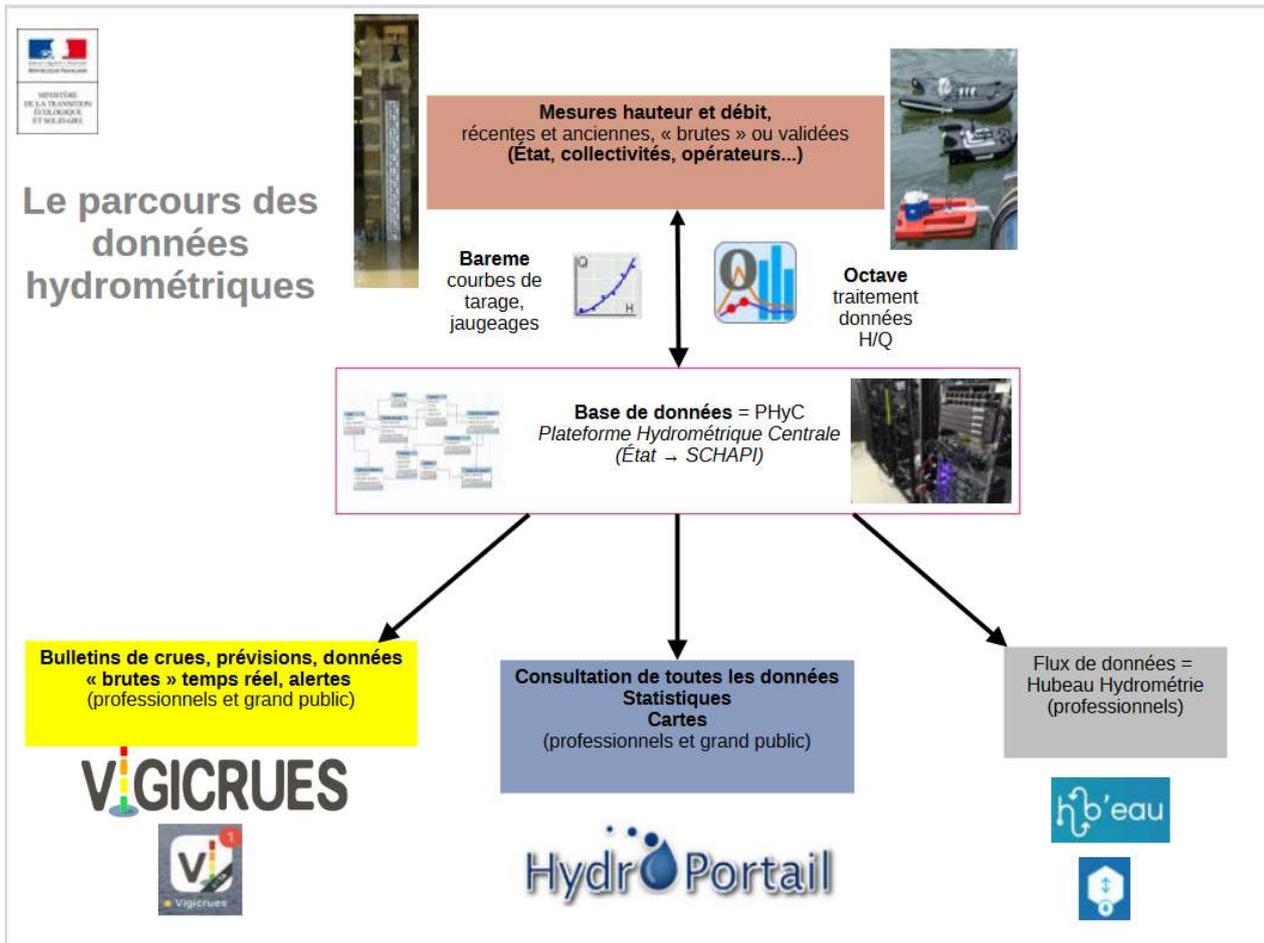


Figure 26-Le parcours des données hydrométriques dans le réseau de la banque hydro. Source : Cerema

### 2.1.5 DREAL Occitanie / PictOccitanie

<https://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/>

La plateforme **PICTOccitanie** : Portail Interministériel de visualisation Cartographique et des téléchargements de la donnée donne accès au patrimoine de données de la DREAL sur le littoral et les risques côtiers : [https://carto.picto-occitanie.fr/1/visualiseur\\_de\\_donnees\\_publices.map](https://carto.picto-occitanie.fr/1/visualiseur_de_donnees_publices.map)

Un espace spécifique au littoral a été mis en ligne :

[https://www.picto-occitanie.fr/accueil/thematiques/gestion\\_de\\_lespace/littoral](https://www.picto-occitanie.fr/accueil/thematiques/gestion_de_lespace/littoral)



Sur cette plateforme, les données téléchargeables gratuitement et particulièrement intéressantes pour la construction des cartes locales sont :

- Un panel large de traits de côte de 1895 à 2022 ;
- Le Litto3D® : modèle numérique altimétrique de référence sur la frange du littoral ;
- La dérive littorale (Cédric Brunel *et al.*, 2014) ;
- Les secteurs, cellules et sous-sédimentaires sur le littoral ;
- Les zonages des espaces naturels : parc naturel marin, parc naturel, site Natura2000, réserves, naturelles du conservatoire du littoral, biocénoses, inventaire nature et biodiversité, atlas paysagers ;
- Les cordons littoraux ;
- Les ouvrages dynamiques et statiques littoraux ;
- Les Profils sur la côte sableuse entre 1988 et 2004 : levés topographiques et bathymétriques réalisés du haut de plage jusqu'aux petits fonds (-10 m) le long de profils transversaux ;
- Les Territoires à Risques Importants d'inondation (TRI) ;
- **Photographies aériennes verticales et Orthophotos** (2000 clichés de 1942 à 2000) ;
- **Jeux de photos aériennes obliques annuelles** (10 000 de 1970 à 2022) ;
- **Photos post tempête** (5000 photos de 1978 à 2004 et vol régional de 2013 et 2018).

### 2.1.6 Le portail Occitanie Littorale (avec BRGM)

Le portail **Occitanie Littorale** recense des connaissances dans les domaines de l'aménagement, de l'hydrologie, de la géomorphologie, de l'écologie dunaire, de la gestion des risques, des impacts du changement climatique et bien plus encore : <http://www.littoral-occitanie.fr/>



Cette plateforme propose un large panel de documentation, données et outils visualisables et téléchargeables directement. Il regroupe plusieurs centaines d'études relatives à l'aménagement du littoral et aux risques côtiers et des liens vers les principaux producteurs de données littorales en Occitanie, dont plusieurs études commanditées par la DREAL Occitanie qui sont :

- l'étude BRGM sur la vulnérabilité de la bande littorale aux effets aggravants de l'érosion côtière sur la submersion marine (Valentini, N & Balouin Y, 2020) ;
- le plan de gestion des sédiments ( DREAL Occitanie et Région Occitanie/CASAGEC Ingénierie, 2020) ;
- les études REVOLSED et REVOLSTOCK (Cédric Brunel *et al.*, 2014; Olivier Raynal *et al.*, 2018)

**Ce portail héberge le réseau de suivi des tempêtes et de leurs impacts sur le littoral d'Occitanie. Ce réseau repose sur un partenariat DREAL/BRGM. Il met notamment à disposition toutes les observations réalisées par le réseau lors des tempêtes depuis 2011, mais également, un recensement des impacts des tempêtes historiques depuis 1940. Les données sont accessibles à tous et une interface de requête permet de filtrer les informations en fonction de l'intensité de la tempête et/ou de la localisation. Ces données sont essentielles dans la définition du Lmax utilisé dans les projections du trait de côte.**

### 2.1.7 Pôle-relais lagunes méditerranéennes



La plateforme **Pôle-relais-lagunes-méditerranée** de ressources documentaires sur les lagunes et les zones humides est une base de données bibliographiques particulièrement intéressante car les études sont classées par zones géographiques.



### 2.1.8 Observatoire Hérault Littoral

Des données géomatiques sur le littoral et à l'échelle départementale sont téléchargeables directement via le portail **Hérault Littoral** mis à disposition par le Département de l'Hérault :

<https://sig.herault.fr/portal/apps/webappviewer/index.html?id=a3486f7de8ff46d9a32f81b1010f2e7c>



Sur cette plateforme, les visualisables et particulièrement intéressantes pour la construction des cartes locales sont :



- Des photos terrestres *in-situ* ;
- Des photos aériennes du littoral, port etc. ;
- Des taux d'évolution historique du trait de côte entre 2009-2020 ;
- Des profils topo-bathymétriques.

### 2.1.9 L'OBSCat

La plateforme de l'Observatoire de la côte Sableuse Catalane (**l'ObsCat**) offre un panel de données visualisables mais non téléchargeables sur la dynamique du littoral Catalan : <https://obs-cat.fr/>



Il permet notamment l'accès aux suivis biannuels réalisés par l'Obscat sur son littoral depuis 2013, mais également à des levés photogrammétriques ou Lidar post-tempêtes. Parmi les nombreuses études produites par l'Obscat, on peut citer :

- Les rapports de suivi incluant l'évolution historique du trait de côte (rapports BRGM) ;
- La détermination du stock sableux littoral terre/mer (UPVD, 2022)

### 2.1.10 La communauté BEACHMED

La communauté **BeachMed** est une association formée par une communauté à disposition des administrations publiques mais aussi du secteur privé pour promouvoir, sur la base du volontariat, le développement de politiques durables et intégrées des zones côtières de la Méditerranée : <https://www.beachmed.eu/fr/homepage-francais/>



Ce site recense principalement un réseau de personnes à contacter selon leur expertise.

### 2.1.11 Gladys

Le groupe **Gladys** est une communauté collaborative dédiée à la recherche académique sur la thématique de la dynamique littorale de la façade méditerranéenne : <https://www.gladys-littoral.org/>

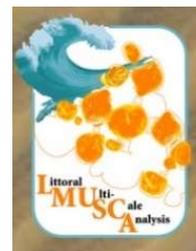
Cette plateforme recense des publications scientifiques, thèses, rapports mais toutes les données ne sont pas téléchargeables. Cette plateforme peut néanmoins permettre d'obtenir des contacts selon leur domaine d'expertise.



### 2.1.12 LMUSCA

Le groupe de recherche **LMUSCA** de l'Université de Perpignan Via Domitia recense sur sa plateforme des publications scientifiques, thèses, rapports principalement sur les sites de la côte Catalane : <https://elmusca.wordpress.com/>

Aucune donnée géomatique n'est téléchargeable directement.



## 2.2 Synthèse de la position passée du trait de côte



A travers toutes ces plateformes décrites au chapitre précédent, il existe finalement un large panel de données historiques de la position du trait de côte disponibles en Occitanie. En Occitanie, ce trait de côte est classiquement défini comme le milieu ou la limite haute de la zone de jet de rive mais cette définition doit être vérifiée au niveau des métadonnées avant toute utilisation.

De même il convient de s'informer des dates précises des levés, en consultant les données attributaires des fichiers SIG. En effet le mois d'un levé est une donnée importante à prendre en compte en fonction de l'analyse que l'on en fait.

Le tableau ci-dessous recense les traits de côte disponibles :

*Pour certains de ces traits de côte, les images orthorectifiées sur lesquels ils ont été tracés sont disponibles sur demande auprès des organismes.*

*La diffusion de ces images sur internet n'est pas assurée à ce jour, compte tenu du poids important des fichiers.*

Département	Année	Fournisseur	Producteur	Méthode de production
AUDE (11)	1850	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Mediterannée	Photointerprétation
	1895	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur cartes et minutes de construction SHOM
	1935	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur photos numériques de l'IGN
	1935 (couverture partielle)	Cerema	Cerema Indicateur d'érosion National V1	Digitalisation sur photothèque nationale SHOM / Ifremer
	1942 (couverture partielle)	Cerema	Cerema Indicateur d'érosion National V1	Digitalisation sur photothèque nationale SHOM / Ifremer
	1953	Cerema	Cerema Indicateur d'érosion National V1	Photointerprétation
	1962	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur photos numériques de l'IGN
	1963 (couverture partielle)	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur photos numériques de l'IGN
	1977	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur photos numériques de l'IGN
	1992	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Mediterannée	Photointerprétation
	2000	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR et le DRE LR	DGPS
	2001 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR	DGPS
	2008	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR et le DRE LR	DGPS
	2009	DREAL Occitanie/Cerema	CEREGE	Digitalisation sur image LIDAR
	2011	Cerema	Cerema Indicateur d'érosion National V1	Digitalisation sur orthophotographies (ortholittoral V2)
	2014	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade
	2015	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade
	2017	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade
	2019	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade
	2020	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade
	2021	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade
2022	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade	

Département	Année	Fournisseur	Producteur	Méthode de production
GARD (30)	1895	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur cartes et minutes de construction SHOM
	1935	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur photos numériques de l'IGN
	1937	Cerema	Cerema Indicateur d'érosion National V1	Digitalisation sur photothèque nationale SHOM / Ifremer
	1942	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1944	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1952	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1953	Cerema	Cerema Indicateur d'érosion National V1	Photointerprétation
	1960	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1962	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur photos numériques de l'IGN
	1962 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1974 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1977 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1977	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur photos numériques de l'IGN
	1982 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1987 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1992	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1995	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR	Relevé géodimètre
	1996 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1997	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR	Relevé géodimètre
	1998	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	2000	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR et le DRE LR	DGPS
	2008	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR et le DRE LR	DGPS
	2009	DREAL Occitanie/Cerema	CEREGE	Digitalisation sur image LIDAR
	2011	Cerema	Cerema Indicateur d'érosion National V1	Digitalisation sur orthophotographies (ortholittoral V2)
	2014	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade
	2015	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade
2017	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade	
2019	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade	
2020	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade	
2021	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade	
2022	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade	

Département	Année	Fournisseur	Producteur	Méthode de production
HERAULT (34)	1850 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1895	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur cartes et minutes de construction SHOM
	1935	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur photos numériques de l'IGN
	1935 (couverture partielle)	Cerema	Cerema Indicateur d'érosion National V1	Digitalisation sur photothèque nationale SHOM / Ifremer
	1937 (couverture partielle)	Cerema	Cerema Indicateur d'érosion National V1	Digitalisation sur photothèque nationale SHOM / Ifremer
	1942	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1953	Cerema	Cerema Indicateur d'érosion National V1	Photointerprétation
	1962	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur photos numériques de l'IGN
	1974 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1977	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur photos numériques de l'IGN
	1982 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1992	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	1995	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR	Relevé géodimètre
	1997	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR	Relevé géodimètre
	1998 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Méditerranée	Photointerprétation
	2000	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR et le DRE LR	DGPS
	2003	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR et le DRE LR	DGPS
	2008	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR et le DRE LR	DGPS
	2009	DREAL Occitanie/Cerema	CEREGE	Digitalisation sur image LIDAR
	2011	Cerema	Cerema Indicateur d'érosion National V1	Digitalisation sur orthophotographies (ortholittoral V2)
	2014	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade
	2015	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade
	2017	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade
	2019	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade
	2020	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade
	2021	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade
	2022	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade

Département	Année	Fournisseur	Producteur	Méthode de production
PYRENEES ORIENTALES (66)	1850 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Mediterannée	Photointerprétation
	1895	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur cartes et minutes de construction SHOM
	1935	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur photos numériques de l'IGN
	1942	Cerema	Cerema Indicateur d'érosion National V1	Digitalisation sur photothèque nationale SHOM / Ifremer
	1942	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Mediterannée	Photointerprétation
	1953	Cerema	Cerema Indicateur d'érosion National V1	Photointerprétation
	1962 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Mediterannée	Photointerprétation
	1962	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur photos numériques de l'IGN
	1974 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Mediterannée	Photointerprétation
	1977	DREAL LR	CEREGE	Digitalisation sur photos numériques de l'IGN
	1982 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Mediterannée	Photointerprétation
	1992	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Mediterannée	Photointerprétation
	1998 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	CETE Mediterannée	Photointerprétation
	2000 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR et le DRE LR	DGPS
	2001 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR	DGPS
	2008	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR et le DRE LR	DGPS
	2009 (couverture partielle)	DREAL Occitanie/Cerema	SMNLR et le DRE LR	DGPS
	2009	DREAL Occitanie/Cerema	CEREGE	Digitalisation sur image LIDAR
	2011	Cerema	Cerema Indicateur d'érosion National V1	Digitalisation sur orthophotographies (ortholittoral V2)
	2013 (couverture partielle)	ObsCat	ObsCat	
	2014-04 (couverture partielle)	ObsCat	ObsCat	
	2014-09 (couverture partielle)	ObsCat	ObsCat	
	2015-04 (couverture partielle)	ObsCat	ObsCat	
	2015-09 (couverture partielle)	ObsCat	ObsCat	
	2016-05 (couverture partielle)	ObsCat	ObsCat	
	2016-09 (couverture partielle)	ObsCat	ObsCat	
	2017-04 (couverture partielle)	ObsCat	ObsCat	
	2017-09 (couverture partielle)	ObsCat	ObsCat	
	2018-04 (couverture partielle)	ObsCat	ObsCat	
	2019-03 (couverture partielle)	ObsCat	ObsCat	
2014	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade	
2015	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade	
2017	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade	
2019	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade	
2020	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade	
2021	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade	
2022	DREAL Occitanie/Cerema	Cerema	Digitalisation sur image satellite Pleiade	

Figure 27-Recensement des traits de côte existants par département

## 2.3 Synthèse sur les reculs évènementiels dû aux évènements de tempêtes (Lmax)

Sur le littoral d'Occitanie, un inventaire des tempêtes passées et de leurs impacts a été fait et les tempêtes actuelles sont suivies dans le cadre du Réseau Tempêtes précédemment mentionné dans le chapitre 2.1.6 de présentation. L'ensemble des observations sont disponibles sur le portail Occitanie Littorale (<http://littoral-occitanie.fr/-Historique-des-tempetes>). Une interface de requête permet de filtrer les événements en fonction de leur intensité et de la commune concernée.

D'autres ressources particulièrement intéressantes pour évaluer le recul évènementiel sont disponibles sur le portail PICTO ([https://carto.picto-occitanie.fr/1/visu\\_litto.map](https://carto.picto-occitanie.fr/1/visu_litto.map)). Il s'agit notamment de séries de photos pré-/post-tempêtes ayant été acquises par les services de l'Etat suite à des événements majeurs. On y trouve par exemple :

- Les photographies aériennes verticales suite à la tempête majeure de novembre 1982 qui concerne le littoral de Camargue et l'est de l'Hérault (jusqu'à Agde) ;
- Les photographies aériennes obliques post-tempête majeure de janvier 1998, du 7 mars 2013 ou de mars 2018.

Sur certains secteurs disposant d'un observatoire du littoral, des levés photogrammétriques (photos et modèle numérique de terrain) ont été réalisés. C'est le cas par exemple du levé OBSCAT d'Argelès-sur-Mer à Leucate quelques jours après la tempête de mars 2018, qui permet d'apprécier le recul du trait de côte, mais également les impacts sur le haut de plage et les cordons dunaires. Des évaluations qualitatives et quantitatives de tempêtes récentes sont également mises à disposition par l'Observatoire Départemental du littoral de l'Hérault (<https://odee.herault.fr/index.php/herault-littoral/suivi-tempetes>).

Ces différentes sources de données permettent de caractériser les effets d'évènements majeurs en relation avec leur période de retour, mais également d'appréhender la résilience du littoral (capacité de reconstruction d'un cordon dunaire et/ou de la plage, fermeture naturelle d'une brèche, ...).

### 3 METHODOLOGIE POUR LA CARTOGRAPHIE DE LA PROJECTION DU TRAIT DE COTE

L'application du document national de recommandations implique d'étudier un scénario dit « médian » avec des paramètres usuels et un scénario dit « sécuritaire » visant à détecter d'éventuels effets de seuils avec des hypothèses et des approches maximisant le recul du trait de côte.

En Occitanie, l'analyse diachronique du trait de côte, déjà expliquée dans le document national de recommandations, doit être complétée par une analyse experte.

Cette approche à dire d'expert intègre une analyse et une compréhension fine de l'évolution hydro-sédimentaire et de l'historique de la zone étudiée. Cette connaissance experte permet de faire des choix méthodologiques pertinents et spécifiques à la zone étudiée en toute connaissance des hypothèses et études déjà existantes.

De façon non exhaustive, ce chapitre vise à mettre en exergue les principales notions importantes qu'il est fortement recommandé de prendre en compte dans l'élaboration de la carte locale de recul du trait de côte en Occitanie.

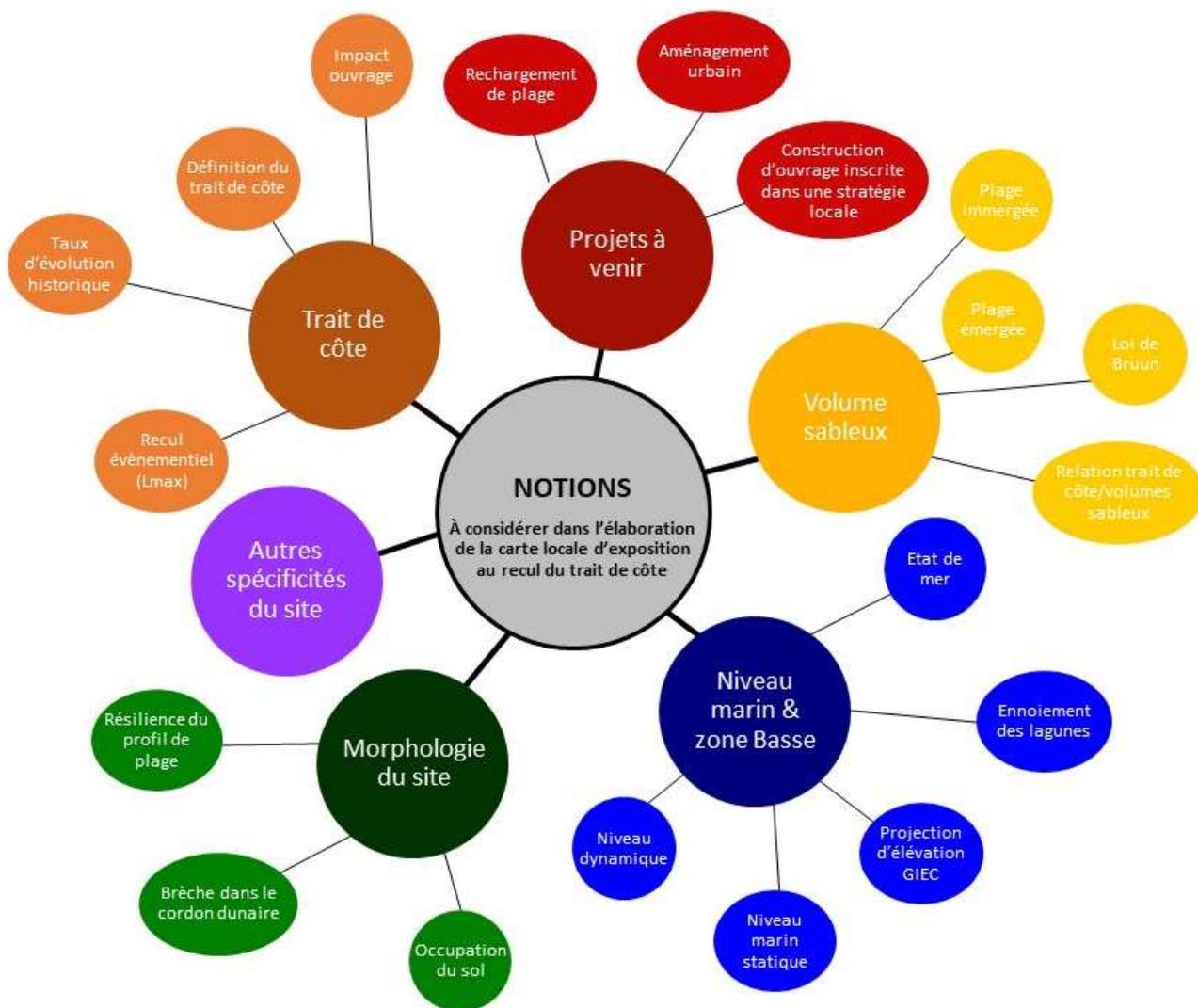


Figure 28-Schéma des principales notions prises en compte pour l'élaboration des cartes locales de recul du trait de côte aux horizons 30 et 100 ans

### 3.1 Les tendances d'évolution du trait de côte

En Occitanie, il existe peu de secteurs encore naturels sur lesquels la méthode diachronique d'évaluation du taux d'évolution historique du trait de côte est suffisante. Beaucoup de secteurs sont aménagés avec des ouvrages littoraux qui ont perturbé et perturbent encore la dynamique naturelle du trait de côte. Le choix du taux d'évolution à projeter est donc délicat dans ces zones. Il est donc recommandé de faire des choix représentatifs du devenir de la zone à dire d'expert complémentaire des études diachroniques de l'évolution du trait de côte.

Par exemple, le taux d'évolution historique du trait de côte sur une période où la zone a été engraisée par du rechargement artificiel en sable traduit une tendance qui se retrouve à l'accrétion si on la projette dans le futur. Or ce rechargement étant ponctuel et artificiel, il n'illustre pas une réelle tendance naturelle à l'accrétion du trait de côte et ne peut donc pas être utilisé comme représentatif d'une évolution future.

De même et pour second exemple, le taux d'évolution historique du trait de côte représentant une avancée vers la mer par anthropisation (exemple de construction des marinas de la mission Racine = avancée artificielle sur la mer) se traduirait par une tendance qui se retrouve à l'accrétion dans le futur ce qui n'est pas représentatif de l'évolution à venir.

Pour troisième exemple, le trait de côte stabilisé artificiellement par des ouvrages littoraux (épis, brise lame) ne peut être projeté comme tel puisque l'efficacité de l'ouvrage dans l'avenir n'est pas garantie (compte tenu de sa durée de vie, ainsi que de l'élévation du niveau de la mer et de l'érosion de l'avant côte qui risque de déstabiliser le prisme sableux et de modifier la dérive littorale ; cf étude (2018) précitée– REVOLSTOCK : Prospective de la relation entre l'évolution du trait de côte et le stock sableux de l'avant-côte d'Occitanie DREAL-Oc / UPVD).

Le recueil préalable d'informations sur chacun des ouvrages est donc essentiel pour évaluer son rôle futur dans les projections à 30 ans comme à 100 ans. Le rôle de ces ouvrages pourra être maintenu dans la définition des scénarios de recul, sous réserve qu'ils bénéficient d'un gestionnaire bien identifié et soient surveillés et entretenus. **Les projets en cours des collectivités sur l'entretien ou le non-entretien de ces ouvrages sont donc des informations importantes que la collectivité devrait porter à connaissance du prestataire.** Les ouvrages littoraux sans gestionnaire et/ou présentant des dégradations ou un abaissement significatif de l'estran sableux à leur base, sont susceptibles d'entraîner une ruine de l'ouvrage à l'horizon temporel étudié. Dans ces conditions, il est recommandé que ces ouvrages soient considérés comme inexistantes dans la carte locale d'exposition.

La réflexion sur le maintien ou non des ouvrages existants, qui pourra avoir de fortes conséquences dans le zonage de la carte locale d'exposition, pourra être facilitée avec l'élaboration d'une variante de scénario considérant la faillibilité des ouvrages et la ruine généralisée (pour les deux horizons temporels) afin d'identifier l'importance du rôle des ouvrages existants. Cette réflexion serait par ailleurs à mener idéalement dans le cadre de stratégies locales de gestion intégrée du trait de côte.

Le rapport du Cerema portant sur l'évaluation prospective des enjeux affectés par le recul du trait de côte (Cerema, 2019b; Cerema. Centre d'études et d'expertise sur les risques, 2019), permet de mieux appréhender la prise en compte totale, partielle ou inexistante des ouvrages dans les scénarii de projections. L'exemple suivant illustre 3 hypothèses d'impacts des ouvrages littoraux de haut de plage dans les projections du trait de côte futur, qui sont :

- A : Les ouvrages se substituant au trait de côte naturel protègent les enjeux situés directement derrière eux jusqu'en 2100 : aucune projection n'est réalisée dans les zones considérées comme protégées ;
- B : Les ouvrages sont progressivement détruits à leurs extrémités ;
- C : Les ouvrages sont effacés dès le début du scénario.

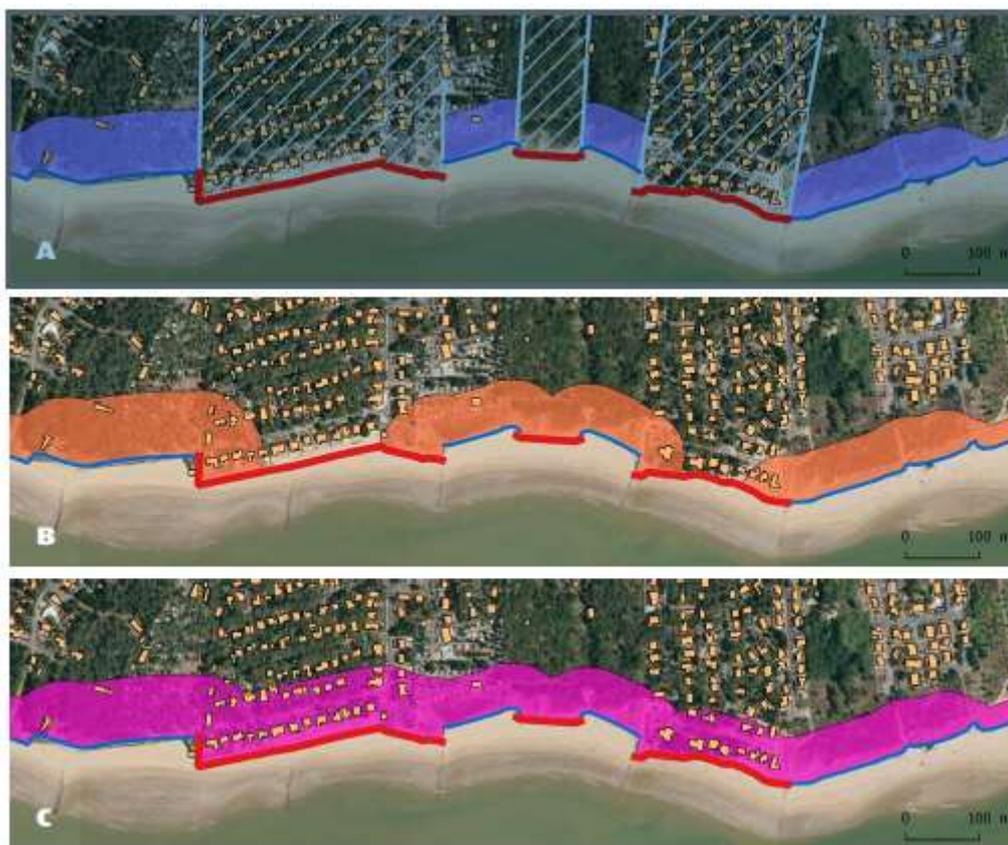


Figure 29-Extrait de l'étude d'évaluation prospective des enjeux affectés par le recul du trait de côte (Cerema, 2019b)

Pour l'estimation de l'évolution future du trait de côte projetée aux échéances 30 et 100 ans qui se base sur l'utilisation des taux d'évolution passés, différentes périodes d'évolution de la position de ce trait de côte peuvent être utilisés afin de prendre en compte le contexte particulier de chaque sous-secteur.

**Il revient donc à la collectivité de choisir la prise en compte ou non de l'impact de l'ouvrage dans l'avenir en fonction des projets de d'entretien ou d'abandon de l'ouvrage dans les années à venir. Cette décision aux horizons 30 comme 100 ans aura un impact direct sur les projections d'évolutions du trait de côte.**

Même si des périodes longues sont préférentiellement à utiliser pour les projections à échéance 100 ans, conformément au document national, elles gagneront à ne pas intégrer d'observations « anté-mission Racine » pour les secteurs artificialisés ; dans certains cas des périodes courtes auront un intérêt à être utilisées dans ces zones notamment pour la projection à 30 ans, afin de mettre en relief une potentielle perte d'efficacité des ouvrages en place ou du moins, les résultats récents qui traduisent une évolution vers de l'érosion ces dernières années (analyse sur 3, 5, 10 ans).

Certains partis-pris méthodologiques peuvent être envisagés comme par exemple :

- l'utilisation d'une période particulière et représentative de l'évolution historique du trait de côte peut être appliquée de façon homogène sur le linéaire considéré ;
- l'extrapolation du taux d'évolution d'une petite zone représentative peut être envisagée sur une plus large zone. Par exemple, un taux de recul représentatif entre deux épis peut être utilisé sur tout le linéaire où se situe la batterie d'épis ;
- l'utilisation d'un taux d'évolution moyenné entre plusieurs transects sur une plus large zone pour « homogénéiser » le recul ;
- l'utilisation d'un taux d'évolution naturel du trait de côte (avant la construction de l'ouvrage).

Dans le cas des côtes à falaises, le trait de côte est le plus souvent défini par le sommet de la falaise ou le pied lorsque le sommet n'est pas identifiable. Bien souvent les évolutions de ces falaises restent ponctuelles par éboulement. Une approche naturaliste avec l'historique des impacts de tempêtes sur le site et des investigations de terrain doivent être privilégiées pour permettre d'estimer des taux d'évolutions à dire d'expert.

## 3.2 Les volumes sableux disponibles dans l'avenir

Comme cela est indiqué dans la partie 1.2.2 de cet addendum, le volume sableux présent sur l'avant-côte présente une forte variabilité le long du littoral d'Occitanie, or la relation entre le comportement du trait de côte et le volume présent sur l'avant-côte sera déterminante dans les prochaines décennies. Ces notions seront à intégrer aux scénarios de projections du trait de côte dans l'avenir. L'utilisation de la loi de Bruun pour les projections sera à questionner dans certains cas.

Les études REVOLSTOCK (Olivier Raynal *et al.*, 2018) et REVOLSED (Brunel, 2014) peuvent aider à la réflexion sur cette thématique. La cartographie de l'évolution des typologies identifiées dans le projet REVOLSED montre la généralisation des processus couplés de rétrogradation du trait de côte et de l'érosion de l'avant-côte à l'horizon 2050. Ainsi, le comportement de certains secteurs littoraux qui présentent actuellement un trait de côte en faible rétrogradation voire même stable malgré une érosion de l'avant-côte, ne sera pas pérenne ni reproductible dans l'avenir.

Ce travail a également mis en évidence le phénomène de propagation des tendances érosives du couple trait de côte / bilan sédimentaire d'avant-côte dans le sens du transport sédimentaire longitudinal. Celui-ci est particulièrement explicite dans le compartiment du Narbonnais où l'on observe l'apparition de typologies rétrogradantes et/ou érosives à partir du nord du compartiment puis leur propagation vers le sud. Le compartiment du Golfe d'Aigues-Mortes subit également ce phénomène de l'ouest vers l'est.

Sur les secteurs caractérisés par des épaisseurs sableuses très réduites sur l'avant-côte. **Une attention particulière doit être portée sur le maintien ou non d'un stock sableux dans les projections du trait de côte. En effet, la loi de Bruun simplifiée (1962) a pour hypothèse de base le maintien du disponible sédimentaire.** Elle part du principe que l'avant-côte va garder le même profil et se translater vers les terres, le volume présent sur la côte étant transféré sur l'avant-côte pour compenser l'élévation du niveau de la mer. Dans le cas où l'épaisseur sableuse présente est limitée, la mise à nu d'un substrat rocheux ne permet plus la résilience du profil de plage, ni sa translation, et la loi n'est donc plus applicable. Une attention particulière doit donc être portée dans ces secteurs à stock limité et une évaluation de la disparition du stock sableux suite à la translation doit être réalisée pour préciser jusqu'à quelle échéance la loi est applicable. Au-delà de cette échéance, des scénarios d'accélération du recul du trait de côte doivent être envisagés.

## 3.3 Les phénomènes de reculs majeurs évènementiels du trait de côte

### 3.3.1 Spécificité du recul du trait de côte évènementiel sur le littoral d'Occitanie

Sur d'autres littoraux sableux tels que la côte Atlantique, le trait de côte est défini comme étant le pied de dune ou la limite de végétation, séparant ainsi un espace fortement mobile, la plage, d'un espace plus stable, le cordon dunaire, dont l'évolution va dépendre des tempêtes majeures ou de processus autres tels que l'érosion éolienne, le développement de la végétation, ...

La notion de recul évènementiel fait donc référence dans ces cas à une évolution de cette interface qui va modifier temporairement ou durablement la position du trait de côte. Une entaille dans un cordon dunaire peut ainsi laisser des cicatrices visibles pendant plusieurs années sur le littoral.

En Méditerranée, et le long du littoral d'Occitanie en particulier, l'absence d'une marée significative, et souvent de cordon dunaire bien développé a fait choisir comme indicateur du trait de côte, l'interface eau/sable ou le milieu voire la limite supérieure du jet de rive. Ce trait de côte est par définition très mobile et son recul lors d'un événement ne traduit pas, la plupart du temps, une modification durable du littoral. Dans la plupart des cas, le trait de côte a retrouvé sa position initiale quelques jours après la tempête, et les variations saisonnières de sa position sont souvent aussi prononcées que le recul lors d'une tempête.

Cela n'enlève en rien la pertinence de cet indicateur pour le suivi à moyen et long-terme de l'érosion chronique, mais la modification majeure du comportement du littoral lors d'une tempête est difficilement perceptible avec cet indicateur. La photographie du 1<sup>er</sup> mars 2018 sur le secteur du Petit-Travers (Mauguio-Carnon) illustre bien ce phénomène, avec un recul important et probablement difficilement réversible du front dunaire alors que la position du trait de côte avant-et après l'événement est sensiblement la même.



Figure 30-Erosion du front dunaire lors de la tempête du 1<sup>er</sup> mars 2018 sur le Petit-Travers (© BRGM)

Dans l'analyse du recul évènementiel sur le littoral d'Occitanie, il est donc fortement recommandé d'analyser les évolutions du trait de côte, notamment lorsque le recul est important et que la plage met plusieurs années à retrouver sa largeur initiale, mais également le recul du pied de dune ou toute autre évolution majeure et durable de l'arrière-plage qui pourrait générer une modification comportementale majeure du littoral. Ces modifications peuvent être de deux types :

- le recul du cordon et à terme la translation de la plage et du trait de côte vers les terres ;
- l'effacement du cordon (disparition localisée ou complète d'un cordon étroit) qui peut générer un changement de localisation important du trait de côte.

### 3.3.2 Évènements majeurs à prendre en compte

L'analyse des événements passés permet de définir un seuil minimum de 5 m de hauteur significative des vagues pour commencer à générer des impacts majeurs sur le cordon dunaire et des brèches dans les cordons les plus étroits. De manière à prendre en compte les reculs les plus extrêmes dans les cartographies/scénarios, il est préconisé de considérer une occurrence à minima décennale (sur les hauteurs de vagues et les niveaux d'eau) pour l'évaluation du recul événementiel.

Des événements plus extrêmes ont eu lieu (tempêtes de novembre 1982, décembre 1997, décembre 2003). La connaissance des caractéristiques de ces événements et de leurs impacts reste parcellaire mais pourra être utilisée dans certains secteurs du littoral.

**Dans les événements les plus récents, les tempêtes de mars 2013 et mars 2018 sont des événements majeurs pour lesquels la hauteur significative de la houle a dépassé 6 m (à Leucate).**

Il est important de souligner que la succession d'événements plus modérés lors d'un hiver (10 tempêtes et coups de mer pendant l'hiver 2010-2011) est également susceptible d'engendrer des érosions significatives et un recul du trait de côte. Les impacts cumulés peuvent être similaires à ceux de tempêtes plus brutales. Toutefois, les événements les plus forts mentionnés ci-dessus ont généralement engendré des modifications plus importantes du littoral.

### 3.3.3 Approches mobilisables pour la prise en compte des reculs majeurs événementiels dans les projections du trait de côte aux échéances 30 et 100 ans

La prise en compte des reculs événementiels majeurs vise à évaluer un recul supplémentaire à celui induit par l'érosion chronique du littoral, considérant qu'un événement majeur peut se produire pendant la période de recul étudiée. Cette approche a deux finalités : garantir la prise en compte des phénomènes les plus extrêmes dans les cartographies du trait de côte futurs et ; identifier d'éventuels changements de comportement du littoral dans les secteurs où ce recul événementiel majeur est susceptible d'engendrer des modifications importantes de la morphologie et des évolutions du trait de côte (effacement d'un cordon dunaire ou ouverture de brèches multiples sans possibilité de reconstruction naturelle du cordon par exemple).

#### 3.3.3.1 Secteurs les plus vulnérables au recul événementiel majeur

Une étude de 2020 (BRGM-Préfecture de la région Occitanie) a analysé la vulnérabilité du littoral régional au recul événementiel dans le but d'évaluer les effets potentiellement aggravants de l'érosion sur l'ampleur de la submersion. Cette étude, qui ne réalise pas de projections futures, croise des indicateurs de vulnérabilité morphologique issus de la BD-Cordons réalisée par l'EID et la DREAL Occitanie en 2013 (caractéristiques des plages, des cordons dunaires, de l'évolution du trait de côte) ; des indicateurs de l'état des cordons (conservation de la dune, végétation), des indicateurs d'actions anthropiques (ouvrages, accès, occupation du sol), et des indicateurs physiques (vagues et niveaux maximaux pour une tempête d'ordre cinquantenal). L'analyse est réalisée sur les tronçons de littoraux définis comme ayant des comportements homogènes dans la stratégie régionale de gestion du trait de côte. L'analyse des 81 secteurs a permis de définir deux grands groupes de littoraux, répartis de manière hétérogène le long du littoral régional (Figure 31-Cartographie de la vulnérabilité du littoral d'Occitanie aux effets aggravant de l'érosion côtière événementielle sur la submersion marine (Valentini et Balouin, 2020).

Au-delà de l'identification des secteurs les plus vulnérables à ces phénomènes, les analyses mettent en évidence qu'à l'échelle régionale, 35% des cordons littoraux ont actuellement une vulnérabilité globale élevée.

Dans ces secteurs, la morphologie et l'état des cordons sont tels qu'un événement majeur pourrait entraîner des modifications importantes susceptibles de modifier leur comportement et le recul du trait de côte. Pour ces secteurs, il est recommandé que les méthodes utilisées proposent **des scénarios paroxysmaux ou de rupture menant à des modifications partielles ou complètes du milieu.**

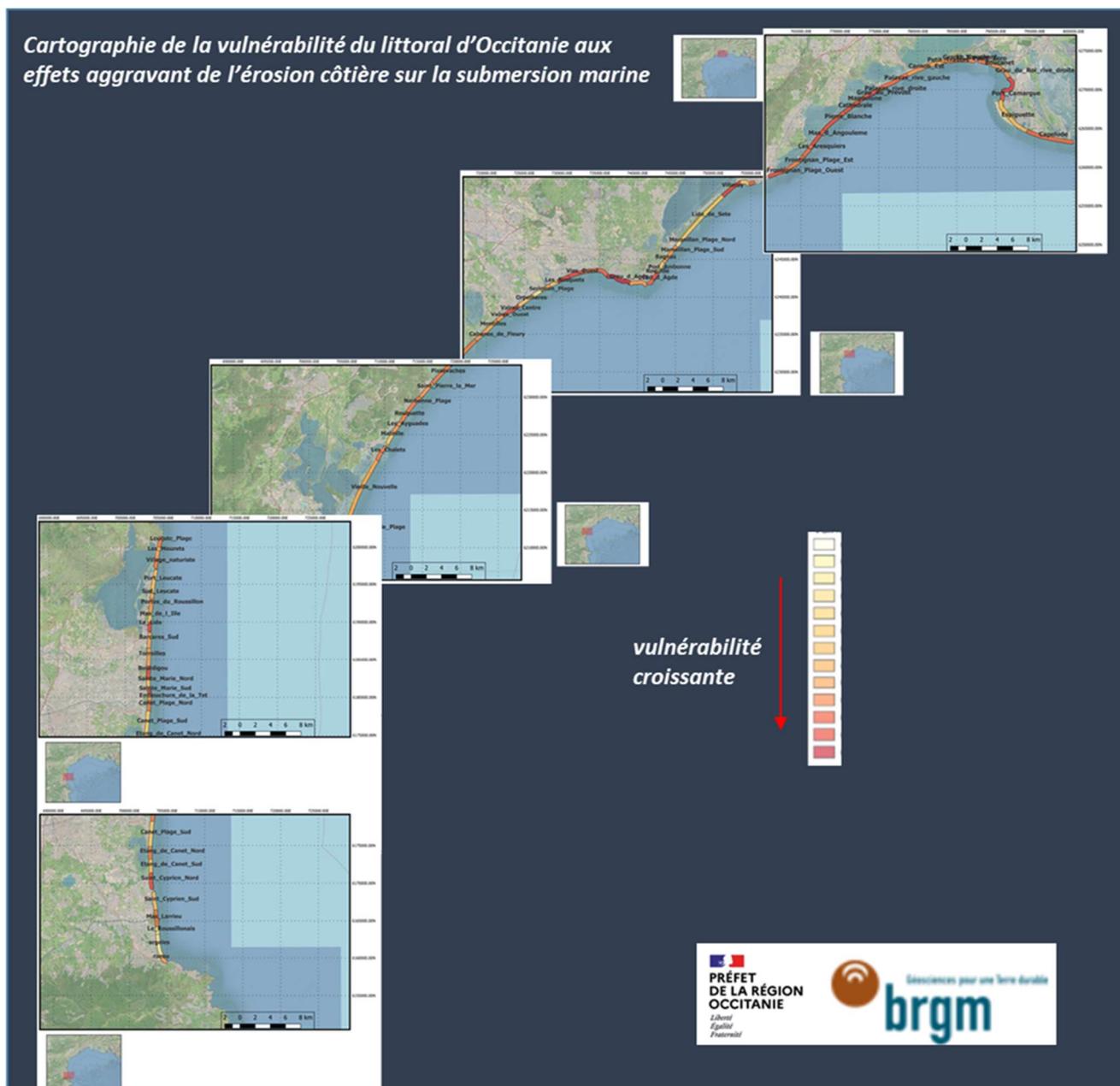


Figure 31-Cartographie de la vulnérabilité du littoral d'Occitanie aux effets aggravant de l'érosion côtière événementielle sur la submersion marine (Valentini et Balouin, 2020).

### 3.3.3.2 Stratégies d'évaluation du recul événementiel

La stratégie d'évaluation du recul événementiel repose sur la connaissance disponible sur les événements passés et l'existence de données indispensables à la quantification des impacts (données topo-bathymétriques, données physiques sur l'événement, épaisseur des sédiments mobilisables, banque de données sur le bâti et les infrastructures).

La stratégie classiquement utilisée est l'approche Lmax mise en œuvre dans le cadre des PPRL (DGPR, 2014). Elle consiste à évaluer, en associant la connaissance historique et le dire d'expert, une valeur de recul ponctuel maximal qui va être utilisée sur des tronçons de côte homogènes. Cette approche

plus ou moins fine basée sur quelques tempêtes historiques documentées peut être complétée pour améliorer l'estimation de cette marge de sécurité : lorsque les données sont disponibles pour calibrer et valider proprement un modèle, une approche de modélisation numérique peut être mise en œuvre pour caractériser le recul obtenu pour une tempête d'occurrence donnée.

### Approche « Lmax »

Lorsque les enjeux présents ne le nécessitent pas ou lorsque les données existantes sont suffisantes pour avoir des valeurs qui conviennent aux échéances de 30 ans et 100 ans, une approche de type Lmax (cf. guide PPRL, DGPR, 2014) peut être privilégiée. Dans ce cas, l'analyse devra évaluer le recul du trait de côte et du front dunaire observés pendant les événements historiques majeurs précités, de manière à évaluer le recul événementiel qui pourra être ajouté au recul chronique du site étudié.

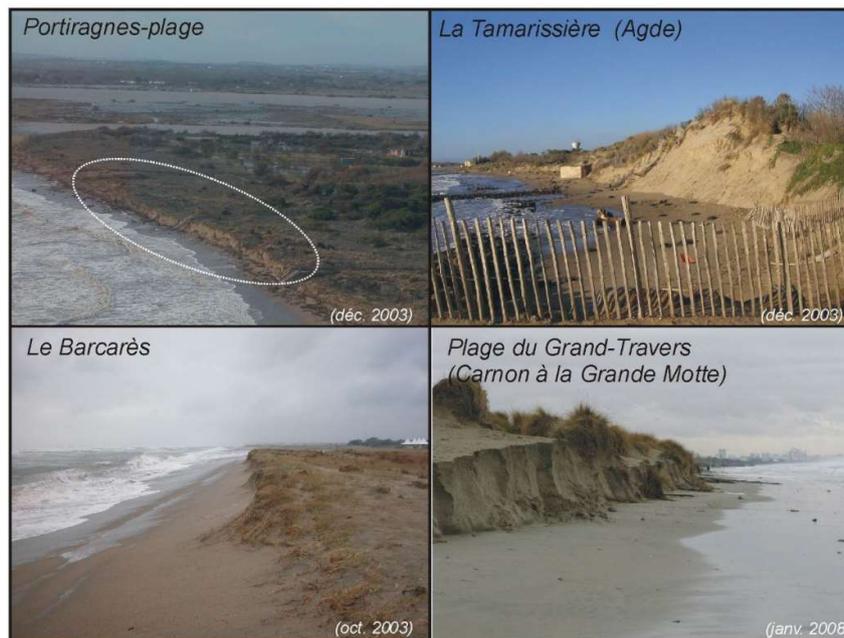


Figure 32- Erosion des systèmes dunaires par les tempêtes et falaises et micro-falaises dunaires. Source : DREAL-LR dans Gervais 2012

Dans le cas de lidos, l'ouverture de brèches rend difficile cette évaluation qui présente une très grande variabilité spatio-temporelle. Pour des projections à court-terme, une valeur de Lmax moyenne peut être envisagée, mais pour des projections à long-terme d'autres méthodologies doivent être mises en place.

Il s'agira notamment d'évaluer la période de retour d'événements susceptibles de générer ces brèches en évaluant le niveau des points bas du cordon littoral et le niveau maximal atteint lors de tempêtes de différentes périodes de retour, en mobilisant par exemple les données du réseau tempêtes (cf. parties 1.2.11 et 2.1.6)

### Approche par modélisation numérique – exemple sur la plage Nord de Canet-en-Roussillon

La méthode numérique choisie pour analyser les effets de l'érosion événementielle et les impacts des tempêtes (Valentini & Balouin, 2020) sur le secteur de Canet-en-Roussillon est basée sur une évaluation des performances d'un modèle morphodynamique (prenant en compte le mouvement des sédiments et l'érosion événementielle), en 2D-H.

Le modèle utilisé, X-beach (Roelvink *et al.*, 2009), a été développé suite à l'Ouragan Katrina aux Etats-Unis pour répondre au besoin urgent d'évaluation de la vulnérabilité des zones côtières sableuses et repenser la gestion des événements futurs. Le modèle est utilisé pour le calcul de l'hydrodynamique côtière et de la réponse morphodynamique lors d'événements de tempête, tels que l'érosion des dunes, le franchissement et l'affouillement autour des bâtiments.

Pour Canet, la mise en place, faite en deux temps, a consisté d'abord en la calibration du modèle à l'aide de données disponibles lors de la tempête Gloria (janvier 2020), pour laquelle un levé OBSCAT existe et permet de documenter les impacts en termes de recul événementiel. Des tests de sensibilité aux paramètres de réglage ont été réalisés.

Dans un deuxième temps, la modélisation a été utilisée pour simuler un événement de tempête fictif de période de retour cinquantennale (sur les hauteurs de vagues et le niveau d'eau).

Les résultats de ce type de modélisation donnent accès à des estimations du volume érodé sur la plage et le cordon dunaire, ainsi qu'à des estimations du recul de l'interface plage/eau et du pied de dune.

On constate sur ces simulations que la plage est érodée, pouvant entraîner un dépôt sur le bas de plage et une avancée de l'interface plage/eau, et que le front dunaire recule d'environ 10 m pour ce type d'événement.

Les résultats mettent également en évidence une fragilité évidente du cordon dunaire au nord de la digue portuaire de Canet-en-Roussillon avec une érosion quasi-totale du bourrelet dunaire dans ce secteur qui va constituer un point très vulnérable lors de tempêtes ultérieures.

Ce type de simulation peut également intégrer des scénarios d'élévation du niveau de la mer à 30 et 100 ans, afin d'évaluer les effets d'une érosion événementielle plus importante et d'identifier une éventuelle rupture dans le comportement du site en cas d'effacement total du cordon dunaire.



Figure 33-Cartographie de la vulnérabilité du littoral d'Occitanie aux effets aggravant de l'érosion côtière événementielle sur la submersion marine (Valentini et Balouin, 2020).

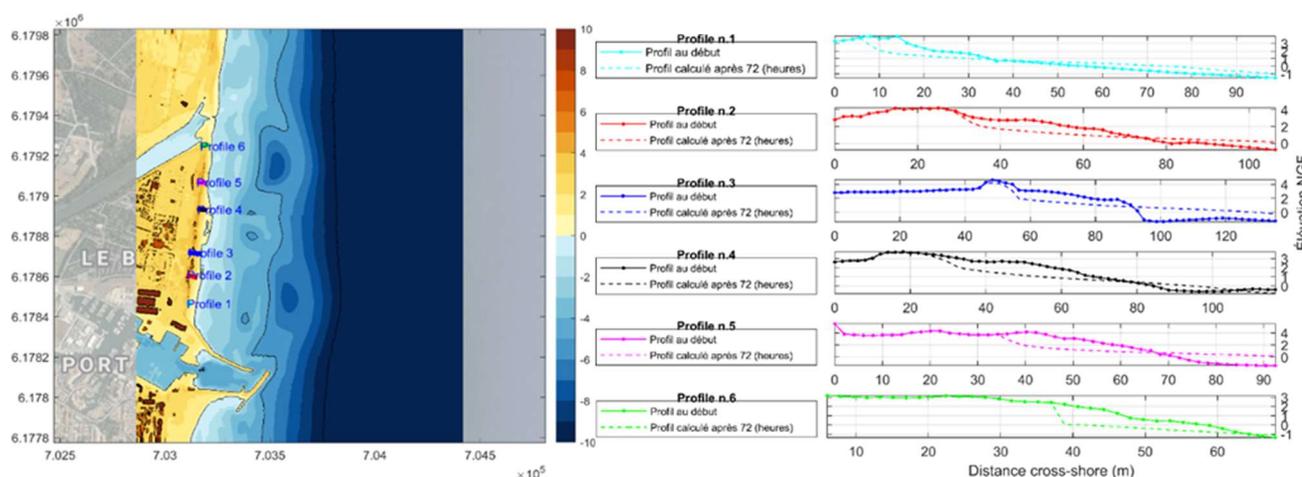


Figure 34-Résultat des simulations pour un événement cinquantennal. Localisation des profils (à gauche), et érosion simulée sur les profils (à droite) (Valentini et Balouin, 2020).

## 3.4 L'influence du changement climatique

### 3.4.1 Relations entre élévation du niveau de la mer et recul du trait de côte dans les projections : Précaution d'usage de la loi de Bruun (1962)

Une approche courante pour traiter l'évolution du littoral à moyen/long-terme sur les côtes sableuses exposées aux vagues avec une disponibilité infinie de sable consiste à utiliser l'équation du bilan sédimentaire (Cowell *et al.*, 2003). On suppose alors que la partie supérieure du littoral conserve le même profil et se déplace vers la mer ou vers la terre en fonction du bilan sédimentaire. Ces formulations utilisent le plus souvent la règle de Bruun (1962), qui permet d'évaluer la réponse du littoral au changement du niveau de la mer.

Le concept de Bruun (Bruun Per, 1962) repose sur l'hypothèse qu'avec la remontée du niveau de la mer, le cordon dunaire est érodé et le sable transféré en mer (et donc perdu pour le cordon). Il repose sur des hypothèses basiques de disponibilité sédimentaire, conservation de la dérive littorale actuelle, etc.

**Sur le littoral d'Occitanie, la présence de lagunes et de lidos rend difficile l'application de cette loi.** Sur les lidos naturels, comme par exemple le lido de Pierres Blanches (Villeneuve-lès-Maguelone, Vic-la-Gardiole), l'évolution depuis plusieurs siècles est caractérisée par le recul du cordon sur lui-même (mécanisme de *roll-over*) en gardant globalement une superficie constante. Le concept de Bruun considérerait que la limite lagunaire du cordon est fixe, et donc que l'évolution du lido serait un rétrécissement progressif de sa largeur jusqu'à sa disparition, ce qui ne correspond pas à l'évolution historique du secteur (déplacement de tout le cordon vers la terre à volume constant).

Il est donc recommandé dans les secteurs présentant une évolution passée ne correspondant pas à la formule de Bruun simplifiée, d'appliquer des méthodologies plus adaptées, comme la formulation de Davidson-Arnott (Davidson-Arnott, 2005) ou Rosati (Rosati *et al.*, 2013) qui prennent en compte les mécanismes de *roll-over*, ou d'utiliser des modèles plus complexes comme ceux de Ranasinghe (Ranasinghe *et al.*, 2012) ou Wainwright (Wainwright *et al.*, 2015) qui simulent les phénomènes de collision du pied de dune, mais nécessitent toutefois plus de données.

### 3.4.2 Envahissement des zones basses

Dans le scénario médian comme dans le scénario sécuritaire, l'élévation progressive du niveau de la mer due au changement climatique entraînera l'augmentation de la vulnérabilité des lidos et l'envahissement progressif des pourtours de lagunes. **Cet « envahissement progressif et permanent des zones basses » est un paramètre majeur à considérer dans la carte locale d'exposition au recul du trait de côte. Ce phénomène est à bien distinguer des phénomènes ponctuels de submersion marine de zones basses liés aux événements de tempêtes exceptionnelles qui ne sont pas traités dans le cadre de ces cartes.**

Les brèches qui sont observées aujourd'hui pour des tempêtes d'ordre décennal, ont généralement le temps de se refermer et les cordons de se reconstituer par la suite. Toutefois, si du fait de l'élévation du niveau de la mer, ce phénomène se produit tous les hivers, voire plusieurs fois par hiver, la capacité de résilience du site devient discutable. Un scénario de rupture définitive, voire d'envahissement permanent du lido sera alors à envisager y compris dans le scénario médian à 100 ans sur certains sites. En cas de rupture et/ou envahissement du lido, une translation du trait de côte en fond de lagune est une situation à considérer.

L'élévation du niveau marin est également à considérer lorsque l'on travaille sur l'impact futur des ouvrages littoraux puisque cette simple élévation peut à elle seule, envoyer un brise lame ou un épis et donc faire partiellement ou totalement diminuer sa capacité à fixer le trait de côte.

Deux bases de données sont disponibles sur cette thématique d'augmentation du niveau marin statique.

La première base de données est plus ancienne (2019) que la seconde (2023) mais les deux peuvent se compléter. L'intérêt principal de la première base de données est de considérer différemment les zones connectées ou non à la mer et d'apporter un large panel de niveaux d'enneigement (9 niveaux d'eau). La seconde base de données n'apporte que 2 niveaux d'eau mais avec des données plus fines (prise en compte des PHMA locaux) et un MNT plus récent.

Ces 2 bases de données sont détaillées ci-après.

**La première source de données** a été produite par le Cerema en 2019 et, est disponible auprès du Cerema ou de la DREAL Occitanie. 9 niveaux d'eau ont été produits suivant deux techniques d'enneigement du Modèle numérique de terrain (MNT) :

- La première reflète un enneigement permanent. Cet enneigement est le résultat d'une élévation progressive du niveau marin due au changement climatique en cours. Cette méthode consiste à remplir toutes les zones basses situées sous le niveau marin qu'elles soient connectées ou non à la mer. Il est en effet fort probable que les cuvettes en zone littorale déconnectées de la mer en surface se remplissent même si elles ne sont pas directement connectées à la mer ou à la lagune car la nappe phréatique va également monter et les zones basses ne pourront pas s'écouler de manière gravitaire.
- La seconde reflète un enneigement occasionnel. Cet enneigement est le résultat d'une élévation occasionnelle du niveau marin due à un événement ponctuel de courte durée. Cette méthode consiste à remplir les zones basses situées sous le niveau marin mais à s'arrêter aux premiers obstacles. Cette méthode permet de limiter les zones submergées, ce qui est plus réaliste dans le cas des événements occasionnels et limités dans le temps.

Dans ces niveaux d'eau modélisés, les hauteurs d'eau atteintes par les plus hautes mers astronomiques (PHMA, coefficient de marée de 120) et le niveau moyen sont homogènes sur toute la façade Occitanie et font référence aux données du Références Altimétriques Maritimes établi par le SHOM en 2017 (Shom, 2017). Le MNT utilisé dans cette étude est le MNT Litto 3D 2009.

**La seconde source de données** des zones basses ennoyées a été produite par le Cerema en 2023 (publication en cours).

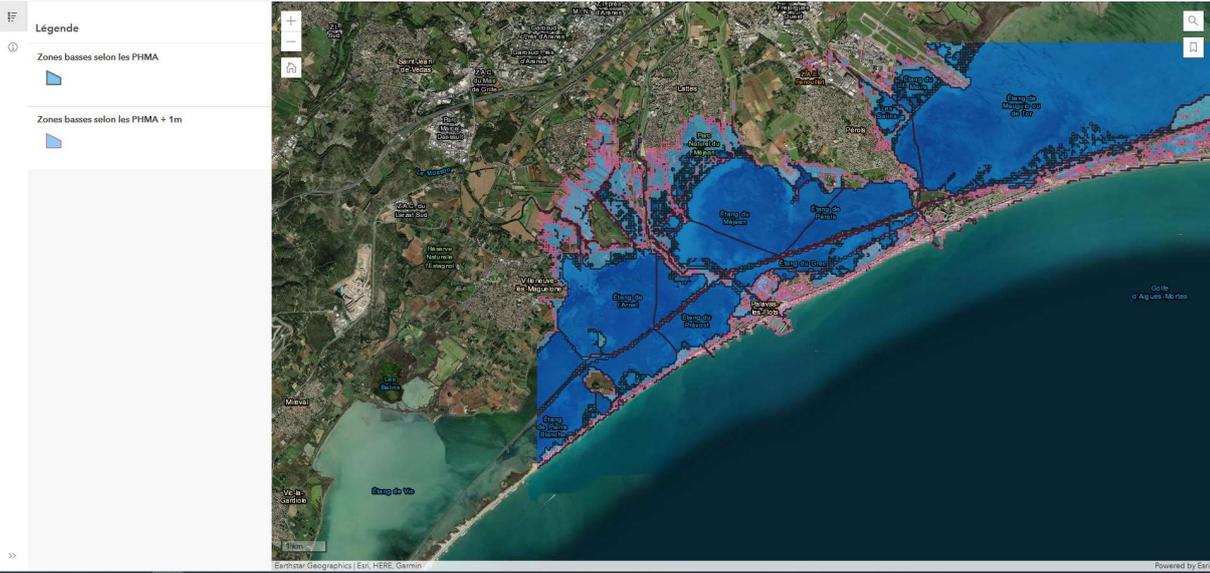
<https://cartagene.cerema.fr/portal/apps/instant/minimalist/index.html?appid=8701058d09384eec91f01cf918cf4d66>

Cette cartographie propose un visuel en ligne de l'envahissement des zones basses du littoral au niveau des plus hautes mers astronomiques (PHMA). Une déclinaison de cette cartographie tient compte d'un ajout de 1 mètre aux valeurs des PHMA afin de simuler l'élévation du niveau marin lié au changement climatique.

Après conversion des valeurs des Références Altimétriques Maritimes édition 2022 dans le système altimétrique terrestre légal de chaque territoire, elles sont croisées avec le RGE ALTI de l'IGN qui est un modèle numérique de terrain maillé décrivant le relief français et disponible gratuitement sur le site de l'IGN.

Pour l'heure, cette donnée n'est que visualisable mais sera téléchargeable après publication prévue courant 2024.

Zones basses du littoral (d'après les niveaux de PHMA)



Zones basses du littoral (d'après les niveaux de PHMA)



Zones basses du littoral (d'après les niveaux de PHMA)



Figure 35-Extraits des cartes d'enneigement futur des zones basses. Source : Cerema 2023

Ces extraits permettent d'illustrer l'impact majeur en Occitanie d'invasissement permanent par la mer de zones basses à 30 ans et à 100 ans. Il est donc très fortement recommandé de prendre en compte ce phénomène dans les projections d'évolution du littoral et donc, dans les cartes locales et au sein des plans locaux d'urbanisme, afin de permettre d'y réguler l'urbanisation et d'y gérer le stock de biens et équipements existants.

### 3.4.3 Augmentation de la fréquence des épisodes extrêmes (crue, tempête marine)

Les analyses réalisées sur les tempêtes marines passées des années 1980 à nos jours (Balouin, 2011) ou l'ensemble des tempêtes pour la même période (Soubeyroux *et al.*, 2021) ne montrent pas de tendance d'évolution nette, mais plutôt une forte variabilité interannuelle. Aucune tendance n'est clairement identifiée, que ce soit sur la durée, l'intensité, les hauteurs de vagues ou les niveaux d'eau à la côte.

Pour le futur, les simulations climatiques de DRIAS 2020 projettent une légère baisse de la force du vent sur la partie méditerranéenne de l'Occitanie, mais qui concerne majoritairement les vents de terre (Mistral et Tramontane), donc sans effets attendus sur les régimes de houle.

Concernant les précipitations, les tendances qui se dessinent pour la fin de siècle sont une légère augmentation possible des précipitations d'hiver, une baisse au printemps et à l'automne qui est du même ordre que celle du cumul annuel. Les changements sont plus marqués en été, avec une baisse de l'ordre de 14 % en RCP4.5 et 38 % en RCP8.5.

En ce qui concerne les précipitations extrêmes en fin de siècle, les nouveaux modèles à haute résolution (Pichelli *et al.*, 2021) indiquent une hausse marquée des précipitations extrêmes horaires qui est voisine de 16 % en moyenne entre 1996-2005 et 2090-2099, avec des disparités entre les modèles. Ces premiers résultats demandent toutefois à être confirmés par des études sur des périodes plus longues et avec davantage de modèles.

En revanche, l'augmentation du niveau de la mer, combinée à des tempêtes identiques à celles observées par le passé, vont induire des impacts plus importants. Les niveaux maximaux atteints par la mer et par le jet de rive lors des événements futurs vont entraîner des régimes de collision, de franchissement et de débordement (Asbury H. Sallenger, 2000) beaucoup plus fréquents. À titre d'exemple, si on considère que les statistiques de niveaux d'eau extrêmes liés aux tempêtes (surcote, setup des vagues) demeureront inchangés, le niveau d'eau de 1 m NGF à Sète qui a aujourd'hui une période de retour trentennale (TRMAL & Cerema, 2019) aura une période de retour inférieure à 10 ans en 2040 et une période de retour inférieure à 1 an en 2100 en raison de la remontée du niveau de la mer.

Les cordons littoraux d'Occitanie ayant globalement une altitude limitée à quelques mètres au-dessus du niveau de la mer seront par conséquent plus touchés par des tempêtes courantes, et facilement débordés ou franchis par les tempêtes les plus extrêmes.

Comme cela a été mentionné dans le chapitre « recul événementiel », cette augmentation de la fréquence des impacts majorés, même pour des événements non extrêmes, va jouer un rôle sur la capacité de résilience des cordons littoraux et est donc à prendre en compte dans un scénario de rupture dans les secteurs où les caractéristiques indiquent une forte vulnérabilité (altitude et épaisseur faibles notamment).

## 4 CONCLUSION

Dans un certain nombre de secteurs en Occitanie, **l'élévation du niveau marin** dû au changement climatique sera probablement l'élément le plus impactant pour l'avenir. Particulièrement dans les secteurs en pourtour de la lagune où la position du futur trait de côte pourrait reculer de plusieurs centaines de mètres passant d'une localisation en front de mer sur le lido sableux à une localisation en arrière-lagune.

L'altitude jouant un rôle majeur dans l'impact de l'élévation du niveau marin, des plages très basses comme dans l'Aude pourraient se retrouver rapidement ennoyées malgré la largeur des plages. Le golfe d'Aigues-Mortes et la petite Camargue sont également particulièrement concernés par ce problème. Certaines zones littorales un peu plus en altitude pourraient également subir un phénomène d'isolement (phénomène d'îlot entouré d'eau comme à Frontignan-plage, Palavas-les-Flots, Mauguio ou La Grande-Motte).

**L'évolution morphologique** du site est également un paramètre à considérer et tout particulièrement sur les lidos sableux qui en plus d'être soumis à l'élévation du niveau marin seront également soumis à de forts changements du profil de plage et de la morphologie générale du lido (lido de Sète à Marseillan, lido de Villeneuve-les-Maguelone, de Gruissan à Port-la-Nouvelle ou de Leucate). La dégradation (destruction même partielle de la dune, ouverture de brèche permanente, aménagement en dur sur ou derrière la dune etc.) de ces minces lidos dunaires participera à l'accélération du phénomène d'enneigement et peut également changer profondément le fonctionnement du transit sédimentaire.

Concernant l'étude des évolutions du trait de côte à des fins de projections dans l'avenir, les données obtenues par l'exploitation des taux historiques ne fournissent qu'une vision rétrospective de l'évolution du trait de côte. Cette évolution tendancielle ne saurait, à elle seule, constituer une évolution future plausible du trait de côte. Afin de nuancer l'approche, **différentes hypothèses doivent être considérées principalement en ce qui concerne le devenir des aménagements côtiers sur la zone.**

Pour finir, le choix dans la **quantification du recul évènementiel** est très impactant dans les projections du trait de côte futur et doit donc être particulièrement bien étudié localement.

## 5 BIBLIOGRAPHIE

**Aleman, N. (2013).** *Morphodynamique a l'échelle régionale d'une avant-côte microtidale a barres sedimentaires* (UNIVERSITE DE PERPIGNAN VIA DOMITIA).

**Aleman, N., Raynal, O., Certain, R., Robin, N. & Brunel, C. (2017).** *Impact des ouvrages portuaires sur la morphodynamique du littoral du Languedoc-Roussillon*, Cefrem, 42 p.

**Aleman, N., Robin, N., Certain, R., Anthony, E. & Barusseau, J. P. (2015).** Longshore variability of beach states and bar types in a microtidal, storm-influenced, low-energy environment. *Geomorphology*, vol. 241, p. 175-191.

**Asbury H. Sallenger, Jr. (2000).** Storm Impact Scale for Barrier Islands. *Journal of Coastal Research*, vol. 16, n°3, p. 890-895.

**Balouin, Y. (2011).** *Etat des connaissances sur les effets potentiels du changement climatique sur les aléas côtiers en Languedoc-Roussillon*. (n° BRGM/RP58872-FR), 82 p.

**Brunel, C. (2010).** *Évolution séculaire de l'avant côte de la méditerranée Française, impact de l'élévation du niveau de la mer et des tempêtes* (Theses, Université de Provence - Aix-Marseille I).

**Brunel, C. (2014) UPVD et DREAL Occitanie.** *REVOLSED : Relation entre l'évolution du trait de côte et le bilan sédimentaire de l'avant-côte du Languedoc-Roussillon*, 68 p.

**Bruun Per. (1962).** Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion. *Journal of the Waterways and Harbors Division*, vol. 88, n°1, p. 117-130.

**CASAGEC Ingénierie, DREAL Occitanie & Région Occitanie. (2020).** *Etude pour la gestion des sédiments du littoral d'Occitanie - Cas particulier du secteur du grau-du-roi et de la flèche de l'Espiguette* (n° CI-19027-C).

**Cédric Brunel, Raphaël Certain, Nicolas Robin, Olivier Raynal, & Nicolas Aleman. (2014) UPVD et DREAL Occitanie.** *Relation entre l'évolution du trait de côte et le bilan sédimentaire de l'avant-côte du Languedoc-Roussillon - REVOLSED*, 68 p.

**Cerema. Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (2019a).** *Connaissance du trait de côte - Élaboration de la cartographie des ouvrages et aménagements littoraux*, 23 p.

**Cerema. Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (2019b).** *Connaissance du trait de côte – Évaluation prospective des enjeux affectés par le recul du trait de côte*, 37 p.

**Cerema. Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (2020).** *Dynamiques et évolution du littoral – Synthèse des connaissances. Fascicule 8 : de la frontière espagnole à Port-de-Bouc*, 270 p.

**Cerema. Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement. (2019).** *Connaissance du trait de côte : Évaluation prospective des enjeux affectés par le recul du trait de côte. Connaissances*, p. 23.

**Certain, R. (2002).** *Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barres : le Golfe du Lion (Languedoc-Roussillon)*.

**Cowell, M., Niece, S. & Rawson, J. (2003).** Cowell, M., La Niece, S., Rawson, J. 2003, A study of later Chinese metalwork, in *Scientific Research in the Field of Asian Art: Proceedings of the first Forbes symposium at the Freer Gallery of Art*, (ed. Jett, P.), 80-89, London: Archetype., p. 80-89.

**Davidson-Arnott, R. (2005).** Conceptual Model of the Effects of Sea Level Rise on Sandy Coasts. *Journal of Coastal Research - J COASTAL RES*, vol. 21, p. 1166-1172.

**Durand, P. (1999).** *L'évolution des plages de l'ouest du golfe du lion au xxeme siecle. Cinématique du trait de côte, dynamique sédimentaire, analyse prévisionnelle.*

**Ferrer, pierre, Certain, raphael, barousseau, J.-P. & gervais, mathieu. (2010).** Modélisation conceptuelle d'un littoral à double barre festonnée en milieu microtidal. *Editions Paralia CFL*, vol. XI èmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, .

**Gervais, M. (2012).** *Impacts morphologiques des surcotes et vagues de tempêtes sur le littoral méditerranéen* (PhD Thesis).

**Giec. (2021).** *Changement climatique 2021: les bases scientifiques physiques. Contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Résumé à l'intention des décideurs*, [publié sous la direction de Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, et B. Zhou]. Cambridge University Press, 40 p.

**Heurtefeux, H. (2014).** *DYNAMIQUE MORPHOLOGIQUE DES PLAGES DE LA CÔTE ROCHEUSE DES PYRENEES ORIENTALES*, DREAL-Occ/EID Méditerranée, 82 p.

**Kergadallan, X. & Cerema. (2023).** Candhis : analyses 2023 des états de mer : Tome 2 - Méditerranée, p. 207 p.

**Kulling, B. (2017).** *Déformation du rivage et dérive littorale des plages du Golfe du Lion* (PhD Thesis).

**MedECC. (2020).** *Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report*, Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France, 632 p.

**Olivier Raynal, Raphaël Certain, Nicolas Robin, & Nicolas Aleman. (2018) UPVD et DREAL Occitanie.** *Prospective de la relation entre l'évolution du trait de côte et le stock sableux de l'avant-côte d'Occitanie - REVOLSTOCK*, 19 p.

**Pichelli, E., Coppola, E., Sobolowski, S., Ban, N., Giorgi, F., Stocchi, P., ... Vergara-Temprado, J. (2021) UPVD et DREAL Occitanie.** The first multi-model ensemble of regional climate simulations at kilometer-scale resolution part 2: historical and future simulations of precipitation. *Climate Dynamics*, vol. 56, .

**Ranasinghe, R., Callaghan, D. & Stive, M. (2012).** Estimating coastal recession due to sea level rise: Beyond the Bruun rule. *Climatic Change*, vol. 110, p. 561-574.

**Raynal, O., Certain, R., Brunel, C., Aleman, N., Guerinel, B. & Montel, L. (2015) UPVD et DREAL Occitanie.** *Analyse volumétrique et granulométrique du prisme sableux littoral du Languedoc-Roussillon. Rapport final LITTOSIS*, 46 p.

**Reco. (2021).** *Cahier régional Occitanie sur les changements climatiques (CROCC) – Édition 2021. Rapport complet*, Réseau d'expertise sur les changements climatiques en Occitanie (Reco), 270 p.

**Roelvink, D., Reniers, A., van Dongeren, A., van Thiel de Vries, J., McCall, R. & Lescinski, J. (2009).** Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal Engineering*, vol. 56, n°11, p. 1133-1152.

**Rosati, J. D., Dean, R. G., Walton, T. L., Research, E., Center (U.S.), D., Coastal & Laboratory (U.S.), H. (2013).** *The Modified Bruun Rule Extended for Landward Transport*, Elsevier B.V.

**Sabatier, F., Stive, M. & Pons, F. (2004).** *Longshore variation of depth of closure on a micro-tidal wave-dominated coast.*

**Service d'Administration & des Référentiels marins. (2021).** *Typologie des ouvrages littoraux.*

**Shom. (2017).** *Références Altimétriques Maritimes.*

**Shom. (2022).** *Références Altimétriques Maritimes.*

**Soubeyroux, J.-M., Bernus, S., Corre, L., Drouin, A., Dubuisson, B., Etchevers, P., ... Tocquer, F. (2021).** *Les nouvelles projections climatiques de référence DRIAS 2020 pour la métropole., 98 p.*

**SYLBE - SYNDICAT DU BASSIN DU LEZ. (s. d.).**

**Tabeaud, M. (1995).** Les tempêtes sur les côtes françaises de Méditerranée. *Annales de géographie*, p. 389-401.

**TRMAL, C. & Cerema. (2019).** Etude de l'intensité-durée-fréquence des houles et niveaux marins au large de Sète, p. 212 p.

**Valentini, N. & Balouin, Y. (2020), BRGM et DREAL Occitanie.** *Amélioration des connaissances et sensibilisation à la vulnérabilité du littoral d'Occitanie - Rôle de l'érosion événementielle sur la vulnérabilité du littoral aux phénomènes de submersion marine. (n° RP-70384-FR).*

**Wainwright, D. J., Ranasinghe, R., Callaghan, D. P., Woodroffe, C. D., Jongejan, R., Dougherty, A. J., ... Cowell, P. J. (2015).** Moving from deterministic towards probabilistic coastal hazard and risk assessment: Development of a modelling framework and application to Narrabeen Beach, New South Wales, Australia. *Coastal Engineering*, vol. 96, p. 92-99.

## 6 ANNEXES

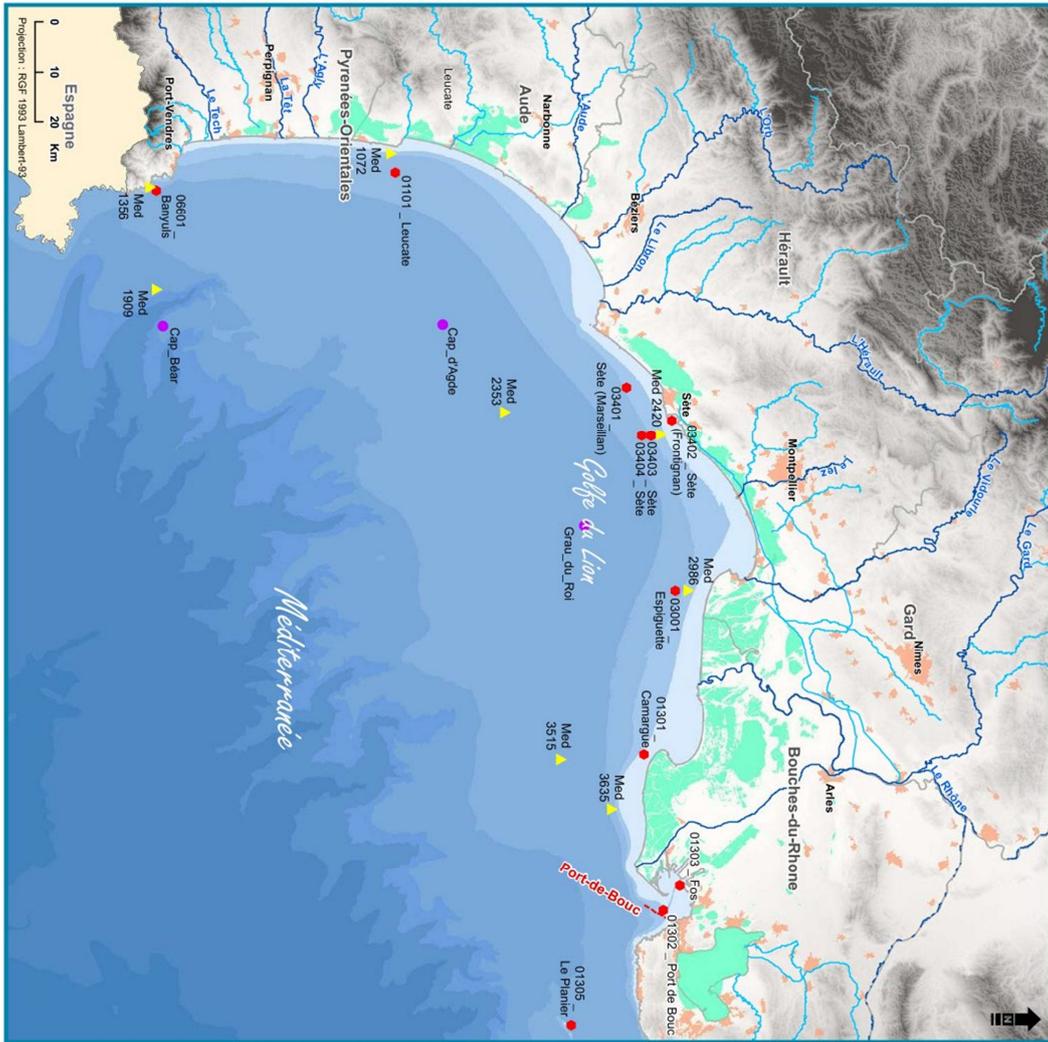
### 6.1 Prise en compte des incertitudes

L'incertitude sur les projections du trait de côte dépend de plusieurs paramètres (incertitude sur la mesure in-situ, la résolution de l'image, l'ortho-rectification, les conditions météorologiques etc.). Le choix de l'utilisation de différents taux d'évolution historiques du trait de côte le long du littoral, promue par le présent document, entraînera une variation de l'incertitude.

La représentation graphique de cette incertitude peut se faire avec l'utilisation d'une zone tampon autour de la projection de la position potentielle du trait de côte ou en variant sur l'épaisseur du trait représentant le trait de côte. L'épaisseur variant, respectivement dû à l'incertitude de la projection sur le secteur. La zone tampon peut également être représentative d'une zone de variation de la position du trait de côte entre 2 scénarii choisis ou encore, entre une valeur maximale et minimale.

Les choix méthodologiques et graphiques faits, devront être discutés en COTECH des cartes locales, définis clairement et associés aux métadonnées. Néanmoins, si les incertitudes estimées pour les projections de trait de côte sont susceptibles de nuire à la réalisation des cartes, il est recommandé de mettre en œuvre des analyses complémentaires permettant de restreindre la marge d'incertitude ou de recourir au dire d'expert, impliquant notamment une réflexion sur la vérité locale du terrain ou encore l'expérience d'analogues connues.

## 6.2 Localisation des bouées du réseau CANDHIS



**Dynamiques et évolution du littoral**  
**Synthèse des connaissances**  
**de la frontière espagnole à Port-de-Bouc**

**Localisation des points**  
**d'observation des états de mer**

- Limite de province sédimentaire
- Cours d'eau principal
- Cours d'eau secondaire
- Etang et lagune
- Bâti
- Limite départementale



- ▲ ANEMOC 2
- AVAG
- CANDHIS

ANEMOC 2 et AVAG sont des basses de données numériques des états de mer :

- ANEMOC 2 est issue de la collaboration d'EDF R&D et le Cerema. Cette base est construite à partir de simulations rétrospectives (code TOMAWAC) sur une période de 32 ans (du 1er janvier 1979 au 31 décembre 2010).
- AVAG est développée par Météo-France et construite à partir de prédictions des états de mer (code WAVWATCH III) archivées depuis 1999.

CANDHIS est une base de données d'observation in situ des états de mer. Les mesures sont effectuées à partir de bouées (hydrographes). Cette base est gérée par le Cerema et regroupe de nombreux partenaires (établissements publics, services de l'Etat, collectivités territoriales, industriels).

► Pour en savoir plus : [www.geo littoral.developpement-durable.gouv.fr](http://www.geo littoral.developpement-durable.gouv.fr)

Source - Copyrigths :  
 Province sédimentaire : Cerema & MEEEM  
 Cours d'eau principal : Cerema  
 Cours d'eau secondaire : Cerema  
 ANEMOC - EDF R&D INHE & Cerema  
 BOBWA - Charles (BRGM & CNRS Météo-France) 2012  
 Bâtiments de métropole - Interim  
 Bâti - Cerema  
 Occupation du sol - Corine Land Cover 2012  
 Cours d'eau - BD Carthage  
 BD Alés - SION Paris - Reproduction interdite

## 6.3 Fiche de mise à jour des données de la bouée de l’Espiguette en cours de publication

### CANDHIS : 03001 – Espiguette

Analyse des valeurs extrêmes de  $H_{1/3}$  :

DIRECTION DE PROVENANCE 0° à 360°

Sélection des pics de tempête

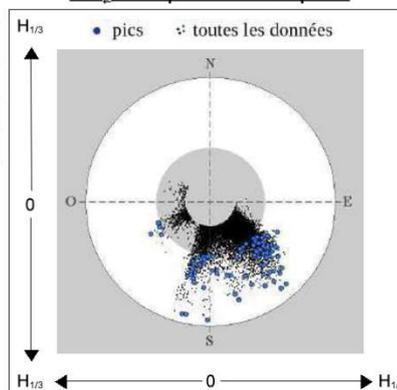
	Seuil (u)	Nb évts/an	Cambrure $H_{1/3}/L_{avd}$	
			médiane	Int. Conf. 70%
GPD	2,55 m	8,50	1/18	1/20 à 1/16
Loi Exp	3,10 m	3,95	1/17	1/19 à 1/16

Paramètres des lois d’ajustement

GPD :  $Pr\{H_{1/3} > h | h > u\} = \left(1 + \xi \frac{h-u}{\sigma}\right)^{-1/\xi}$   
avec  $\sigma = 0,770411$  et  $\xi = -0,287942$

Loi Exp. :  $Pr\{H_{1/3} > h | h > u\} = \exp[-\rho(h-u)]$   
avec  $\rho = 2,260442$

Dir<sub>p</sub> aux pics de tempête

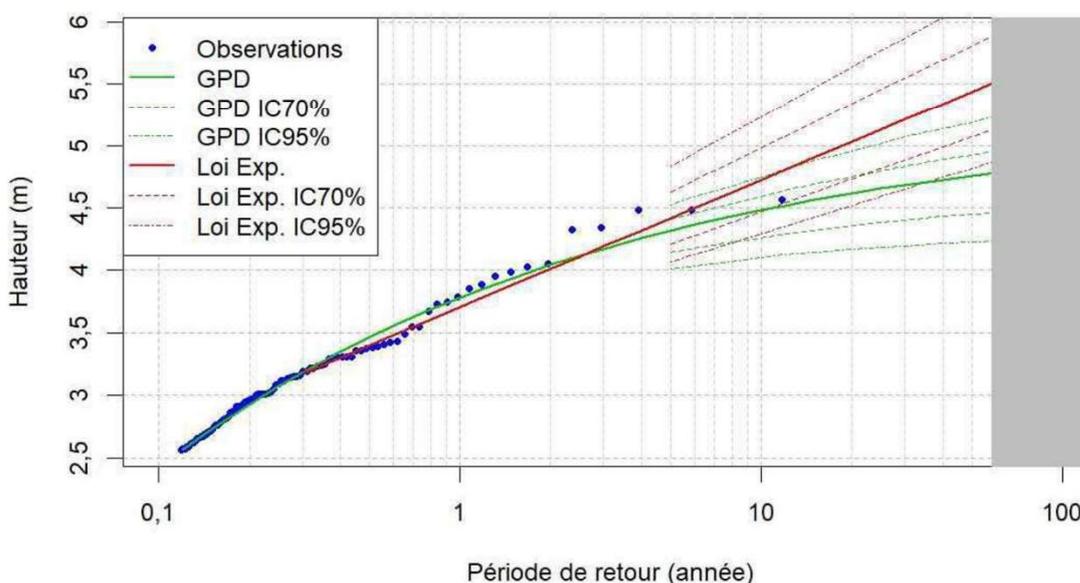


Niveaux de retour

Période de retour	$H_{1/3}$ (mètres)		Int. de Conf. 70% (mètres)		$T_{avd}$ Int. Conf. 70% (secondes) <sup>(1)</sup>	
	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.
5 ans	4,32	4,42	4,14 à 4,41	4,21 à 4,63	6,77 à 7,49	6,86 à 7,59
10 ans	4,48	4,73	4,26 à 4,59	4,47 à 4,98	6,91 à 7,64	7,10 à 7,87
20 ans	4,62	5,03	4,36 à 4,75	4,73 à 5,34	7,01 à 7,77	7,34 à 8,16
50 ans	4,76	5,44	4,45 à 4,92	5,07 à 5,80	7,13 à 7,90	7,66 à 8,52

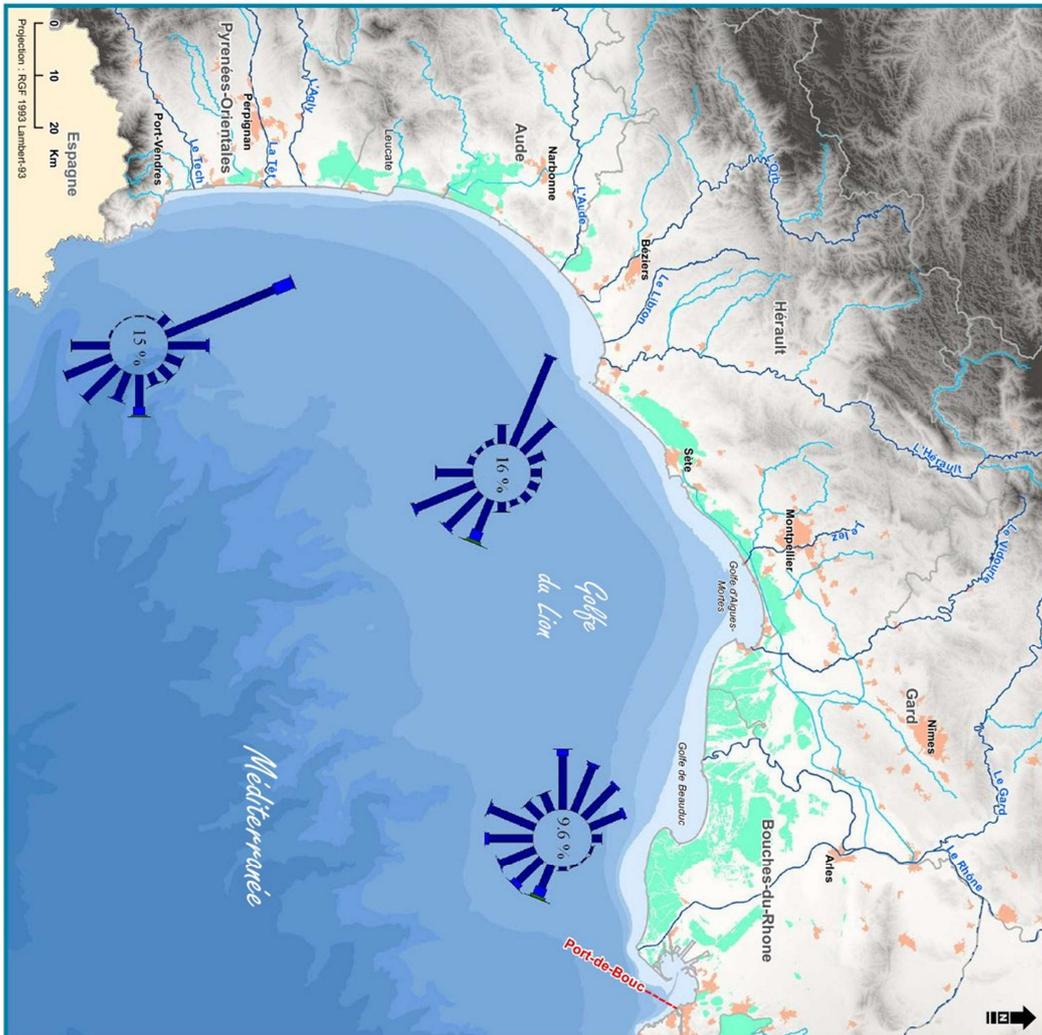
<sup>(1)</sup>  $T_{avd} = \sqrt{(2\pi L_{avd}/g) \cdot \tanh(2\pi Prof/L_{avd})}$  avec  $L_{avd} = H_{1/3}/Cambrure$

Ajustement statistique :



Mise à jour du 27/04/23 - p.5/13

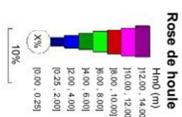
## 6.4 Roses des houles issues de simulations numériques ANEMOC



### Dynamiques et évolution du littoral Synthèse des connaissances de la frontière espagnole à Port-de-Bouc

#### Roses des houles issues de simulations numériques ANEMOC

- Limite de province sédimentaire
- Cours d'eau
- Cours d'eau principal
- Cours d'eau secondaire
- Etang et lagune
- Bât
- Limite départementale



Les roses des houles représentent le pourcentage chorodotés associé à une hauteur significative  $H_{ms}$  donnée, pour une direction moyenne de provenance des vagues donnée.

Le pourcentage associé à une classe donnée de  $H_{ms}$  est fourni par la hauteur du rectangle. Le type de la classe est fourni par la couleur et la largeur du rectangle. Les directions de provenance associées à une  $H_{ms}$  inférieure ou égale à 0,25 m sont jugées peu représentatives et ne sont donc pas représentées. Le pourcentage chorodotés concerné est indiqué au centre de la rose.

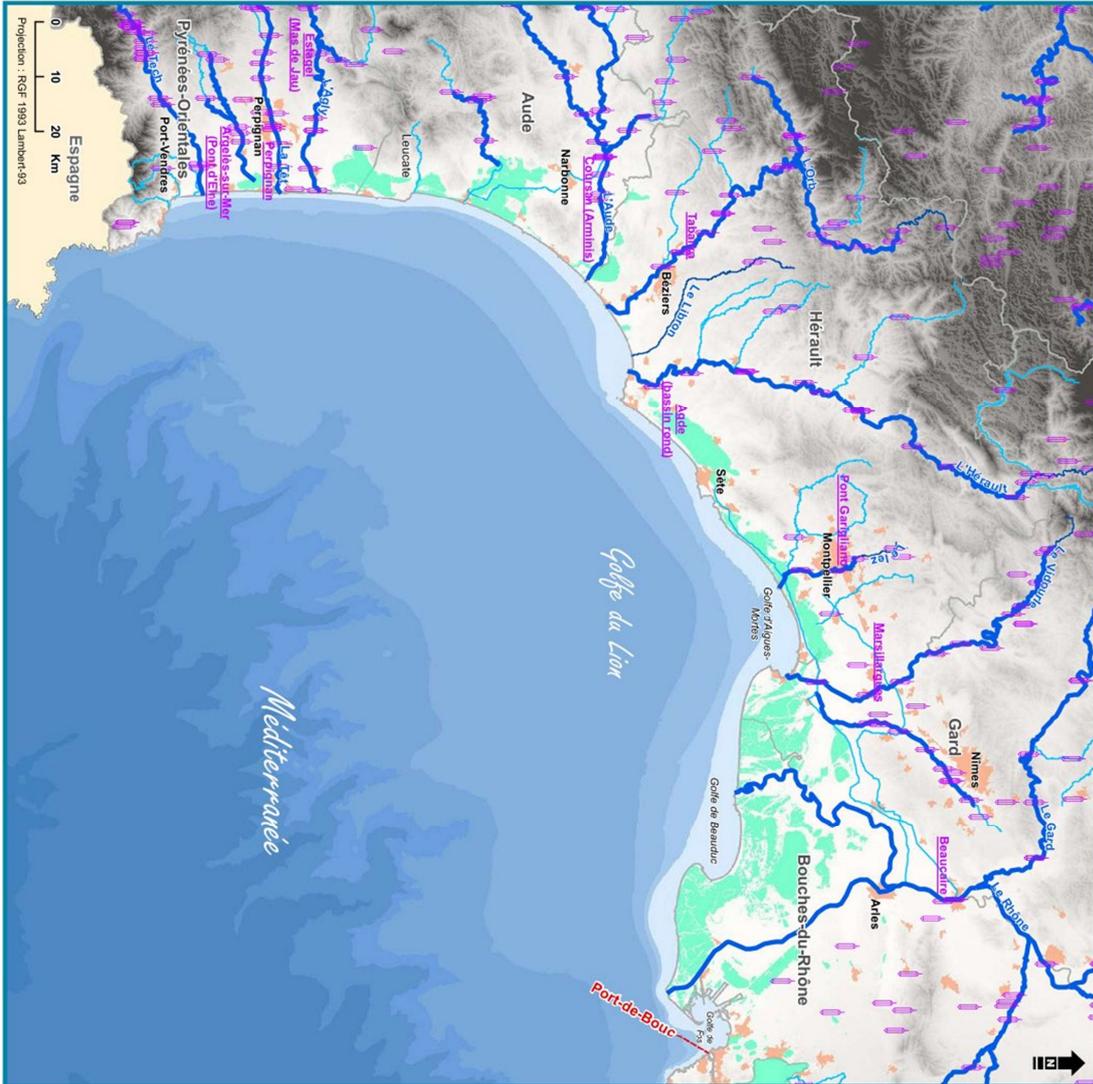
Les données utilisées sont issues de la simulation rétrospective des états de mer du 1<sup>er</sup> janvier 1979 au 31 décembre 2010 (produit ANEMOC-2 par EDF R&D et le Cerema). Ces résultats sont issus de la modélisation numérique et de ce fait doivent être considérés avec prudence.

Pour en savoir plus : [www.geo littoral.developpement-durable.gouv.fr](http://www.geo littoral.developpement-durable.gouv.fr)

Sources Copyrights :  
Province sédimentaire : Cerema & M2EM  
ANEMOC - EDF R&D INHE & Cerema  
Bathymétrie de métropole - Ifremer  
Géographie de la France - IGN  
Occupation du sol - Cerema Land Cover 2012  
BD Alti® - IGN Paris - Reproduction interdite



## 6.5 Localisation des stations de mesure in-situ du réseau Vigicrue



### Dynamiques et évolution du littoral Synthèse des connaissances de la frontière espagnole à Port-de-Bouc

#### Surveillance du réseau hydrographique

- Limite de province sédimentaire
- Cours d'eau
- Cours d'eau principal
- Cours d'eau secondaire
- Etang et lagune
- Bâti
- Limite départementale
- Réseau hydrographique
- Station hydrométrique
- Tronçon réglementaire de vigilance crues



► Pour en savoir plus : [www.geo littoral.developpement-durable.gouv.fr](http://www.geo littoral.developpement-durable.gouv.fr)

Source - Coprignits :  
Province sédimentaire - Cerema & MEEEM  
Tronçon de surveillance de crues - Vigicrues - MEEEM  
Station hydrométrique - MEEEM  
Pays limitrophes - EEA - "terremer"  
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012  
Cours d'eau - BD Carthage  
GEOFLAE - IGN Paris - Reproduction interdite  
BD Carthage - IGN Paris - Reproduction interdite



## 6.6 Table attributaire des productions MOBITC

Nom du champ	Commentaire
Naxe	Numéro de l'axe de la ligne de base (ligne de référence)
Ntrace	Numéro de la trace (parallèle à la ligne de base)
Xsque	Coordonnées géographiques de l'élément
Ysque	
U	paramètre géométrique de l'histogramme (vecteur permettant d'obtenir l'angle)
V	paramètre géométrique de l'histogramme (vecteur permettant d'obtenir l'angle)
Angle	angle de l'histogramme (orientation dans l'espace)
Ndate	Nombre de traits de côte utilisés
Duree	Durée d'observation (en année)
Amplitd	Amplitude maximale entre les tdc (en mètres)
DtTDCvx	Date du tracé du tdc le plus ancien
DtTDCrc	Date du tracé du tdc le plus récent
Marquer	Marqueur du trait de cote utilisé (3 = jet de rive; 15 = Haut de falaise ; 13 = limite de végétation)
EPR	End Point Rate (EPR) ou taux des extrémités : Une droite est tracée entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent. Le taux (EPR) correspond à la distance séparant ces 2 positions divisée par le nombre d'année qui les sépare.
AOR	Average Of Rate (AOR) ou moyenne des taux : Les traits de côte sont considérés 2 à 2 et un taux est calculé pour chaque couple. Le taux AOR est la moyenne des différents taux.
OLS	Ordinary Least Square (OLS) ou régression linéaire classique : Une droite est ajustée à travers les positions de trait de côte par la méthode des moindres carrés. Le taux OLS correspond à la pente de la droite. A partir de 3 positions de traits de côte des intervalles de confiance peuvent être calculés.
WLS	Weighted Least Square (WLS) ou régression linéaire pondérée : La méthode OLS est appliquée en pondérant les positions de trait de côte suivant les incertitudes. Un trait de côte imprécis a moins de poids dans la régression qu'un trait de côte précis. A partir de 3 positions de traits de côte des intervalles de confiance peuvent être calculés. Nous conseillons les résultats de cette méthode.
RLS	Reweighted Least Square (RLS) ou régression linéaire repondérée : La méthode OLS est appliquée en retirant au préalable les traits de côte s'écartant de +/- un écart-type. Si après retrait de ces traits de côte il reste 3 points, des intervalles de confiance peuvent être calculés.
RWLS	Reweighted Weighted Least Square (RWLS) ou régression linéaire bi-pondérée : La méthode WLS est appliquée en retirant au préalable les traits de côte s'écartant de +/- un écart-type. Si après retrait de ces traits de côte il reste 3 points, des intervalles de confiance peuvent être calculés.
JK	Jackknifing (JK) ou méthode Jackknife : La méthode OLS est réalisée autant de fois que de traits de côte, en retirant à chaque fois un trait de côte. Le résultat final correspond à la moyenne des OLS. Si seulement 2 positions de trait de côte sont disponibles, le calcul est impossible. A partir de 4 positions de traits de côte des intervalles de confiance peuvent être calculés.
K	xx
MDL	Minimum Description Length (MDL-0) : La première étape est de déterminer le type de modèle polynomial qui s'ajuste au mieux aux positions de trait de côte (juste milieu entre la complexité et les erreurs d'ajustements). 3 modèles sont disponibles : linéaire, parabolique ou cubique. Si le modèle linéaire est retenu, le taux MDL-0 est identique au taux OLS. Si le modèle quadratique ou cubique sont retenus, la date du point d'inflexion le plus récent est donnée (DateK). Une régression linéaire est alors réalisée à partir des positions de trait de côte postérieures à cette date. S'il n'y en a pas le calcul est impossible.
DateK	date du point d'inflexion le plus récent (lié au Taux MDL)
Product	Nom du producteur des histogrammes
DatePrd	Date de production des histogrammes
Grp_WLS	fichier dans lequel se trouve le graph correspondant
Loc	nom de la région / du projet

## 6.7 Typologie SAR 2021 utilisée dans la mise à jour 2023 de la base de données « Ouvrages littoraux »

Catégorie	Classe	Type
Ouvrages de protection du trait de côte	Ouvrages se substituant au trait de côte	Digue
		Mur et mur de soutènement
		Perré
Ouvrages sans objectif de protection du trait de côte	Ouvrages de lutte contre l'érosion	Brise-lames
	Accès	Epi
		Chemin et voie submersible
Ouvrages sans objectif de protection du trait de côte	Infrastructures portuaires et de navigation	Cale
		Escalier
		Jetée
		Môle
		Quai
	Bâti	Ponton
		Brise-lame portuaire
		Ouvrage de signalisation maritime
		Bâtiment
		Structure d'élevage marin
		Carrelet
	Ouvrages immergés	Fortification
		Blockhaus
		Autre bâti
		Butée de pied
		Dispositif atténuateur de houle
		Récif artificiel
	Divers	Ancrage et fondation des systèmes d'énergie marine renouvelable
		Protection des fondations des systèmes d'énergie marine renouvelable
		Câble et conduite sous-marine
		Coffre de navire
		Pile de pont ou passerelle
		Ecluse et porte à flots
		Emissaire, exutoire et prise d'eau
		Mur de délimitation
Remblai		
Vestige d'ouvrage		



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



**Cerema**

CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

Cerema Direction Occitanie : 1 avenue du Colonel Roche - F-31 400 Toulouse – Tél : +33 (0)5 62 25 97 04

Agence de Montpellier : 105 avenue Guglielmo Marconi – F-34000 Montpellier – Tél : +33 (0)4 67 90 20 97 54

Siège social : Cité des mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30

[www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)



@ceremacom



@Cerema