

Étude prospective des plages de la côte Vermeille du Parc Naturel Marin du Golfe du Lion

*Evolution du trait de côte sur la période 2009-2020 et
projection à l'horizon 2050*

OFB – Parc Naturel Marin du Golfe du Lion



2023

CONTACTS

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

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

Alexian AJAS
aajas@eid-med.org
04 30 63 67 81

EID Méditerranée
Pôle Littoral

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



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

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

Table des matières

I.	Introduction.....	4
A.	Fonctionnement des plages de poche de la Côte Vermeille	6
1)	Evolution du trait de côte.....	6
2)	Mouvements hydro-sédimentaires.....	7
3)	Ouvrages affectant la dynamique hydro-sédimentaire	8
4)	Climatologie de la Côte Vermeille	9
B.	Méthode de projection du trait de côte.....	13
1)	La méthode "DSAS" :	13
2)	Méthode de calcul.....	15
3)	Détermination des incertitudes :	17
II.	Résultats.....	19
A.	Tendance actuelle et évolution future des plages par commune :.....	23
1)	Argelès-sur-Mer (secteur sud du port) :.....	23
2)	Collioure	27
3)	Port-Vendres	35
4)	Banyuls	42
5)	Cerbère.....	47
III.	Conclusion	54
	Bibliographie.....	57

I. Introduction : rappels et objectifs de l'étude

Le trait de côte est un terme de plus en plus prioritaire au fil du temps et sa gestion est devenue un enjeu depuis l'avènement des stations balnéaires avec la mission Racine*. Il est défini de manière simplifiée comme étant la limite terre-mer du rivage par temps calme. Evidemment, sa position varie chaque année mais aussi plus épisodiquement lorsque la houle se forme pendant les différentes tempêtes marines qui affectent les côtes. Le « recul du trait de côte » doit être différencié de l'érosion côtière, terme qui se traduit par une perte de matériaux, un déficit de sable sur la plage. Ce phénomène est généré par plusieurs facteurs combinés qui peuvent être naturels comme anthropiques.

Même si son littoral est essentiellement rocheux, la côte Vermeille présente de nombreuses plages de poche distribuées le long du littoral de 5 communes pour le plus grand bonheur des locaux et des touristes. Cet endroit s'étend sur près de 25 km, entre les communes d'Argelès-sur-Mer au nord et Cerbère au sud, en passant par Collioure, Port-Vendres et Banyuls. De nombreux caps et anses se succèdent, faisant le lien entre la mer Méditerranée et la chaîne des Pyrénées, et impliquant de fortes pentes sur les plages du secteur.

Ces dernières présentent l'avantage d'être protégées à l'abri des différents caps rocheux et falaises qui les bordent. Cependant, toutes ces plages n'ont pas la chance d'être approvisionnées en sédiments de manière naturelle par des fleuves ou autres rivières. Néanmoins, et comme le confirme l'étude 2014 de l'EID pour la DREAL, l'action des torrents/cours d'eau sur les plages de poche fournit des sédiments mais peut également entraîner un ravinement intense lors des crues les plus fortes. Ces plages sont également soumises au risque d'érosion et pour certaines à la submersion marine lors d'épisodes météorologiques exceptionnels. En effet, sur les fronts de mer urbanisés, les tempêtes de ces 40 dernières années ont généré à plusieurs reprises des dégâts sur les digues et baladoirs situés en front de mer (Tableau 2, issu de l'étude EID 2020). Cette côte est également soumise au risque d'éboulement et de chutes de blocs depuis les falaises et escarpements côtiers qui surplombent parfois des lieux de promenades et des plages, ou supportent des chemins de fer ou de randonnée tels que le sentier du littoral.

L'objectif de cette étude s'inscrit dans la démarche « Ambition Littoral » portée par le Parc Naturel Marin du Golfe du Lion, afin de compléter les travaux les plus récents sur l'évaluation historique des vitesses de recul ou d'avancée du trait de côte, et d'envisager une projection de sa position à l'horizon 2050. Ce travail doit ainsi permettre aux gestionnaires et aux élus d'avoir une vision la plus à jour possible des mouvements actuels du trait de côte et de pouvoir ainsi évaluer et anticiper les risques sur certains enjeux à proximité directe des plages de poche. Il est important de garder à l'esprit que cette étude doit permettre une première prise de conscience et de support de discussion pour les gestionnaires sur le futur du littoral de la côte Vermeille. Ce rapport, ainsi que la méthode utilisée, ne sont donc pas des documents

officiels et il conviendra de rester mesuré à la lecture de ces résultats qui devront être affinés grâce au développement des suivis sur la côte Vermeille.

Pour obtenir les tendances du littoral à l'horizon 2050, 2 étapes ont été nécessaires à partir de la méthode utilisée et détaillée dans l'article de Durand et Heurtefeux paru en 2006 dans un journal allemand, Zeitschrift für Geomorphologie. Des cartes de projection et d'impact d'enjeux viendront compléter les explications pour chaque commune et secteur-clé.

A. Fonctionnement des plages de poche de la Côte Vermeille

1) Evolution du trait de côte

Contrairement à la côte sableuse, la dynamique hydro-sédimentaire de la côte rocheuse n'est pas autant étudiée par les divers travaux et études des organismes scientifiques et bureaux d'études. Ces derniers vont essentiellement accompagner les collectivités dans la construction d'ouvrages en mer via des calculs et des modélisations pour la construction et le dimensionnement de digues. Ce type d'étude permet d'étudier la propagation des vagues dans les baies urbanisées avec leurs ports, mais se préoccupe généralement moins de la dynamique sédimentaire.

Néanmoins, selon l'indicateur national d'érosion côtière établi par le Cerema (2015 et révisé en 2018), le trait de côte semble assez stable sur le long terme au niveau national. Cette tendance semble relativement similaire pour la côte rocheuse, comme le confirment les études précédentes comme celle de l'EID en 2020 pour le parc naturel marin. Certaines plages dont Paulilles montrent même des variations de position quasi nulles depuis près de 70 ans (EID 2020). D'autres secteurs comme les plages de l'Ouille ou du Minerai (à la frontière avec l'Espagne) présentent une érosion qualifiée de « lente mais notable ». Enfin, l'anse du Fontaulé, située sur la commune de Banyuls-sur-Mer, présente un élargissement de sa plage. Il faut tout de même insister sur le fait que les plages de poche n'ont pas d'équivalence ailleurs sur le littoral Occitan en termes de fonctionnement hydro-sédimentaire. De plus, l'étude d'échelle nationale ne permet pas de répondre aux spécificités territoriales avec suffisamment de précisions. C'est pourquoi, le Parc a financé l'étude EID 2020 et SENVISAT - SUIVISAT pour avoir une actualisation des connaissances sur l'érosion de la côte Vermeille entre 1942 et 2019, par imagerie satellite. Cette étude permet donc de se focaliser sur une zone bien précise afin de mieux quantifier les potentiels mouvements du trait de côte dans le futur. La complémentarité avec des mesures de terrain régulières sera évidemment nécessaire pour confirmer les résultats obtenus ici et suivre l'évolution des enjeux rattachés derrière.

Un autre document traite également de la côte rocheuse : il s'agit de la déclinaison régionale de la Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de Côte (SRGITC ; DREAL-Occitanie, 2018). Ce document fait état d'une relative stabilité des plages de poche à la différence des plages voisines de la côte sableuse catalane. Il est également expliqué que les interventions humaines sont limitées et que seuls des reprofilages de plage sont effectués avant la période estivale afin de redistribuer le sable accumulé en haut de plage. Ces observations sont donc similaires selon les différents documents et confirment que malgré la stabilité du trait de côte par rapport à la côte sableuse catalane, il est conseillé d'effectuer un suivi régulier notamment par la présence d'enjeux à proximité directe du haut de plage.

2) *Mouvements hydro-sédimentaires et particularités de la Côte Vermeille*

Le rapport de stage de DESS de P. Richard, fait au département de Géographie de l'Université de Perpignan en 1993 avec le CEPREL (ancien bureau d'étude sur le littoral qui sera assimilé plus tard à l'EID), montre une description très détaillée du paysage des plages de la côte rocheuse. A partir d'observations terrain combinées à des archives, au moins 42 plages peuvent être comptabilisées sur la côte rocheuse dont les 26 les plus importantes (superficie) seront étudiées dans ce rapport. Chacune d'entre elles est le résultat d'une histoire souvent complexe. Cette histoire englobe la géologie des roches, leur altération, de l'hydrologie des principaux cours d'eau, de l'exposition aux houles ainsi que de l'apport par érosion de matériaux issus des falaises à proximité. Ce dernier point est d'ailleurs l'une des particularités principales de ces plages. Leur apport est conditionné par le fractionnement des falaises les entourant. Les chutes de blocs, fréquentes dans ces secteurs géographiques, se retrouvent dans l'eau et sont érodées en particules de plus en plus fines au fil de temps et qui finissent par se retrouver sur les plages environnantes. Ce processus permet donc d'enrichir les plages de poche en sédiments, mais entraîne aussi parfois un risque de chute de blocs sur les criques les plus étroites et les sentiers à proximité. Le recul du trait de côte pourrait alors menacer de plus en plus de plages de poches de la Côte Vermeille face à ce risque de chute de blocs dans les années à venir.

Chaque plage de poche montre ainsi un fonctionnement différent que nous ne détaillerons pas ici, mais qui explique tout l'intérêt d'avoir un suivi plage par plage, et que l'on retrouvera malgré tout dans cette prospective. Mais les différents paramètres cités juste avant induisent des caractéristiques propres à chaque plage de la côte Vermeille.

L'évolution saisonnière est cependant visible pour toutes les plages du secteur. Il y a des mouvements sédimentaires entre les zones immergées et émergées et ceux-ci ne sont pas forcément similaires aux mouvements visibles sur les plages voisines de la côte sableuse. En effet, les sédiments les plus grossiers sont généralement présents sur le haut du profil de plage de galets et les sables fins au niveau des petits fonds. Or, l'étude EID de 2014, réalisée sur la dynamique morphologique des plages de poche de la Côte Vermeille, montre l'inverse puisque les galets se situent sur la partie immergée alors que le sable plus fin est présent en haut de plage. Cette particularité s'explique par la faible largeur de plage et la présence d'ouvrages réfléchissants (murets ou falaises).

Un autre point essentiel est que l'évolution saisonnière de toutes les plages est bien visible sur la côte Vermeille. L'étude EID 2014 montre qu'il est possible que, sur la côte rocheuse, à l'inverse des côtes sableuses, les plages soient généralement plus étroites l'été et s'élargissent l'hiver, dans un principe de fonctionnement où les petites vagues remontent les sédiments vers le haut du profil, tandis que les grosses vagues les balayent et les répartissent sur une surface supérieure. Le rapport du CEFREM 2019 montre aussi des variations saisonnières, mais qui sont irrégulières selon les secteurs et ne suivent pas forcément une logique d'avancée du

trait de côte l'hiver et de recul durant les beaux jours. La dynamique sableuse est plus forte et différente aux abords des embouchures de cours d'eau. A Banyuls par exemple, la dynamique de la plage et le remodelage de la berme et du trait de côte sont importants tout au long de l'année, entraînant des rotations du trait de côte certainement liées à une circulation le long de la plage (CEFREM 2019). La dynamique de la plage de Banyuls implique certainement une contribution des deux facteurs essentiels que sont les débits de la Baillaury (l'impact des crues notamment) et le remodelage des sédiments par les vagues (cf. CEFREM 2019).

Ces différentes études montrent donc que des changements de profils de plages sont importants à l'échelle événementielle / saisonnière, ceci en fonction de la chronique des tempêtes hivernales (et phases de beau temps). De plus, et comme observé également sur la côte sableuse, les phases hivernales durant lesquelles se produisent les tempêtes n'engendrent pas systématiquement une érosion de la plage émergée (EID 2020). Il arrive fréquemment que des tempêtes expulsent de grandes quantités de sable sur le haut de plage. Enfin, il semble que la phase estivale puisse produire des changements importants du trait de côte contrairement aux plages sableuses voisines. **Ces observations sont évidemment à confirmer par des suivis réguliers de terrain (topo-bathymétrie) et d'images satellites très haute résolution, comme ce qui se fait sur la côte sableuse catalane voisine.**

3) Les différents forçages pouvant affecter le trait de côte des plages de poche

3-1. Ouvrages « durs » présents sur le secteur d'étude

Même si la côte Vermeille est plus protégée des tempêtes et autres épisodes de forte houle de par sa situation géographique, elle n'en reste pas moins soumise à des risques menaçant directement certains enjeux des communes du secteur. Pour y faire face, plusieurs

Commune	Lieu-dit	Nature-type	Dimension	Date	dates 2
Argelès-sur-Mer	Port	éperon (jetée sud)	50m	1976	
Argelès-sur-Mer	Port	digue nord	300m	1976	
Argelès-sur-Mer	Port	digue sud	350m	1976	
Collioure	Anse de la Balette	éperon nord	20m	1882	
Collioure	Anse de la Balette	éperon ouest	20m	1882	
Collioure	Anse de la Balette	quai ouest	60m	?	
Collioure	Ile St Vincent	éperon mur-jetée est	30m	?	
Collioure	Château Royal	passage pied du château	3km	1876-80	
Collioure	Château Royal	digue nord	150m	1866	
Collioure	Eglise St Vincent	Eperon	40m	1893	
Collioure	Eglise et Ile St Vincent	Mur-jetée	90m	1882-85	
Collioure	Ile St Vincent	Mur-jetée Est	125m	1882-85	
Port-Vendres	Port commerce	Port - jetée sud	230m	1846-53	1856-61, 1863-65, 1868, 1884, 2009-10
Banyuls-sur-Mer	Port	digue de l'ile Grosse (est)	100m	1871	
Banyuls-sur-Mer	Port	éperon nord ile Grosse	54m	1891	
Banyuls-sur-Mer	Port	Jetée est-ouest	250m	1968	
Banyuls-sur-Mer	Port	Epi - ile Petite	150m	1968	
Banyuls-sur-Mer	plage	Eperon ile Petite	360m	1985-87	
Cerbère	plage del Saurel	Digue - port abri	100m	1976	1979, 1998, 2003, 2010

Tableau 1 : liste des ouvrages présents entre Argelès-sur-Mer et Cerbère (données issues de l'étude EID 2020 pour le Parc Naturel Marin du Golfe du Lion)

constructions ont été réalisées le long de ce littoral, et ceux depuis plus d'un siècle déjà. Une liste des ouvrages de protection a été établie par le CEFREM en 2011 dans le cadre du travail pour la DREAL sur « le plan de gestion des sédiments en Languedoc Roussillon », et mise à jour lors de l'étude de suivi SENVISAT de 2019 pour le parc naturel marin :

Le tableau ci-dessus montre que seulement quelques ouvrages sont présents sur les plages de poche de la côte Vermeille. On retrouve essentiellement des ouvrages portuaires, des murets ou baladoirs au centre des villes (Argelès, Banyuls, Port Vendres, Collioure). De plus, beaucoup d'ouvrages sont anciens puisqu'ils ont vu le jour soit au XIX^{ème} siècle, soit avant les années 1980. On note aussi certains ouvrages qui ont été consolidés ou reconstruits (digue portuaire de Cerbère emportée par une tempête en 2008). Ces observations montrent que le problème d'érosion et de submersion ne date donc pas d'aujourd'hui, mais surtout que le renforcement des événements météorologiques, combiné à l'élévation du niveau marin, rend la houle plus dangereuse et fragilise les ouvrages, confirmant ainsi les craintes pour certaines plages avec enjeux.

3-2. Climatologie de la Côte Vermeille

Le climat qui affecte la côte Vermeille est très particulier tout au long de l'année, notamment par la proximité avec la côte des Albères et la chaîne des Pyrénées. Il est de type méditerranéen avec une pluviométrie essentiellement concentrée sur l'automne et le printemps (70 jours de pluie par an en moyenne, même si cette donnée est très largement inférieure sur les dernières années d'observation).

Les données de houle sont connues grâce à la bouée de Banyuls, la plus proche du secteur d'étude. Elle fournit l'essentiel des données disponibles de mesures directes de la houle depuis novembre 2007. Elle se situe sur des fonds de -50 m au large de la baie de Banyuls. La figure 1 montre la rose des houles moyennes annuelles enregistrées par la bouée.

La direction principale provient du nord et concerne les houles de Tramontane qui affectent la côte quotidiennement. Les houles marines présentent elles 2 directions principales : est et sud-est. Enfin, les houles de tempêtes, dont le Hs > 3 m, viennent exclusivement de l'est.

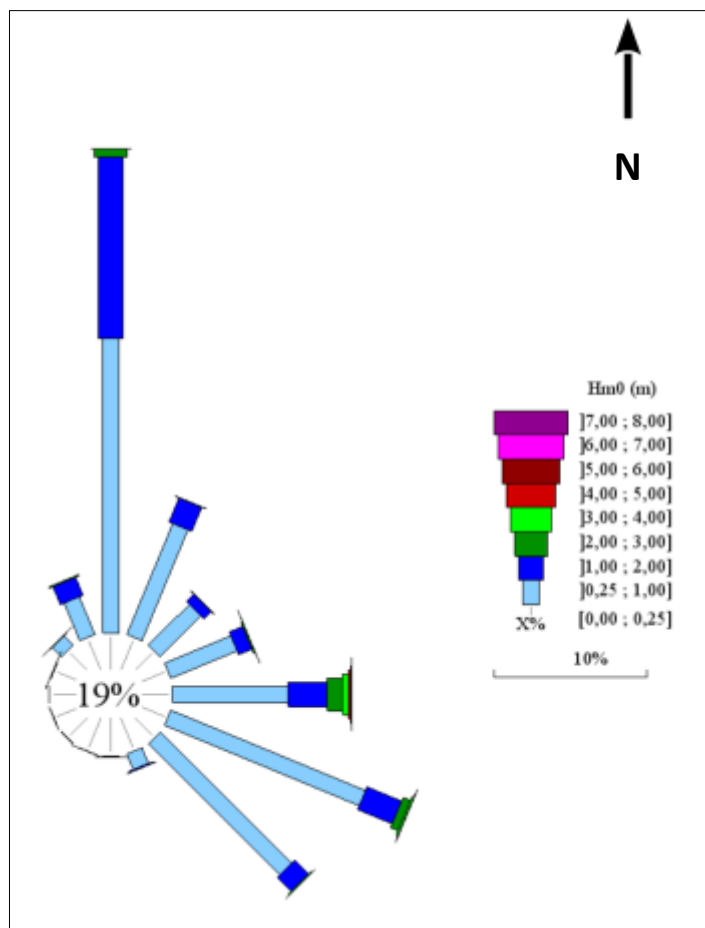


Figure 1 : Rose des houles annuelle enregistrées à la bouée de Banyuls-sur-Mer (mise à jour du 16/02/2022)

L'étude d'actualisation des connaissances des plages de poche de la côte Vermeille réalisée par l'EID en 2020 a mis en évidence un classement des plus fortes tempêtes ayant affecté la côte Vermeille depuis 1979. Ce classement est basé uniquement sur la hauteur significative des vagues. Sur les 10 tempêtes enregistrées, on peut noter que 7 se sont produites sur les 20 dernières années. Cependant, les tempêtes les plus fortes enregistrées sur le Golfe du Lion, dont celles de décembre 1997 et novembre 1982, n'apparaissent pas dans ce classement. L'inverse montre aussi que la tempête Gloria de 2020 qui a fortement affecté le littoral catalan, n'a eu que peu d'effets sur la partie nord du Golfe du Lion (d'après les observations terrain faites par l'EID et les autres acteurs du réseau tempête). Ces observations montrent que la hauteur de houle n'est pas le seul forçage qui joue sur l'intensité d'une tempête et qu'il est essentiel de garder en tête la direction des houles. On peut tout de même noter que les 2 dernières fortes tempêtes qui ont affecté le littoral catalan (Celle de mars 2018 et Gloria en janvier 2020) sont comprises dans les données de l'étude, ce qui peut expliquer certains résultats que nous verrons par la suite.

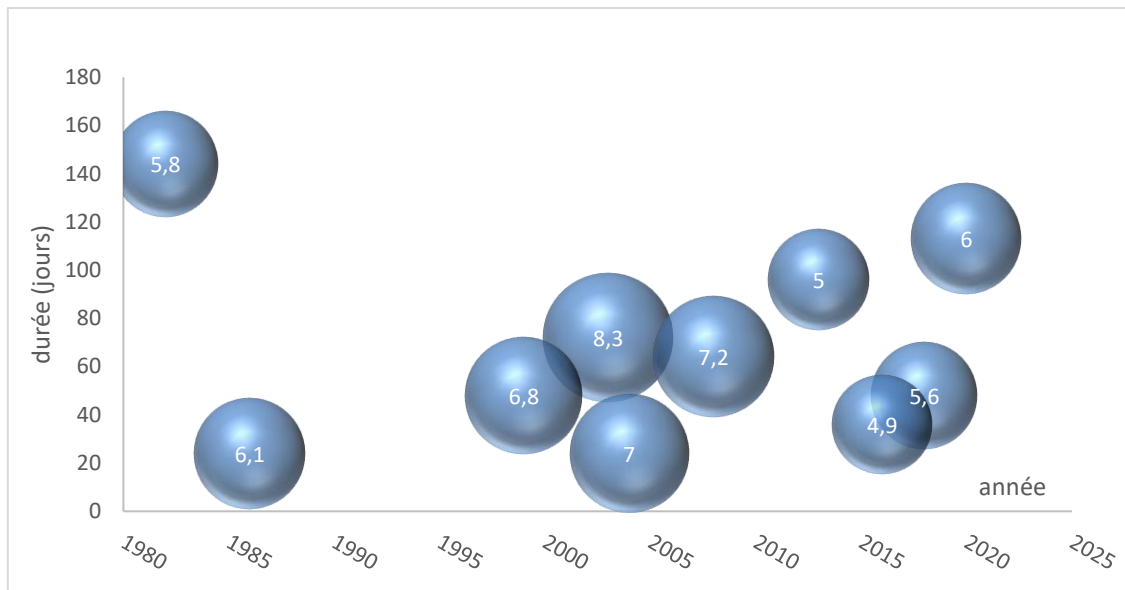


Figure 2 : Représentation des 10 principales tempêtes ayant affecté le littoral de la côte Vermeille. Les valeurs dans les cercles représentent la hauteur significative moyenne mesurée en mètres pour chaque évènement

Le vent est aussi un paramètre important mais qui ne détermine pas pour autant la force d'une tempête puisque les records ont été enregistrés justement lors des événements de 1982 et 1997 (près de 200 km/h de vent) mais ils n'ont pas entraîné des hauteurs de houle si morphogènes que prévu. Les 10 tempêtes visibles dans le tableau ci-dessous ont des moyennes de vent comprises entre 70 et 100 km/h (enregistrés par le sémaphore du cap Béar). Néanmoins, 3 principales directions de vent sont connues sur le secteur : le vent marin (nord-est à sud-est), le vent d'Espagne (sud-est) et la Tramontane (nord-ouest). Cette dernière représente 70 % des jours de vent sur une année, soit environ 130 jours.

Enfin, il est important de rappeler que ces forçages qui touchent la côte Vermeille ne sont pas synchrones avec ceux du reste du littoral du Golfe du Lion (EID 2020). Les plages de poche sont protégées par des caps rocheux, mais la forte pente de profil de plage accentue l'énergie lors du déferlement de la houle sur le rivage. Les vents ne sont pas plus forts qu'ailleurs mais la topographie et le relief présent à proximité directe du littoral, ainsi que sa forte présence (plus de 200 jours par an même si cette valeur tend à diminuer d'après les dernières études de l'UPVD) ont un rôle important sur le paysage local.

Tableau 2 : classement des plus fortes tempêtes enregistrées depuis 1979 selon la hauteur significative moyenne de la houle, données issues du réseau tempêtes du BRGM et du site Ambition littorale du Parc Naturel Marin du Golfe du Lion : <https://www.ambition-littoral.fr/?ListeOutils>

Classement tempêtes	Date de la tempête	Houle significative moyenne mesurée (m)	Dégâts constatés	Remarques données
1	04/12/2003 07:00	8.3	Etat de catastrophe naturelle sur plusieurs communes (dégâts voirie, quai et digue, coulées boue)	Données bouée laboratoire ARAGO
2	26/12/2008 18:00	7.2	Dégâts ouvrages de protection, submersion marine	
3	21/02/2004 03:30	7.0	Dégâts voirie, ouvrages de protection et habitations	Données ADCP station au large de la Têt
4	12/11/1999 21:30	6.8	12 morts (Pyrénées Orientales), état de catastrophe naturelle et gros dégâts sur ouvrages	Données bouée laboratoire ARAGO
5	01/03/1986 16:00	6.1	Dégâts ouvrages de protection, submersion marine	Sorties modélisation ANEMOC2/LHSV UnivParisEst-CEREMA
6	21/01/2020 03:00	6.0	Dégâts ouvrages de protection et accès plage, coulées de boue	
7	05/03/2013 11:00	>>4.8	Dégâts ouvrages de protection, submersion marine	Bouée arrêtée juste avant le 2 nd pic de tempête (prévision Hs=5.3m sur Ifremer)
8	27/12/1980 19:00	5.8	/	Modélisation laboratoire italien DICCA
9	01/03/2018 00:00	5.6	Dégâts ouvrages de protection, habitations submergées	
10	13/10/2016 14:00	4.9	/	

NB : selon le projet ANEMOC 2 du laboratoire LHSV, la tempête du 01/03/1986 a été aussi particulièrement forte à Banyuls, avec plus de 6 m estimé, mais 5 m a été évalué par le laboratoire italien DICCA.

B. Méthode de projection du trait de côte

1) La méthode "DSAS" :

L'extension DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) permet d'analyser des variations fines et locales du trait de côte, grâce à l'outil de quantification des déplacements transversaux DSAS. Ce module expérimental créé par l'USGS (United States Geological Survey) et exploitable sous le logiciel ArcGis (©ESRI), présente l'avantage d'être simple et efficace pour l'automatisation des tâches, et permet de donner une tendance annuelle de variation de la position du trait de côte sur une période précise. L'outil fait l'objet de diverses publications lors de chaque mise à jour du système directement sur le site de l'USGS et se retrouve cité de nombreuses fois dans des articles en rapport avec le littoral, les risques naturels et les prévisions de position du rivage à long terme.

La méthode de calcul statistique consiste à tracer en arrière du rivage une ligne de référence qui suit de manière simplifiée la côte, puis de créer des transects perpendiculaires régulièrement espacés (dans cette étude, il a été choisi de générer un transect tous les 20 m pour affiner la projection sur les plages de poche), qui viennent recouper tous les traits de côte disponibles pour la manipulation. Pour chacun d'entre eux la distance entre la ligne de référence et le point correspondant à l'intersection entre le trait de côte et le transect est ensuite mesurée (Figure 3). Les valeurs obtenues sont comparées entre elles, donnant l'évolution d'une année à l'autre. Cette méthode permet de révéler, pour chaque section ainsi définie, les points de concentration de l'érosion ou de l'accrétion.

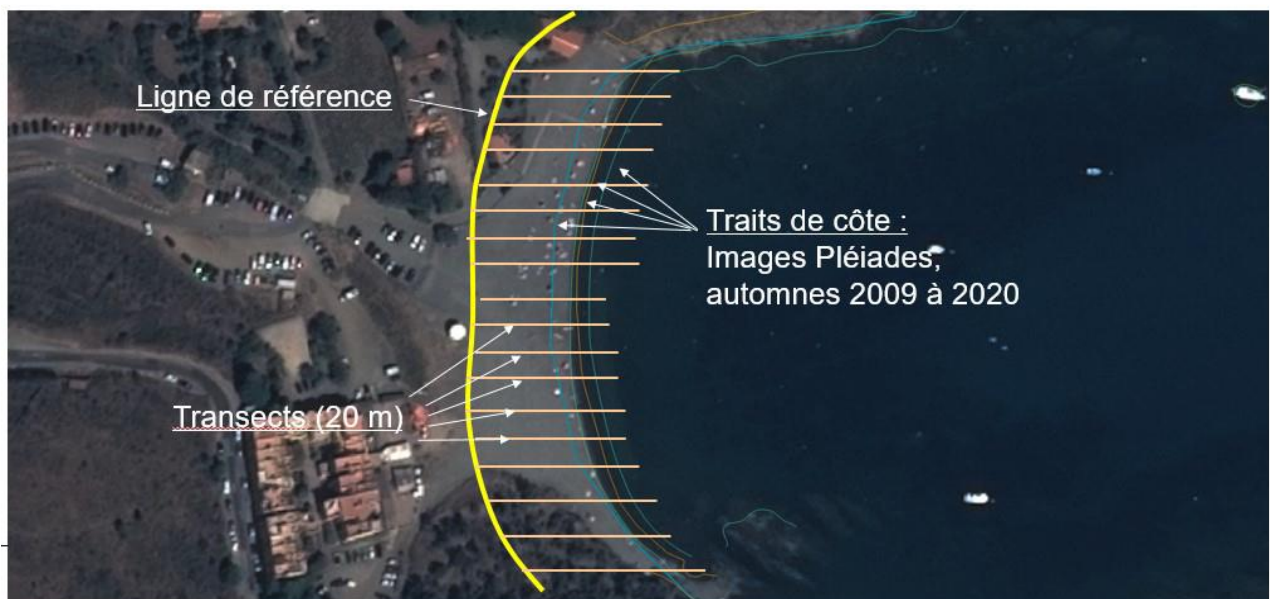


Figure 3 : Schéma explicatif de la méthode DSAS selon l'USGS (United States Geological Survey)

Une fois cette technique appliquée, la phase suivante consiste à calculer le taux de variation annuelle de la position du trait de côte. Pour y parvenir, nous utilisons la méthode de régression linéaire qui correspond à "la valeur de la pente d'une droite de regression linéaire positionnée dans un nuage de points déterminé par les calculs de distance entre tous les points d'intersection de chaque transect et des traits de côte comparés" (Faye et al., 2011). L'intérêt de cette méthode est la prise en compte des traits de côte de chaque année disponible dans le calcul, ce qui permet d'éviter qu'une date en particulier n'influence trop la tendance générale. Ainsi, une année riche en tempêtes et en phénomènes érosifs sera pondérée avec les années voisines, plus calmes d'un point de vue météorologique. L'évolution du trait de côte a changé sur la période récente avec la mise en place de différentes méthodes dures ou douces, même si la côte Vermeille est relativement épargnée par ces ouvrages durant cette période. Il a donc été choisi d'utiliser une régression linéaire sur une période récente et courte (entre 2009 et 2020), afin de correspondre au mieux à la tendance actuelle, mais aussi dans le but de réduire l'incertitude des données par rapport à la méthode. De plus, le choix de cette période raccourcie dans le temps correspond à la disponibilité des images satellites Pléiades. L'utilisation de ces images ne peut donc pas être rallongée dans le passé. Ainsi, les traits de côte ont été digitalisés à partir d'images satellites ©Pléiades, selon la base de données de l'EID Méditerranée. Les traits de côte utilisés pour la méthode DSAS sont ceux des années 2009, 2011, 2012, 2015, 2017, 2018, 2019 et 2020. Ils sont digitalisés sur des images issues de la même période de l'année, soit entre le début du mois de septembre et la fin du mois d'octobre. En effet, c'est à la fin de l'été, avant la saison des tempêtes, que la plage est la plus fournie et les données sont donc homogènes entre elles.

Enfin, un lissage des données est réalisé, afin de pallier l'effet localisé des cornes des croissants de plage (liés aux formes des bancs de sable immergés) ou de la présence d'obstacles (digues, épis, brise-lames...). Les résultats d'avancées ou de reculs du trait de côte obtenus sur chaque transect sont donc moyennés avec les valeurs des deux transects voisins (Figure 4). Cette étape permet ainsi de corriger certains transects aux valeurs positives, isolés sur des secteurs où le recul est généralisé, comme c'est le cas sur l'image ci-dessous. Un profil derrière un brise lame présente une forte valeur positive liée à la formation d'un tombolo alors que l'ensemble du secteur montre des valeurs aux alentours de 0, indiquant plutôt une stabilisation généralisée du trait de côte sur cette plage.

Le taux de variation de la position du trait de côte pour chaque transect est ensuite multiplié par le nombre d'années nécessaires pour atteindre la date de projection souhaitée, le trait de côte de base étant le dernier disponible, soit celui de l'année 2020.



Figure 4 : exemple de rendu après utilisation de la méthode DSAS sur les plages de Paulilles (Port-Vendres)

2) Méthode de calcul

Pour obtenir une projection du trait de côte à une date future, nous utilisons donc la formule issue de l'article de Durand et Heurtefeux (2006), sur l'évaluation de l'élévation du niveau marin et son impact sur un cordon littoral :

$$R = r + [(E21 - E20) / P]$$

R = valeur de recul prévue en 2050

r = valeur de recul prévue par régression linéaire (2020 -2050) à partir des données DSAS obtenues.

E21 = valeur d'élévation du niveau marin prévue par le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) pour 2050, soit 20 cm, utilisée pour notre étude d'après une prévision moyenne-haute du diagramme ci-dessous.

E20 = valeur annuelle d'élévation du niveau marin au 20^{ème} siècle, soit 0,13 cm, multipliée par la durée de la prévision (0,13*30 ans = 3,9 cm). Cette valeur est déduite car déjà prise en compte dans la régression linéaire.

P = pente de la plage entre le trait de côte et la profondeur de fermeture, soit -8 m environ. La profondeur de fermeture moyenne est de -13 m au niveau mondial, mais elle diminue le

long des côtes rocheuses, où les rivages sont plus abrités (Athanasidou *et al*, Earth System Science data 2019). La pente varie ainsi de 2.33 à 8.77 % le long de la côte Vermeille.

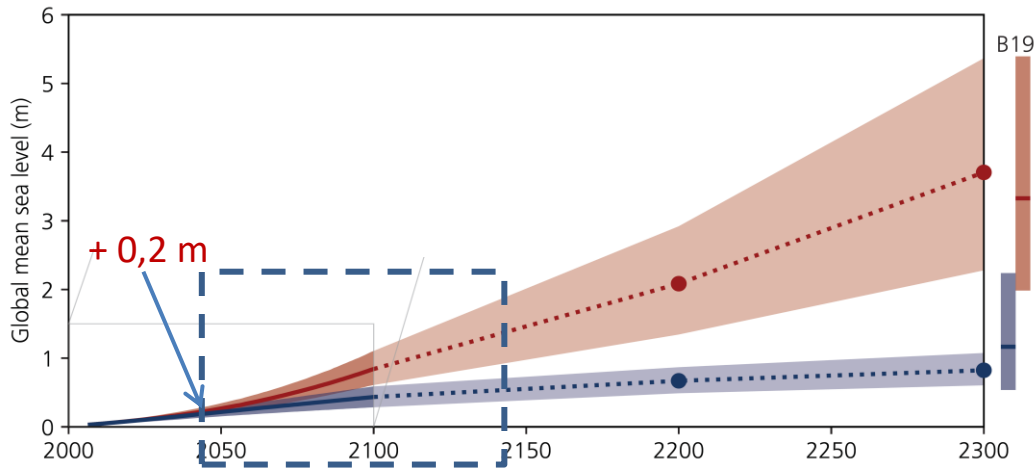


Figure 5 : Evolution future du niveau marin d'après le rapport de septembre 2021 du GIEC selon différents scénarios

La particularité de cette méthode est la prise en compte dans le calcul de l'élévation du niveau marin, sur la base des conclusions du rapport du GIEC de septembre 2021. Les prévisions pour 2050 varient entre +0.15 et +0.35 m selon les scénarios. Nous avons donc choisi une moyenne à + 0.20 m pour l'étude, selon les dernières données affinées pour 2050 (Figure 5). La formule implique également l'élévation déjà comprise dans la régression linéaire. Enfin, la pente est prise en compte selon le Lidar régional de 2015, pour différencier l'impact de l'élévation du niveau marin en fonction de la morphologie des plages. Le résultat obtenu donne ainsi la position du trait de côte sur un transect pour l'année voulue. Une fois tous les points obtenus sur chaque transect, c'est-à-dire un point tous les 20 m, il suffit de les relier entre eux pour obtenir la position du trait de côte de la projection souhaitée (Figure 6).

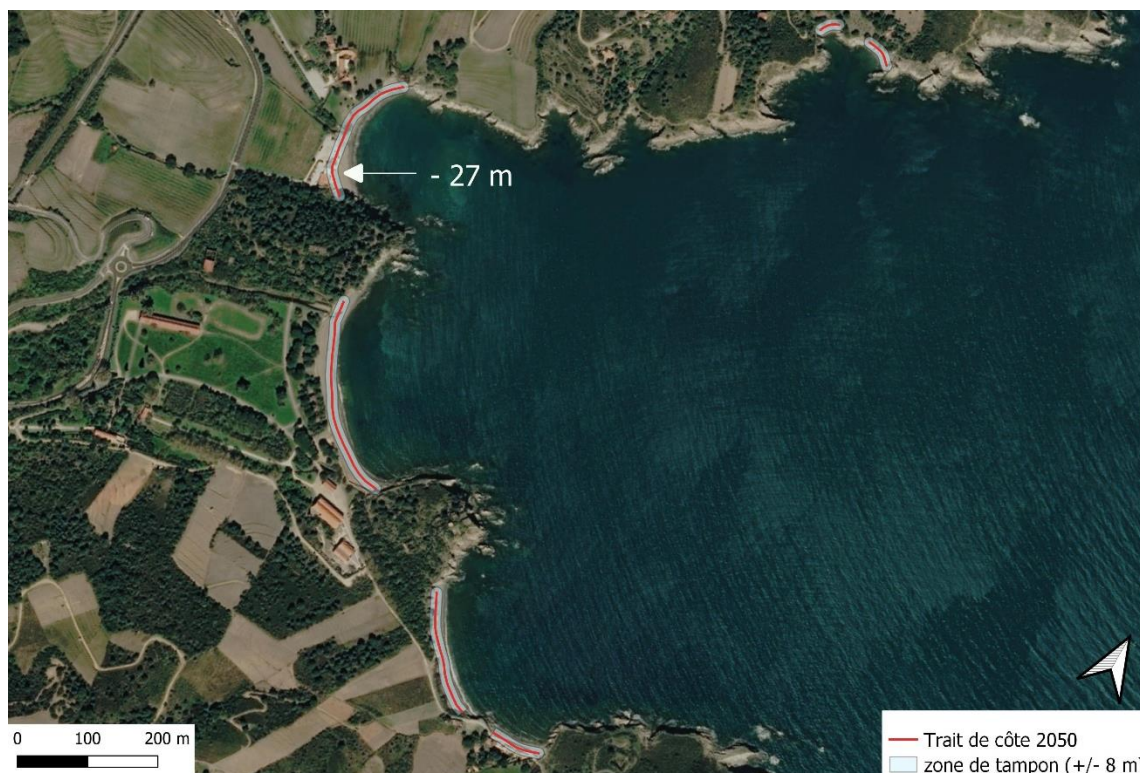


Figure 6 : Exemple de projection du trait de côte à l'horizon 2050 sur les plages de Paulilles (Port-Vendres)

3) Détermination des incertitudes :

Plusieurs incertitudes sont dénombrées dans cette méthode de projection :

- Les incertitudes liées aux données ainsi qu'à la méthode :
 - La période, la résolution, le géoréférencement et la projection des images satellites très haute résolution (incertitude estimée à +/- 2.0 m)
 - La digitalisation/photo-interprétation des traits de côte comparée à des levés terrains réalisés par l'EID (incertitude estimée à +/- 1.0 m)
 - L'incertitude liée à un échantillon de données couvrant une période inférieure à 2 fois la durée de la prévision. La période 2009-2020 a été choisie pour mieux caractériser l'évolution récente du trait de côte, mais aussi avec les limites de la donnée disponible (images Pléiades depuis 2009) mais elle limite aussi la fenêtre d'évolution (non quantifiable)
 - L'incertitude concernant les taux d'évolution calculés par DSAS. Ce paramètre est estimé d'après le logiciel en prenant en compte la valeur de « n réduit », c'est-à-dire que les profils sont trop proches pour être indépendants et pour avoir une incertitude indépendante (N réduit est une estimation du nombre de transect indépendants sur la zone d'étude). L'incertitude du taux de variation est donc de +/- 0,17 m/an, soit +/- 5.1 m pour l'horizon 2050.
 - L'incertitude liée à l'espacement des profils tous les 20 m. Pas de valeur entre ces points (non quantifiable)

- L'incertitude liée au lissage des profils (non quantifiable)
- Les incertitudes affectant l'évolution du trait de côte :
 - L'incertitude liée aux actions humaines pour le maintien du trait de côte, par le biais de méthodes douces, dures et autres, impactant l'évolution du littoral (non quantifiable)
 - L'incertitude liée à l'augmentation du nombre de tempêtes qui influence, par des changements brutaux, l'évolution du littoral à court terme. (Non quantifiable)
 - Incertitude liée à l'accélération de l'élévation du niveau marin pour 2050, et de manière plus générale au changement climatique. (Non quantifiable)

D'autre part, certains paramètres de la méthode sont modifiables selon la période, le lieu et l'utilisation souhaitée. En effet, la valeur annuelle d'élévation du niveau marin a été utilisée selon les données du 20^{ème} siècle, correspondant à une valeur de 0.13 cm/an sur la période 1885-1978 d'après le marégraphe du port de Marseille. Cependant, cette valeur s'accroît puisque sur la période 2009-2020, elle serait de 0.27 cm/an, soit le double. C'est également le cas pour la pente de plage, définie entre le trait de côte et la profondeur de fermeture (7-8 m), d'après le Lidar 2011 (*données DREAL*). Mais ces valeurs peuvent être modifiées avec des données plus récentes, mais aussi en prenant en compte la pente entre le haut de berme et la 1^{ère} barre pré littorale. Des levés bathymétriques permettraient ainsi de confirmer ou adapter les valeurs du Lidar 2011.

Au total, le cumul de ces incertitudes nous donne une zone tampon, visible sur les cartes de projection, estimée à **+/- 8 m** pour l'horizon 2050. Il faut néanmoins rester prudent sur ces valeurs et la méthode utilisée qui n'est pas officielle mais qui permettra d'entamer des discussions sur l'évolution du littoral dans un futur proche. Les cartes devront être affinées au fur et à mesure des années avec les mises à jour des données.

II. Résultats

La première partie des résultats de l'étude concerne les variations de la position du trait de côte sur la période 2009-2020. Comme évoqué précédemment, la méthode DSAS nous permet d'obtenir un taux de variation annuel en prenant en compte plusieurs traits de côte, même si tous ne sont pas disponibles sur la période étudiée. De plus, certaines plages n'ont pu être suivies à cause de problèmes techniques (zone d'ombre liée aux falaises à proximité pour la plage de Sainte-Catherine et disparition précoce de la plage de Saint-Vincent).

Catégories (m/an)	Nombre de profils	% par catégories
-1,3 à -1	12	2,5
-1 à -0,5	14	2,9
-0,5 à 0	375	76,8
0 à 0,5	64	13,1
0,5 à 1	10	2,0
1 à 1,5	10	2,0
1,5 à 1,65	3	0,6

Au total, 488 cercles DSAS sont affichés, chacun correspondant à un profil comme expliqué dans la partie méthode (20 m d'espacement entre chaque profil). Les valeurs fluctuent de +1,65 m à -1,3 m/an (Figure 7). Sur l'ensemble de ces profils, plus de **84 % sont négatifs**, avec tout de même **80 % compris entre 0 et -0,5 m de variations par an**. De plus, 11% des valeurs sont comprises entre 0 et +0,5 m/an, montrant ainsi une évolution assez regroupée en termes de données, puisque 91 % des valeurs sont donc comprises entre -0,5 et +0,5 m/an. Ces résultats sont en adéquation avec les tendances déjà mise en avant par l'étude réalisée en 2020 par l'EID sur l'évolution des plages de poche de la côte Vermeille depuis 1949. Enfin, on peut noter que la tendance à un léger recul est encore plus forte sur les petites plages de poche (dont la superficie est inférieure à 2000 m²) avec plus de 90 % des valeurs comprises entre -0,5 et 0 m/an (Tableau 3 et Annexes).

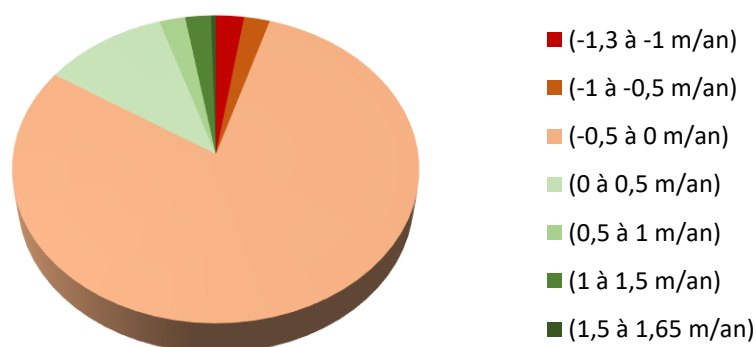


Figure 7 : Tableau récapitulatif et représentation des profils DSAS et de leur pourcentage selon chaque catégorie

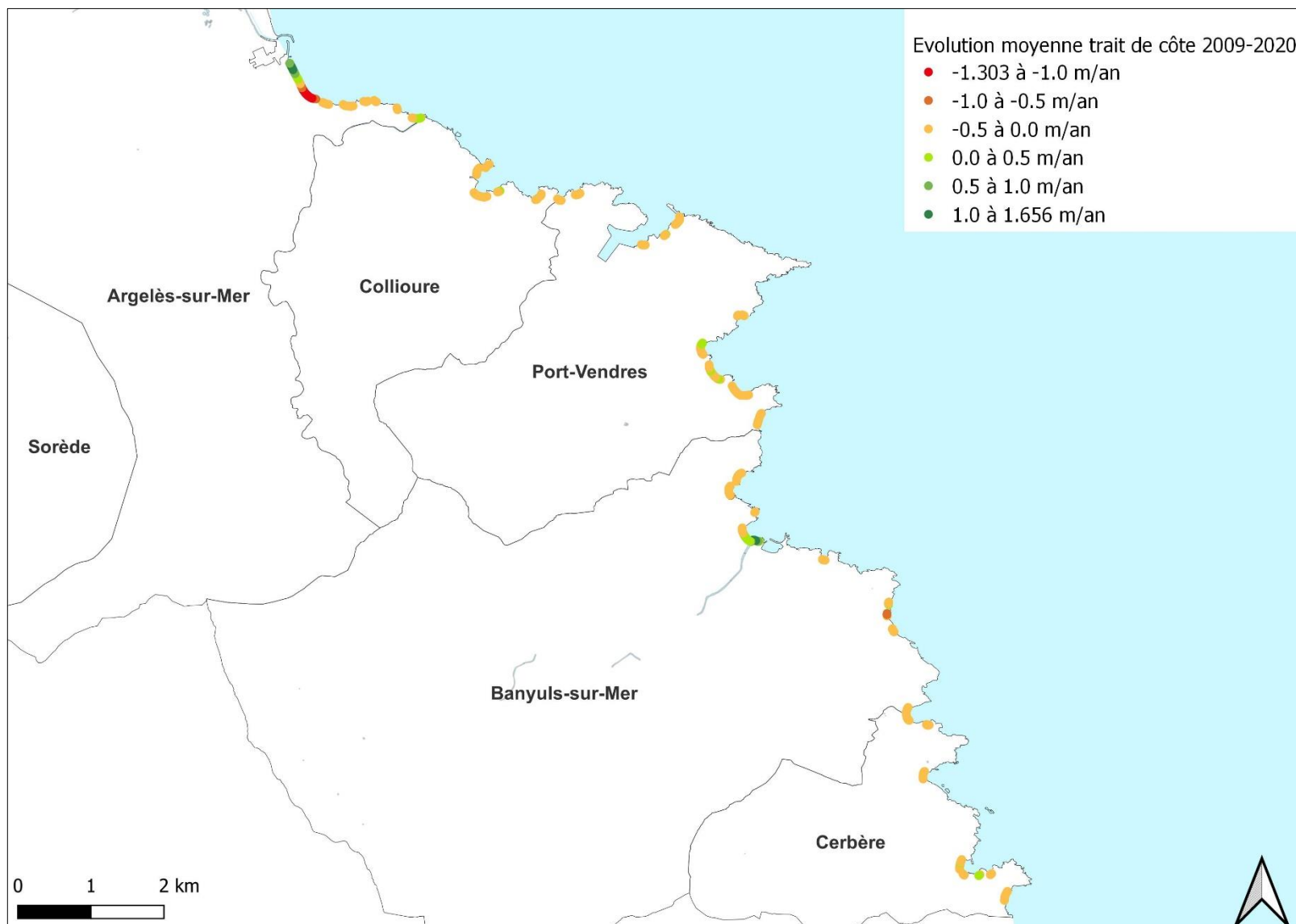


Figure 8 : Evolution moyenne par transects des plages de poche de la côte Vermeille entre 2009 et 2020 selon la méthode DSAS

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des profils selon la présence ou non de rivières et la superficie des plages de poche de la Côte Vermeille

Bilan de l'évolution du trait de côte sur la période 2009-2020								
<i>Plages avec embouchures</i>			<i>Plages (superficie < 2000 m2)</i>			<i>Plages (superficie > 2000 m2)</i>		
Catégories (m/an)	Nombre profils	% par catégories	Catégories (m/an)	Nombre profils	% par catégories	Catégories (m/an)	Nombre profils	% par catégories
-1,3 à -1	0	0,0	-1,3 à -1	0	0,0	-1,3 à -1	12	3,8
-1 à -0,5	3	2,1	-1 à -0,5	5	2,9	-1 à -0,5	9	2,9
-0,5 à 0	86	60,1	-0,5 à 0	157	90,2	-0,5 à 0	218	69,4
0 à 0,5	43	30,1	0 à 0,5	12	6,9	0 à 0,5	52	16,6
0,5 à 1	5	3,5	0,5 à 1	0	0,0	0,5 à 1	10	3,2
1 à 1,5	3	2,1	1 à 1,5	0	0,0	1 à 1,5	10	3,2
1,5 à 1,65	3	2,1	1,5 à 1,65	0	0,0	1,5 à 1,65	3	1,0

La seconde partie des résultats concerne la position estimée du trait de côte pour l'horizon 2050 pour l'ensemble des plages de poche, avec un zoom pour chaque secteur concerné par des enjeux potentiellement touchés avant la date « butoir ». Un fond datant de l'année 2022 est exposé en plus du trait de côte 2050 et ponctuellement des réseaux d'assainissement et d'eau potable, si ceux-ci sont concernés. Des dates d'impact potentiel sur les enjeux sont ajoutées aux cartes afin de mieux percevoir le danger et la proximité avec le risque.

Il est important de rappeler que la projection tient compte de la régression linéaire, de l'élévation du niveau marin et de la pente de plage entre le niveau 0 et la profondeur de fermeture (-7m). Cependant, la pente de plage étant projetée en arrière, les surélévations présentent au-delà de la plage (dunes, murs de soutènement, falaises) ne sont pas prises en compte. La projection est donc biaisée une fois ce genre de rupture de pente atteinte.

De plus, les zones de plage situées face à des embouchures montrent de fortes variations du trait de côte à ce niveau, ce qui influence fortement la régression linéaire et donc la projection. Ce détail peut entraîner un trait de côte estimé qui n'est pas forcément linéaire selon les plages.

La dérive littorale n'étant pas significative ici, ces plages ne bénéficient pas d'apports latéraux de sédiments : cloisonnées par le découpage rocheux de la côte, elles 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.

Enfin, cette étude expérimentale de la position du trait de côte pour 2050 est estimée par temps calme, ce qui implique que les phénomènes de submersion/érosion lors d'épisodes météorologiques exceptionnels vont frapper les plages mais également les enjeux plus en amont, et que **des dégâts pourront ainsi apparaître avant la date estimée** pour chaque secteur dans ce rapport.

Les résultats pour chacune des 2 parties sont exposés par commune, en allant du nord vers le sud de la côte Vermeille.

A. Tendence actuelle et évolution future des plages par commune :

1) Argelès-sur-Mer (secteur sud du port) :

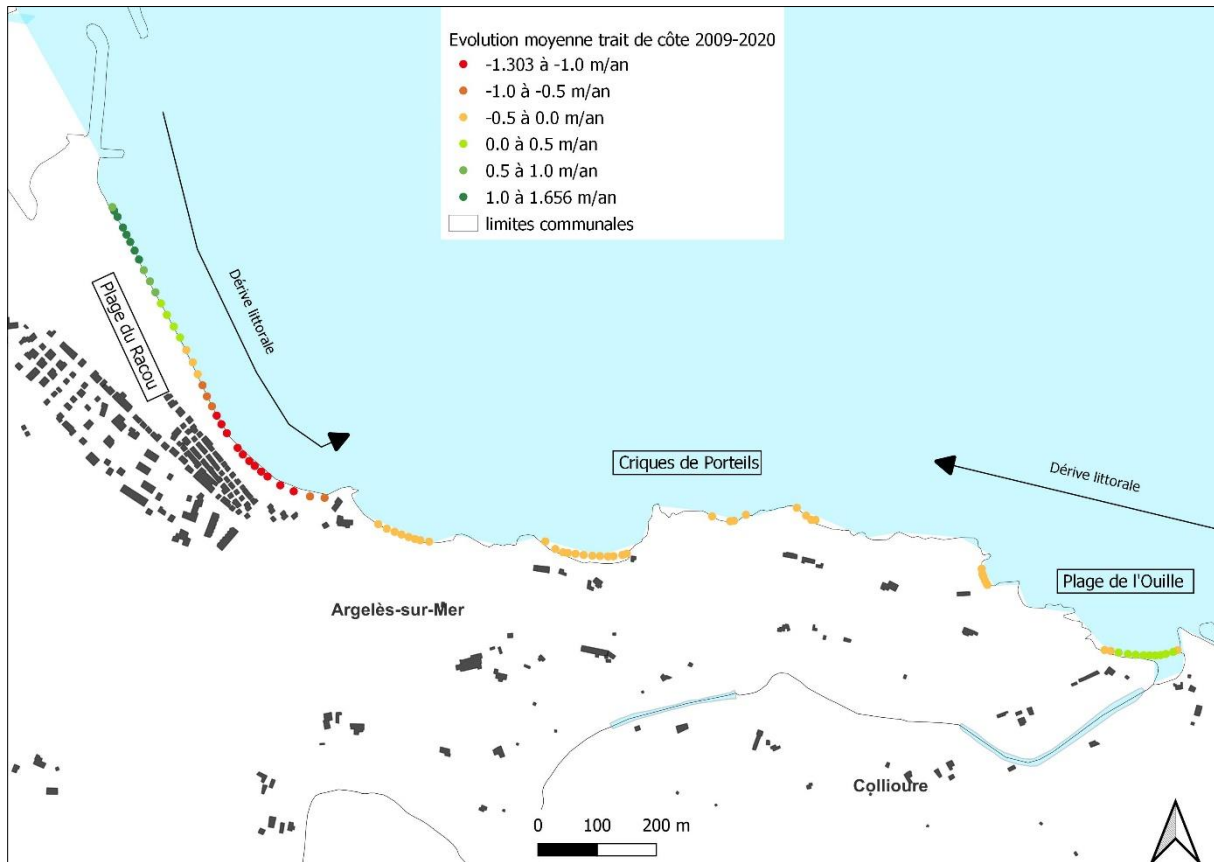


Figure 9 : Représentation de la régression linéaire par méthode DSAS pour la plage du Racou et les plages de poche de la commune d'Argelès-sur-Mer.

La plage du Racou, au sud du port d'Argelès, a la particularité de présenter les taux de variations parmi les plus importants de la zone d'étude entre 2009 et 2020. En effet, le secteur nord proche du port montre des avancées de près de 1.3 m/an, alors que cette tendance ralentit avant de s'inverser au fur et à mesure que l'on se déplace vers le sud de la plage. Le recul mesuré dépasse même 1.3 m/an sur cette zone (Figure 9).

La majorité des plages de poche à l'est du Racou montrent des valeurs comprises -0.5 et 0 m/an de variation du trait de côte sur les 11 ans étudiés. Seule la plage de l'Ouille, située à la limite communale avec Collioure, montre quelques différences. Les extrémités de cette plage oscillent entre -0.5 et 0 m/an alors que sa partie centrale et majoritaire, indique des taux légèrement positifs (entre 0 et +0.5 m/an). Au total, près de 50 % des profils de la commune sont compris entre 0 et -0.5 m/an.

A noter que l'emplacement des points DSAS sur la Figure 9 de la plage du Racou correspond au trait de côte 2020, qui a évolué en comparaison du fond cartographique utilisé pour cette carte.



Figure 10 : Projection à l'horizon 2050 du trait de côte pour la plage du Racou (haut) et les plages de poche de la commune d'Argelès sur Mer (bas)

La projection du trait de côte suit évidemment la tendance dessinée par la méthode DSAS, même si l'apport de l'élévation du niveau marin et de la pente font varier la position finale. La plage du Racou montre une forte avancée sur sa partie nord, avec près de 36 m gagnés au maximum, mais la tendance s'inverse ensuite et les plus forts reculs de projection sont observés au sud de cette même plage avec pas moins de 43 m de plage perdue au détriment des premières lignes de maisons d'ici 2050 (Figure 10). Si ce recul se confirme, plusieurs habitations seraient touchées, ainsi que des réseaux d'assainissement. Selon les prévisions de notre projection, les premiers murs/terrasses seraient confondus avec le trait de côte entre 2039 et 2048, alors que les premières maisons seraient atteintes quelques mois/années après (Figure 11). Les premiers réseaux seraient eux potentiellement au niveau de la mer à partir de 2041. Il est important de garder à l'esprit que les dates affichées correspondent au moment où le trait de côte sera au niveau des enjeux, mais que ces derniers seront vraisemblablement impactés avant lors des tempêtes ou coups de mer qui affectent la côte Vermeille.

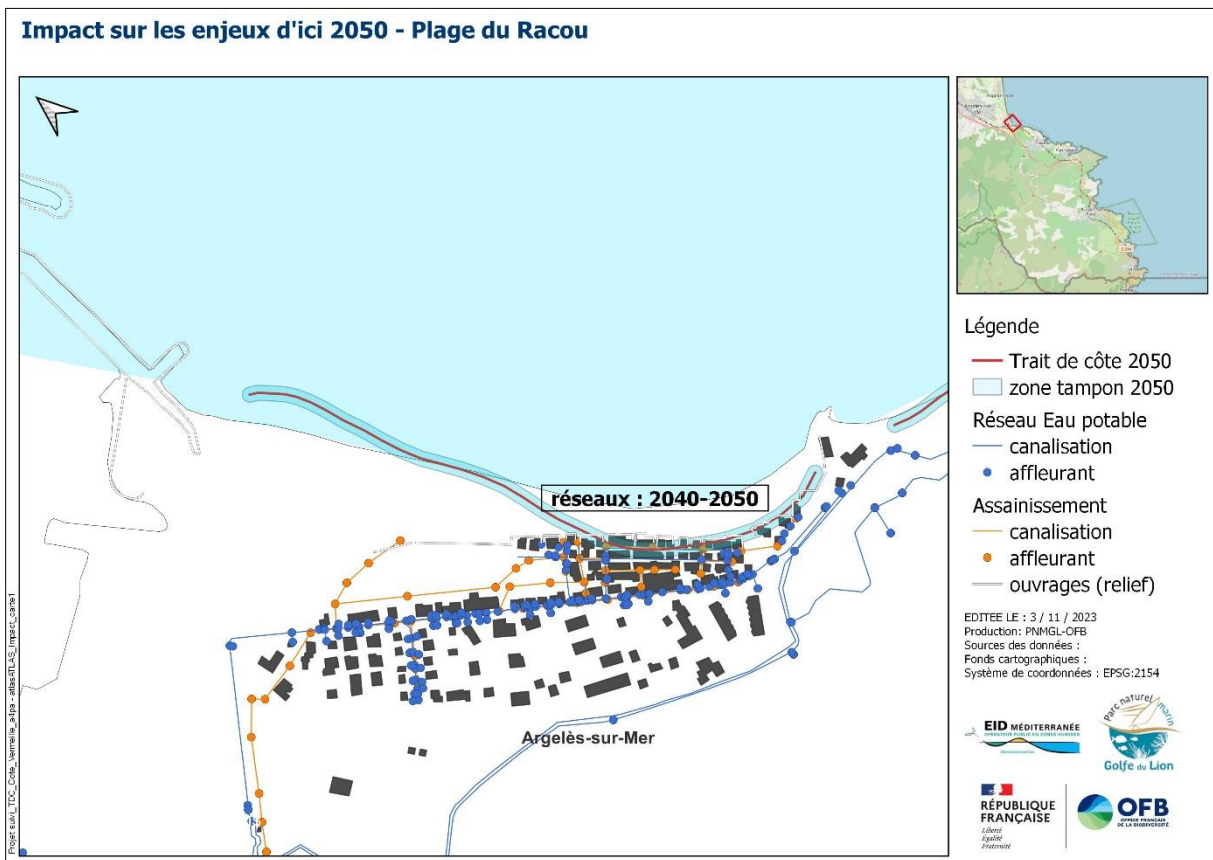
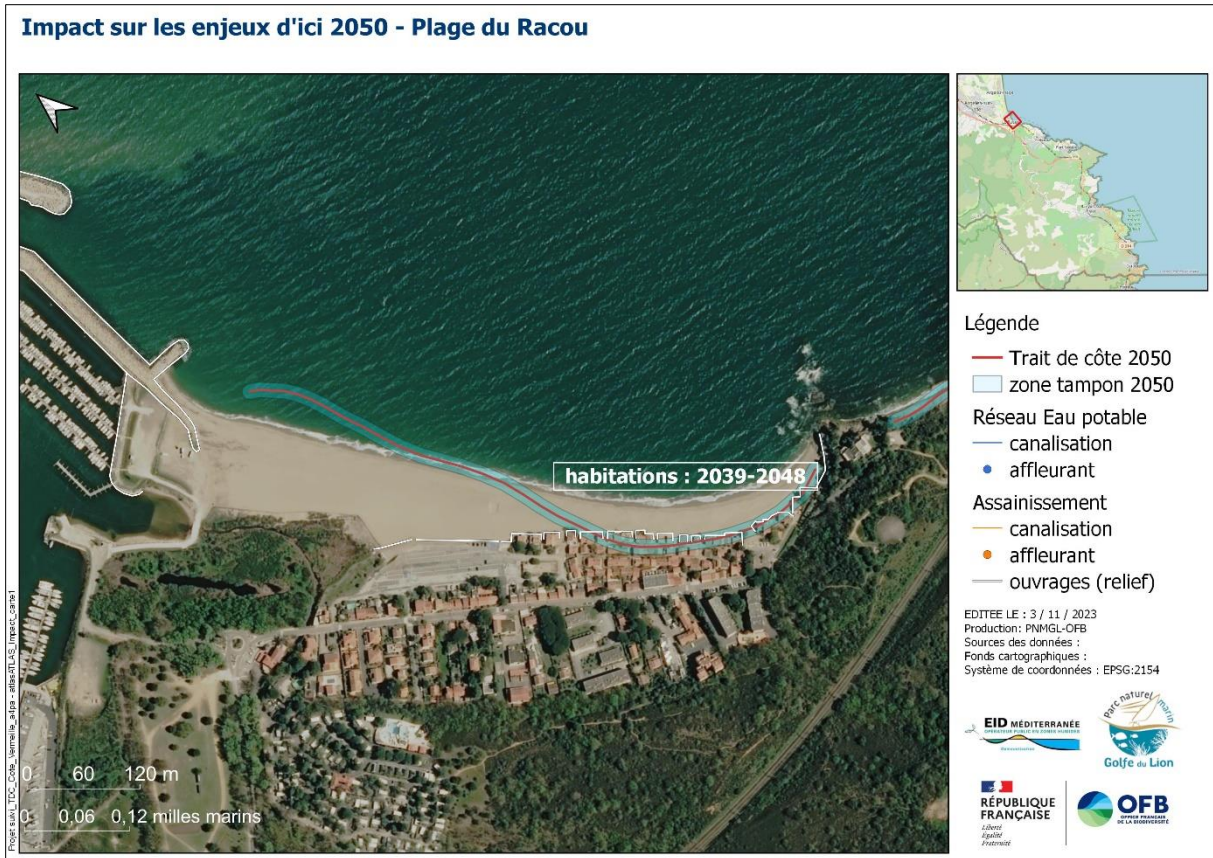


Figure 11 : Visualisation des potentiels impacts sur la plage du Racou (Argelès-sur-Mer) à l'horizon 2050

Sur les plages de poche suivantes, le trait de côte en 2050 serait homogène avec un recul constant entre 5 et 10 m, avec des pointes à 11 m maximum sur certaines criques du Porteils. Ces plages de poche rétrécissent au fil de temps en raison de la présence de falaises en arrière, combiné au recul du trait de côte qui expose ainsi de plus en plus la zone aux chutes de blocs. Certains sites sont d'ailleurs interdits d'accès pour éviter un quelconque risque aux usagers. Seule la plage de l'Ouille montre quelques valeurs positives, avec une avancée dépassant 2 m selon les transects. A noter que l'extrémité est de cette plage qui montre une valeur de recul plus élevée, mais à nuancer puisqu'il s'agit de l'embouchure d'El Ravaner, impliquant ainsi des modifications locales plus importantes du stock sédimentaire suite aux différentes crues.



Figure 12 : Cartographie des impacts potentiellement concernés d'ici 2050 sur la plage du Racou

2) Collioure

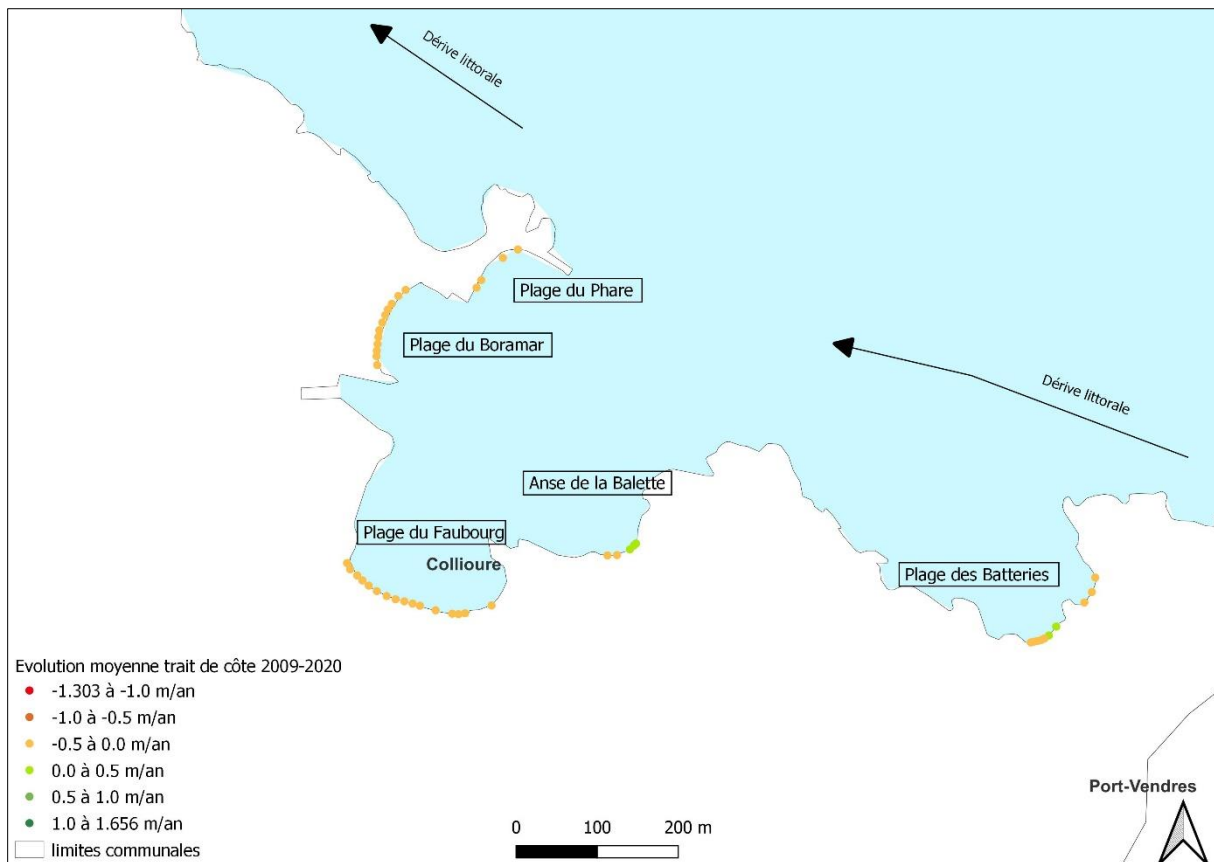


Figure 13 : Représentation de la régression linéaire par méthode DSAS pour les plages disposées sur la commune de Collioure

Les plages de poche situées sur la commune de Collioure correspondent pour la plupart à une zone urbanisée, près du centre-ville. Comme pour les plages de la commune voisine d'Argelès, on retrouve essentiellement des valeurs comprises entre 0 et -0.5 m/an, notamment pour les 2 plages principales de Collioure (Figure 13). Près de 90 % des profils de la commune sont ainsi compris dans cette catégorie de valeurs légèrement négatives. Seules les 2 petites plages de poche présentes à l'est de la commune montrent des valeurs légèrement positives (jusqu'à 0.5 m/an) sur leur partie est, montrant ainsi une certaine préservation ou accumulation à ce niveau.

La projection des plages de Collioure conforte les données obtenues par la méthode DSAS, avec des reculs oscillants entre 0 et moins 16 m, ces valeurs étant visibles sur la plage centrale (plage de Port d'Avall). Les valeurs positives visibles sur la régression linéaire ont été comblées par l'élévation du niveau marin prévue pour 2050, entraînant une projection nulle ou très légèrement en recul (Figure 14).



Figure 14 : Projection à l'horizon 2050 du trait de côte pour les plages du centre de Collioure (haut) et les plages de poche à l'est de la commune (bas)

Impact sur les enjeux d'ici 2050 - Plage du Boramar



Légende

- Trait de côte 2050
- zone tampon 2050
- Réseau Eau potable
- canalisation
- affleurant
- Assainissement
- canalisation
- affleurant
- ouvrages (relief)

EDITEE LE : 3 / 11 / 2023
 Production : PNMG-OFB
 Sources des données :
 Fonds cartographiques :
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Impact sur les enjeux d'ici 2050 - Plage du Boramar



Légende

- Trait de côte 2050
- zone tampon 2050
- Réseau Eau potable
- canalisation
- affleurant
- Assainissement
- canalisation
- affleurant
- ouvrages (relief)

EDITEE LE : 3 / 11 / 2023
 Production : PNMG-OFB
 Sources des données :
 Fonds cartographiques :
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 15 : Projection des impacts potentiels sur la plage du Boramar (Collioure) à l'horizon 2050

Collioure est la commune la plus concernée par le nombre de plages à potentiels enjeux impactés. En effet, 4 plages montrent des réseaux ou infrastructures touchés par la projection faite pour 2050. C'est le cas pour la plage du Boramar au sud du phare. La partie nord de celle-ci présente des réseaux d'assainissement et d'eau à proximité du trait de côte. Ceux-ci seront potentiellement touchés à partir de 2032 selon la projection la plus pessimiste, et au-delà de 2050 pour la version optimiste (la projection se fait par rapport au trait de côte 2020) (Figure 15).



Figure 16 : Représentation photographique de la position estimée du trait de côte pour 2050 sur la plage du Boramar

Impact sur les enjeux d'ici 2050 - Plage du Faubourg



Légende

- Trait de côte 2050
- zone tampon 2050
- Réseau Eau potable
- canalisation
- affleurant
- Assainissement
- canalisation
- affleurant
- ouvrages (relief)

EDITEE LE : 3 / 11 / 2023
 Production : PNMGL-OFB
 Sources des données :
 Fonds cartographiques :
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Impact sur les enjeux d'ici 2050 - Plage du Faubourg



Légende

- Trait de côte 2050
- zone tampon 2050
- Réseau Eau potable
- canalisation
- affleurant
- Assainissement
- canalisation
- affleurant
- ouvrages (relief)

EDITEE LE : 3 / 11 / 2023
 Production : PNMGL-OFB
 Sources des données :
 Fonds cartographiques :
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 17 : Projection des impacts potentiels sur la plage du Faubourg (Collioure) à l'horizon 2050



Figure 18 : Représentation photographique de la position estimée du trait de côte pour 2050 sur la plage du Faubourg

La plage centrale du Faubourg, aussi appelée plage du Port d'Avall, est aussi concernée par ce problème d'enjeux puisque des réseaux d'eau potable, d'assainissement, et des emménagements urbains seraient potentiellement affectés avant 2050. En effet, le mur séparant la plage du parking serait au même endroit que le trait de côte à partir de 2033 selon la projection au niveau du point le plus proche de la mer. Les premiers réseaux seraient quant à eux atteints peu après 2050, toujours selon les estimations (Figure 17).

La petite plage de l'Anse de la Balette, située juste à l'est de la plage centrale, montre que l'extrémité ouest de l'hôtel présent en bordure se situe juste devant la projection de 2050, et que les calculs montrent que le mur de soutènement sera potentiellement impacté avant cette date (Figure 19).



Figure 19 : Projection des impacts potentiels sur la plage de l'Anse de la Balette (Collioure) à l'horizon 2050

Enfin, la plage des Batteries est le dernier secteur qui présente des risques directs pour certains enjeux de la commune. Des réseaux d'eau potable et d'assainissement passent à proximité de la partie ouest de la plage mais c'est surtout le mur de soutènement présent qui pourrait être atteint rapidement par le trait de côte, d'ici 2028 selon les calculs de projection. La partie est ne présente pas de risques d'ici 2050 pour de quelconques enjeux (Figure 20).

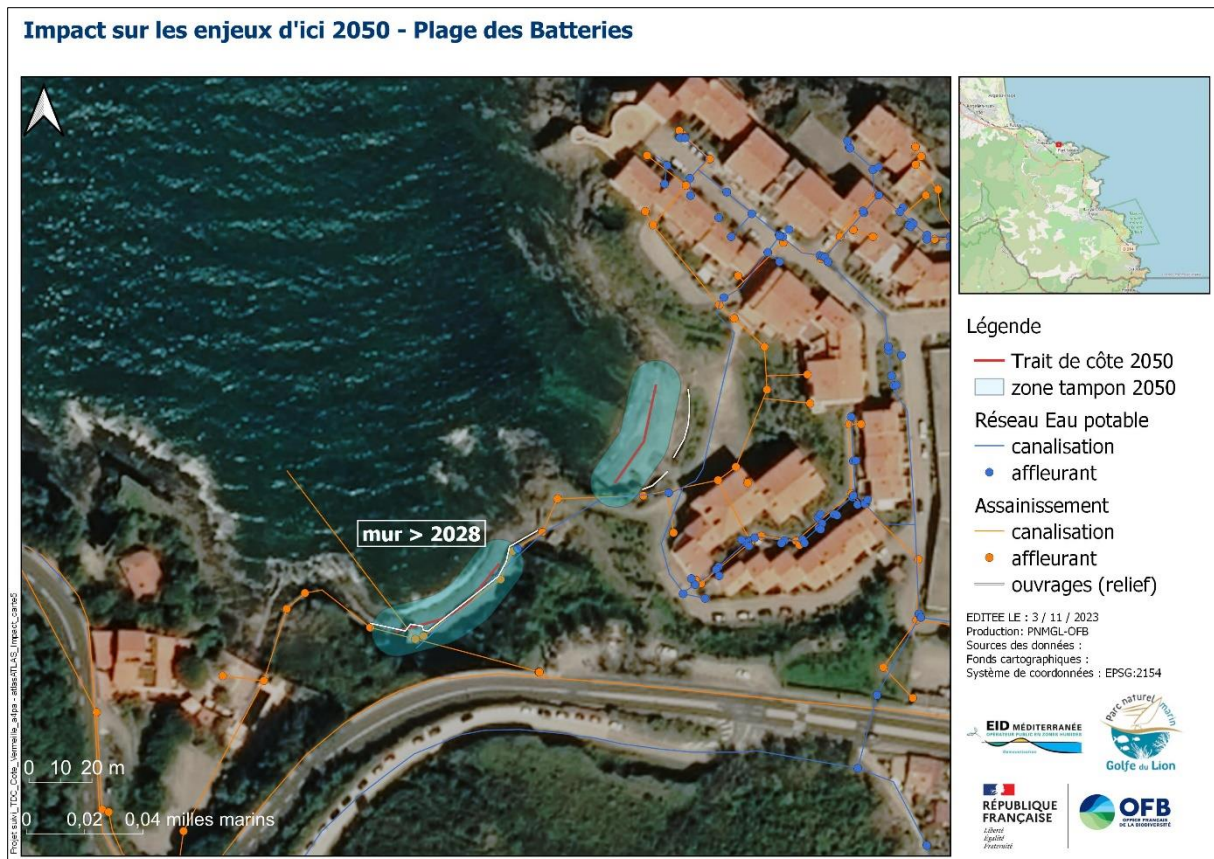


Figure 20 : Projection des impacts potentiels sur la plage des Batteries (Collioure) à l'horizon 2050

A noter que la plage située au nord de la chapelle Saint-Vincent, bien visible en 2009, a rapidement disparu dans les années qui ont suivi (elle n'est plus visible à partir de 2015). Elle n'a donc pas pu être projetée pour 2050 mais cet exemple montre à quel point certaines plages, y compris sur des secteurs rocheux, sont vulnérables face à l'érosion et la submersion marine.

3) Port-Vendres

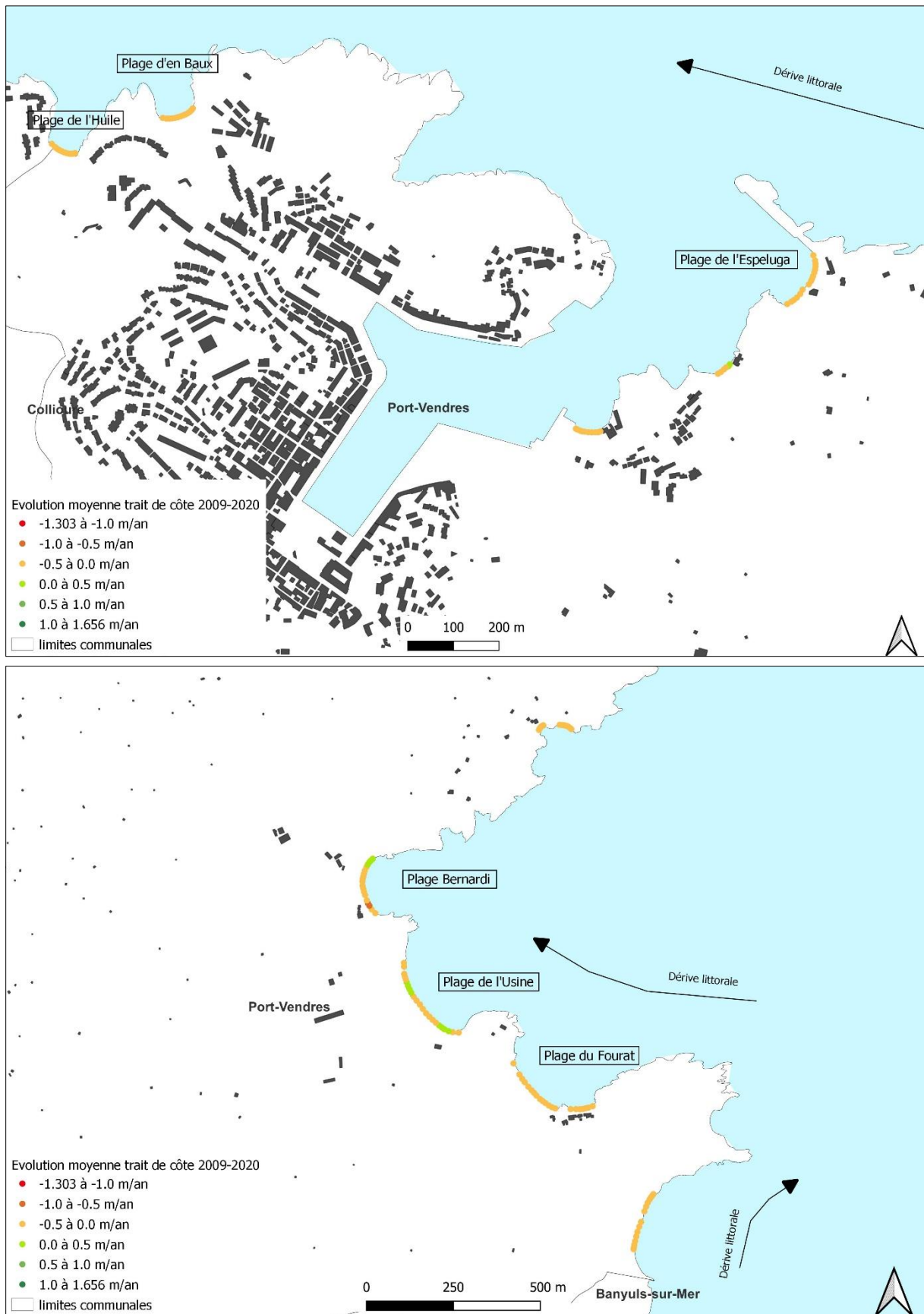


Figure 21 : Représentation de la régression linéaire par méthode DSAS pour les plages disposées sur la commune de Port-Vendres

La commune de Port-Vendres compte une dizaine de plages de poches répertoriées et suivies dans cette étude. Comme pour les communes précédemment évoquées, près de 90% des transects étudiés montrent des valeurs comprises entre 0 et -0.5 m/an, selon la méthode DSAS (Figure 21). Ces valeurs sont même présentes à 100% sur certaines plages, comme celles les plus à l'ouest de la commune, mais aussi les plages centrales près du port, ou encore au niveau de l'anse de Thil.

Quelques différences sont observées sur la plage de Bernardi qui, protégée par la terre, est stable voire légèrement en positif (0 à 0.5 m/an) sur sa partie nord. En revanche, cette tendance s'inverse en se dirigeant vers le sud et l'on observe même une accélération du recul sur la partie sud avec des valeurs variant de -0.5 à -1 m/an d'après la période de 2009 à 2020.

La plage de Paulilles est majoritairement en léger recul, même si quelques transects rassemblés en 2 petites sections montrent des valeurs tout juste positives. Enfin, La plage du Fourat et celle située de l'autre côté du fort Oullastrell sont quant à elles entièrement composées de valeurs allant de 0 à -0.5 m/an (Figure 21).

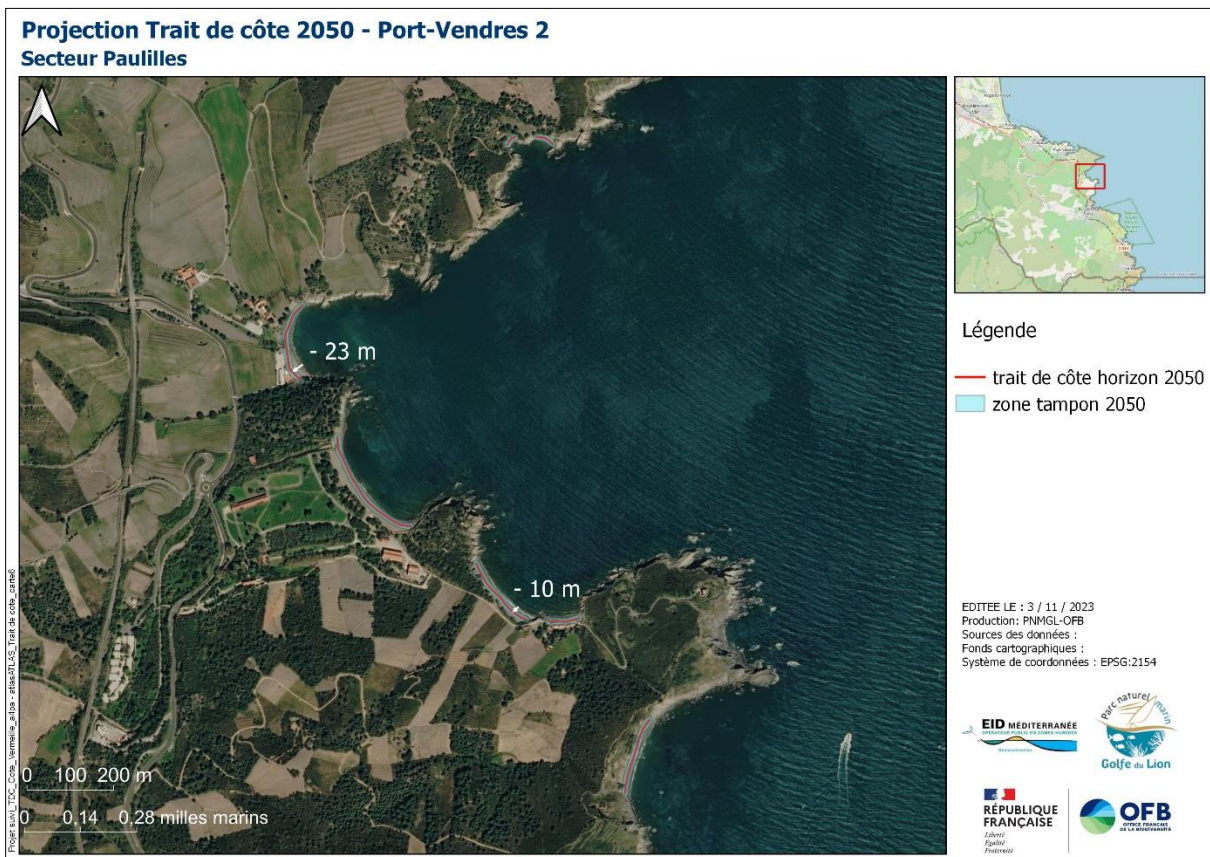


Figure 22 : Projection à l'horizon 2050 du trait de côte pour les plages du centre de Port-Vendres (haut) et les plages de poche au sud de la commune (bas)

Les projections effectuées sur la commune de Port-Vendres sont une nouvelle fois la suite logique de la méthode DSAS. L'ensemble du linéaire côtier est en recul avec des valeurs majoritairement comprises entre -5 et -10 m de perte d'ici 2050, mais avec des pointes qui dépassent 20 m au niveau de la partie sud de Bernardi. La plage située à l'extrémité sud de la commune montre aussi des reculs un peu plus importants, compris entre 10 et 15 m à l'horizon 2050 (Figure 22).

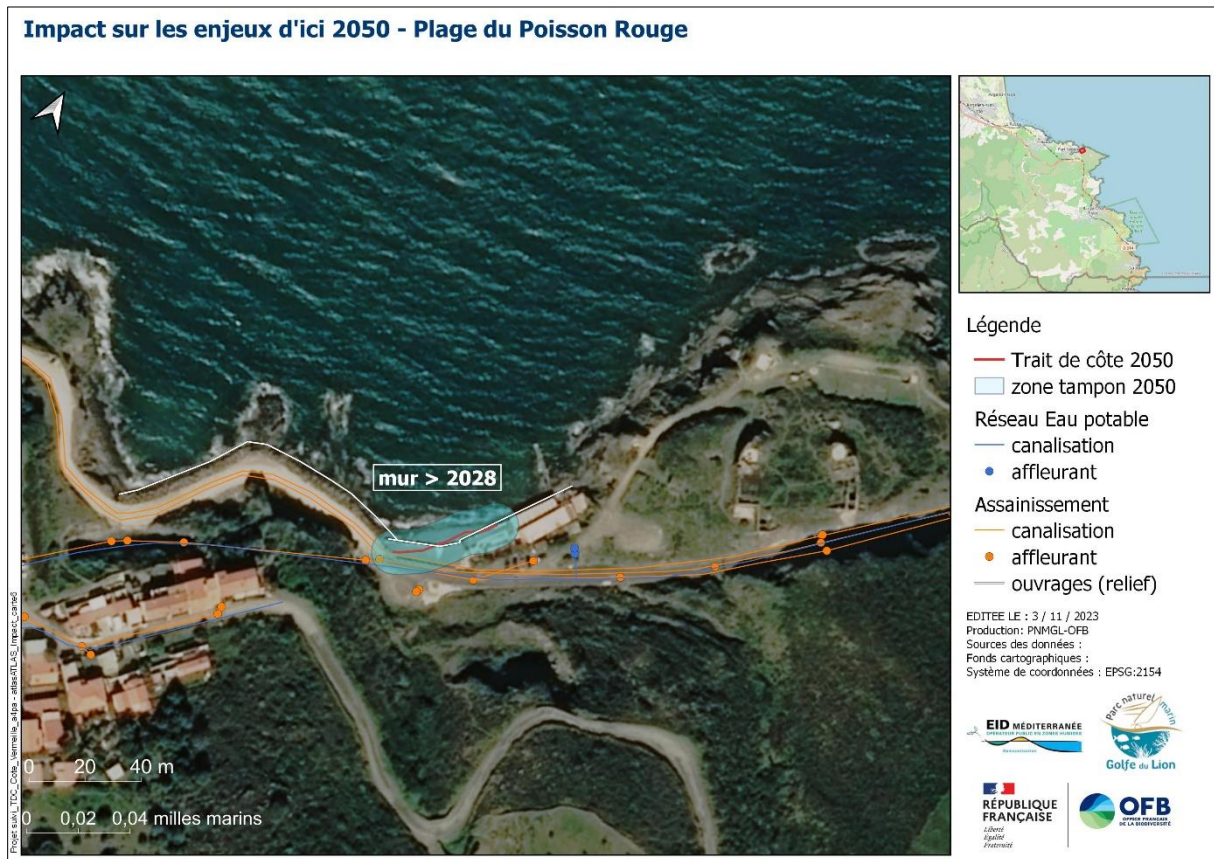


Figure 23 : Cartographie des impacts potentiellement concernés d'ici 2050 sur la plage de poche du Poisson Rouge à l'est de l'anse Cristina

La plage du restaurant le Poisson Rouge située à l'est de l'Ansa Cristina est concernée par des enjeux divers. Si le réseau d'assainissement ne sera touché qu'à proximité de 2050, ce n'est pas le cas du mur de fond de plage qui protège la route de la jetée ainsi que le restaurant. Ce mur serait impacté, selon les calculs, d'ici une petite dizaine d'années seulement pour sa partie ouest, soit aux alentours de 2028-2034 et il ne resterait presque plus de surface de plage (Figure 23).

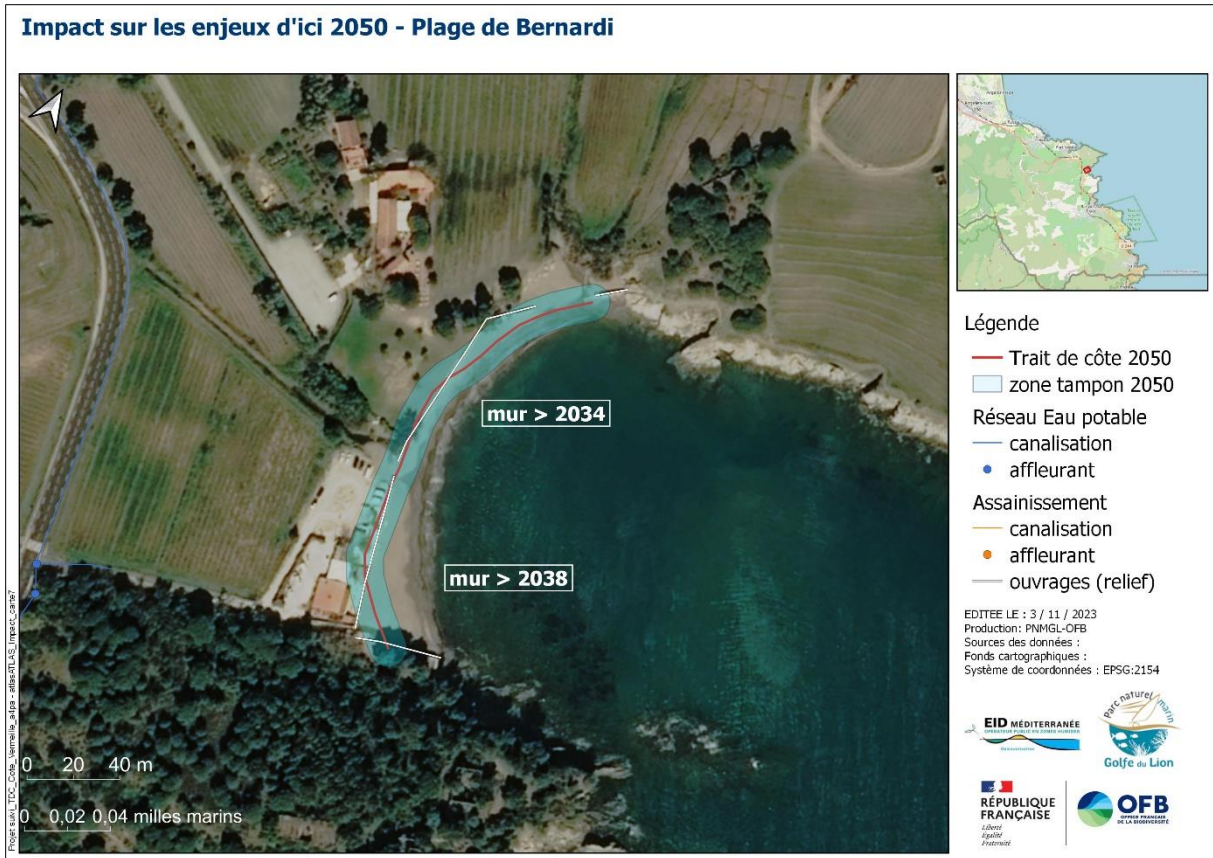


Figure 24 : Cartographie des impacts potentiellement concernés d'ici 2050 sur la plage de Bernardi



Figure 25 : Représentation photographique de la position estimée du trait de côte pour 2050 sur la plage de Bernardi

Même si ce recul généralisé est prédit, il n'est pas non plus important ni suffisant pour la plupart des enjeux à proximité. Néanmoins, certains d'entre eux se trouvent relativement proche du trait de côte et seront sans doute touchés avant 2050. C'est le cas de la plage de Bernardi, la plus impactée par ce recul, et qui d'après la projection la plus pessimiste, voit son mur situé en arrière plage, être menacé à partir de 2034, et plus raisonnablement après 2040. Ce mur serait affecté sur plusieurs dizaines de mètres au niveau de la partie sud (Figure 24 et Figure 25).

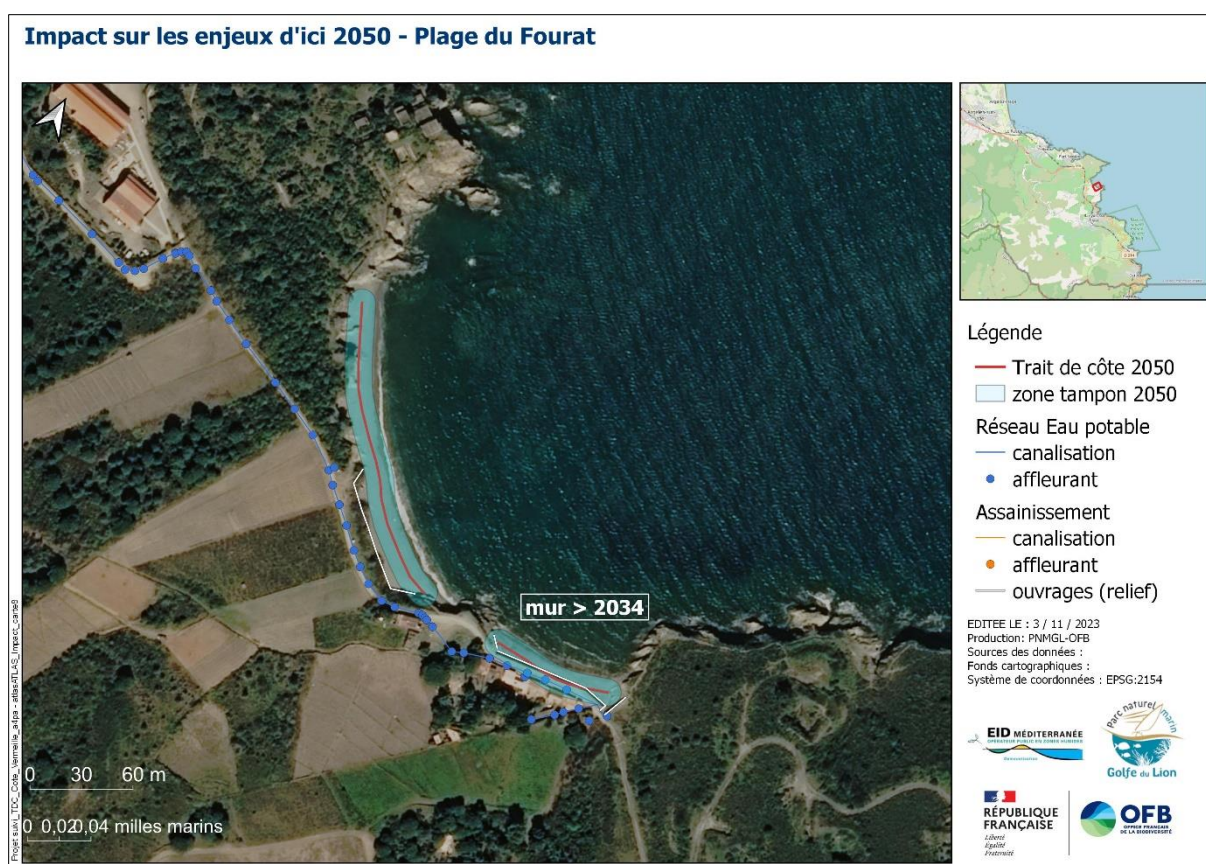


Figure 26 : Cartographie des impacts potentiellement concernés d'ici 2050 sur la plage du Fourat

Enfin, la plage du Fourat montre un réseau d'eau potable qui semble à la limite avec la projection de 2050 sur la partie est. Mais c'est surtout le mur de fond de plage qui protège la route en arrière qui serait plus rapidement impacté, à partir de l'année 2034 selon la projection (Figure 26), faisant disparaître une grande partie du secteur est de la plage (Figure 27)



Figure 27 : Représentation photographique de la position estimée du trait de côte pour 2050 sur la plage du Fourat (partie ouest en haut et est en bas)

4) Banyuls

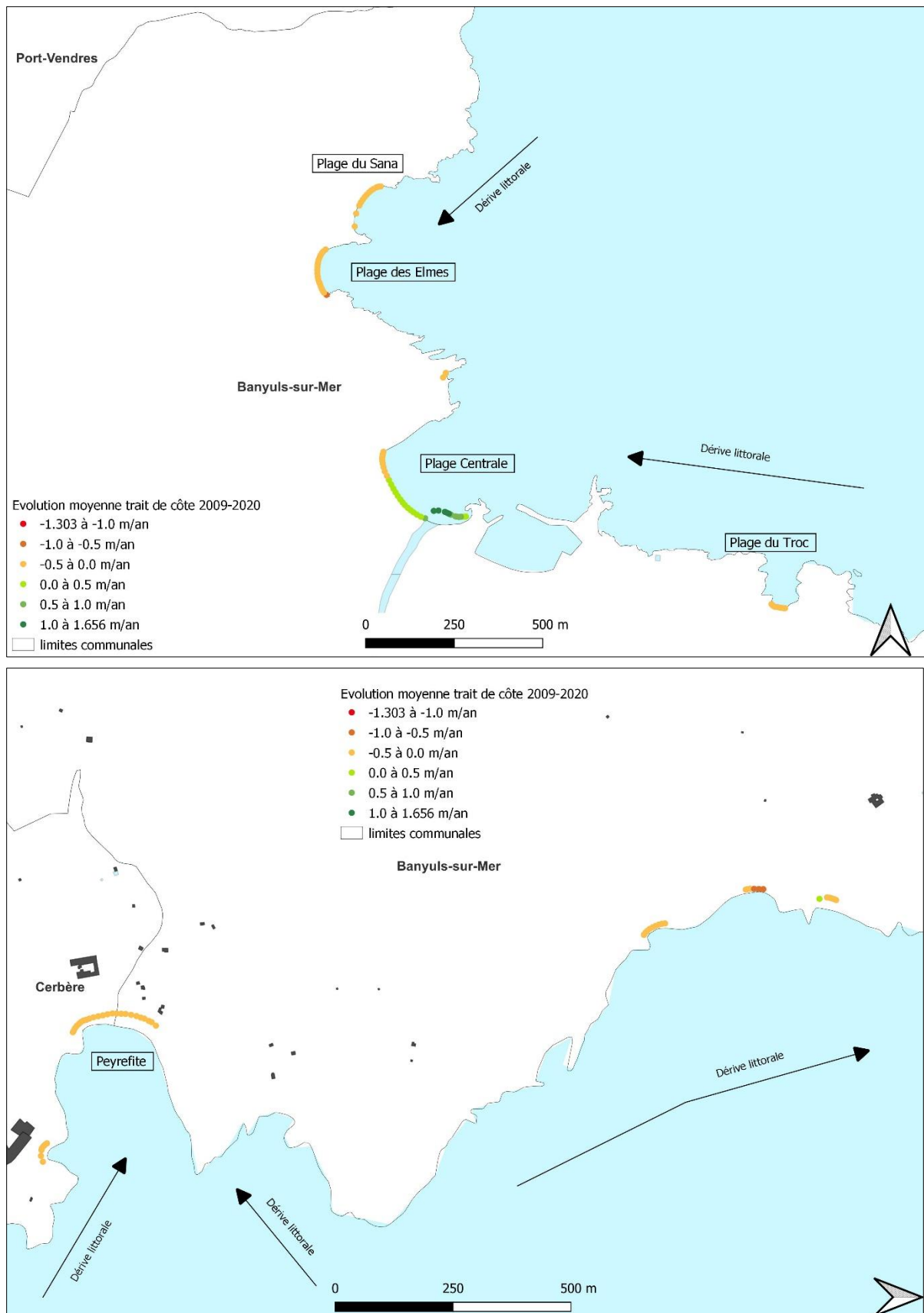


Figure 28 : Représentation de la régression linéaire par méthode DSAS pour les plages de Banyuls haut) et les plages de poche située sur la partie sud de la commune (bas)

La commune de Banyuls compte une petite dizaine de plages de poche suivies au cours de l'étude. Plus de 71 % des transects sont compris à nouveau entre 0 et -0.5 m/an, confirmant ainsi la tendance majoritaire à un très léger recul sur la période 2009-2020 (Figure 28). Cependant, nous avons également 15 % de transects également en légère avancée (0 à +0.5 m/an).

Les premières plages au nord de la commune sont entièrement comprises entre -0.5 et 0 m/an. Cette tendance change lorsque l'on arrive sur la plage centrale de Banyuls. Si son extrémité nord présente un léger recul entre 2009 et 2020, la tendance s'inverse à mesure que l'on se déplace vers le sud. Une grande partie centrale de la plage montre une légère avancée du trait de côte sur la période. La partie sud présente même les valeurs d'avancée les plus importantes de la côte Vermeille, qu'il faut toutefois nuancer puisque la rivière *La Baillaury* se jette à cet endroit et entraîne de fortes variations locales et saisonnières du stock sableux. L'impact de cette rivière est à mettre en relief avec le suivi sédimentaire réalisé par le SMIGATA sur ce Cours d'eau et d'une manière générale sur tous les fleuves côtiers du massif des Albères. Tout dépend du travail sur le transit sédimentaire effectué en amont par la structure gemapienne. Les plages au sud retrouvent une tendance plus classique de faible recul, avec des points un peu plus fortes (-0.5 à -1 m/an de perte) localement située sur une anse à proximité de la plage de Taillelauque.

**Projection Trait de côte 2050 - Banyuls-sur-Mer 1
Secteur Centre**



Légende

- trait de côte horizon 2050
- zone tampon 2050

EDITEE LE : 3 / 11 / 2023
 Production : PNMG-L-OFB
 Sources des données :
 Fonds cartographiques :
 Système de coordonnées : EPSG:2154



**Projection Trait de côte 2050 - Banyuls-sur-Mer 2
Secteur Sud**



Légende

- trait de côte horizon 2050
- zone tampon 2050

EDITEE LE : 2 / 11 / 2023
 Production : PNMG-L-OFB
 Sources des données :
 Fonds cartographiques :
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 29 : Projection à l'horizon 2050 du trait de côte pour les plages du centre de Banyuls (haut) et les plages de poche au sud de la commune (bas)

La tendance au léger recul est respecté comme pour les précédentes communes. Les premières plages indiquent des pertes oscillant entre -10 et -20 m de recul pour 2050. Ce recul ne dépasse pas 10 m sur la partie nord de la plage centrale, qui voit sa tendance s'inverser avec même de fortes avancées sur la mer de plus de 10 m (jusqu'à 45 m pour la zone d'embouchure). Les plages au sud retrouvent cette érosion qui grignote entre 5 et 15 m de terre selon la projection, parfois jusqu'à plus de 20 m localement (Figure 29).

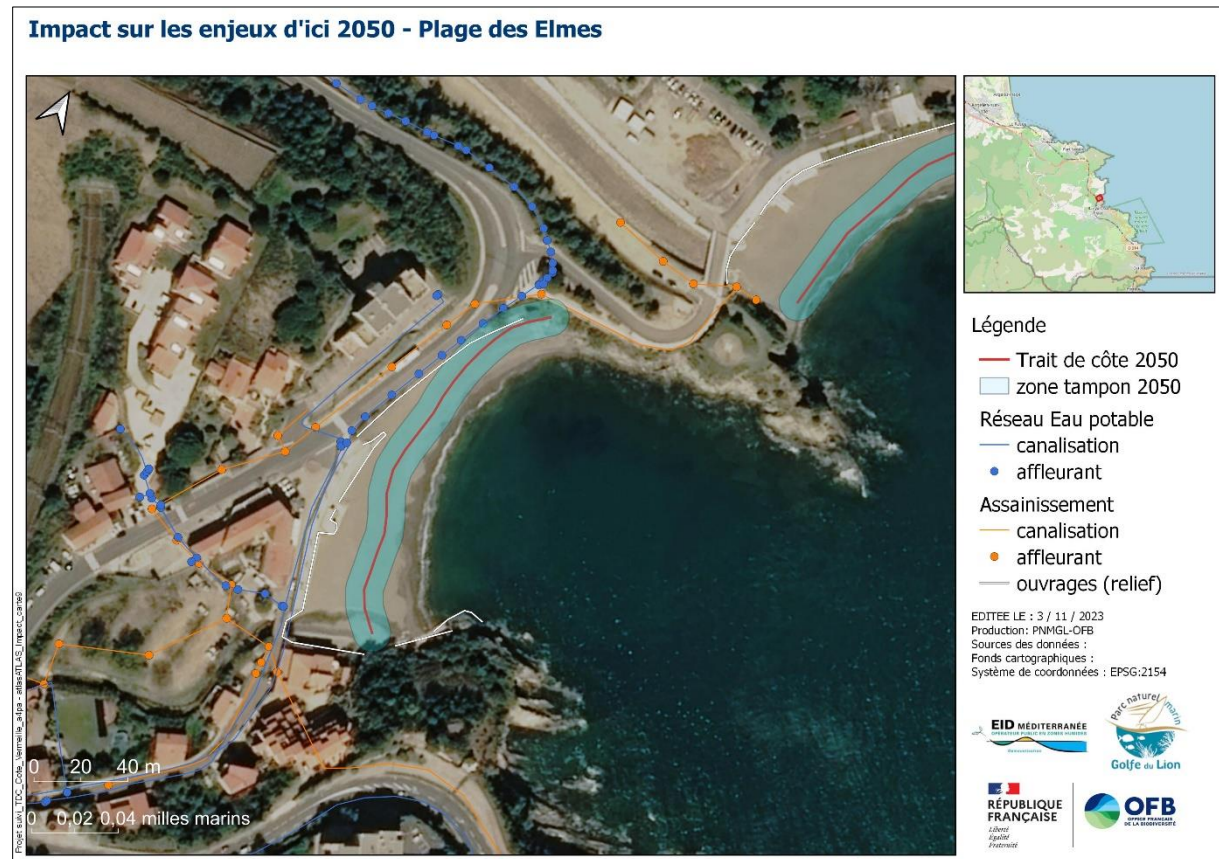


Figure 30 : Cartographie des impacts potentiellement concernés d'ici 2050 sur la plage des Elmes

Malgré ce recul, aucune plage n'est directement concerné par un enjeu à risque d'ici 2050. La figure ci-dessus montre la plage des Elmes qui, malgré le recul observé sur sa partie sud, n'a pas d'enjeux à proximité du trait de côte. De plus, sa surface est suffisamment large, d'un point de vue morphologique, pour accepter un recul de la sorte, même si un réseau d'eau potable ainsi qu'une route sont à la limite de la zone d'incertitude de la projection 2050 (Figure 30). On peut aussi parler de la plage centrale de Banyuls qui verra une partie de sa surface disparaître notamment sur son secteur nord (Figure 29), mais dont le secteur sud sera principalement dépendant des crues de la Baillaury. La plage de Peyrefite sera elle très peu impactée en 2050 et seule une petite partie de sa surface sera sous l'eau d'ici 2050.



Figure 31 : Représentation photographique de la position estimée du trait de côte pour 2050 sur les plages de Banyuls centre (haut) et de Peyrefite (bas)

La commune de Cerbère est la dernière avant la frontière avec l'Espagne. Elle comporte 7 plages de poche, plus ou moins importantes, étudiées à travers cette étude. Presque 97 % des 88 transects sont compris entre 0 et -0.5 m/an, prouvant une fois de plus cette tendance à une érosion ralentie par le profil de ces plages. Les 3 % restants occupent la catégorie du léger gain sur la mer (0 à 0.5 m/an) (Figure 32).

La projection pour 2050 montre encore des reculs plus ou moins forts selon les plages et leur exposition. La plage de Peyrefite enregistre des reculs compris entre -10 et -15 m le long de son linéaire. Ces valeurs sont plutôt autour de -10 m pour la plage de Terrimbo. La projection sur la plage centrale de Cerbère montre des variations entre le centre plutôt épargné (0 à -10 m) et les extrémités nord et sud où la perte se rapproche des 20 m. Enfin, les dernières plages étudiées montrent des valeurs plutôt faibles de recul, aux alentours de 0 à -5 m en moyenne d'ici 30 ans (Figure 33).



Figure 33 : Projection à l'horizon 2050 du trait de côte pour les plages du nord (haut) et du centre de la commune de cerbère (bas)

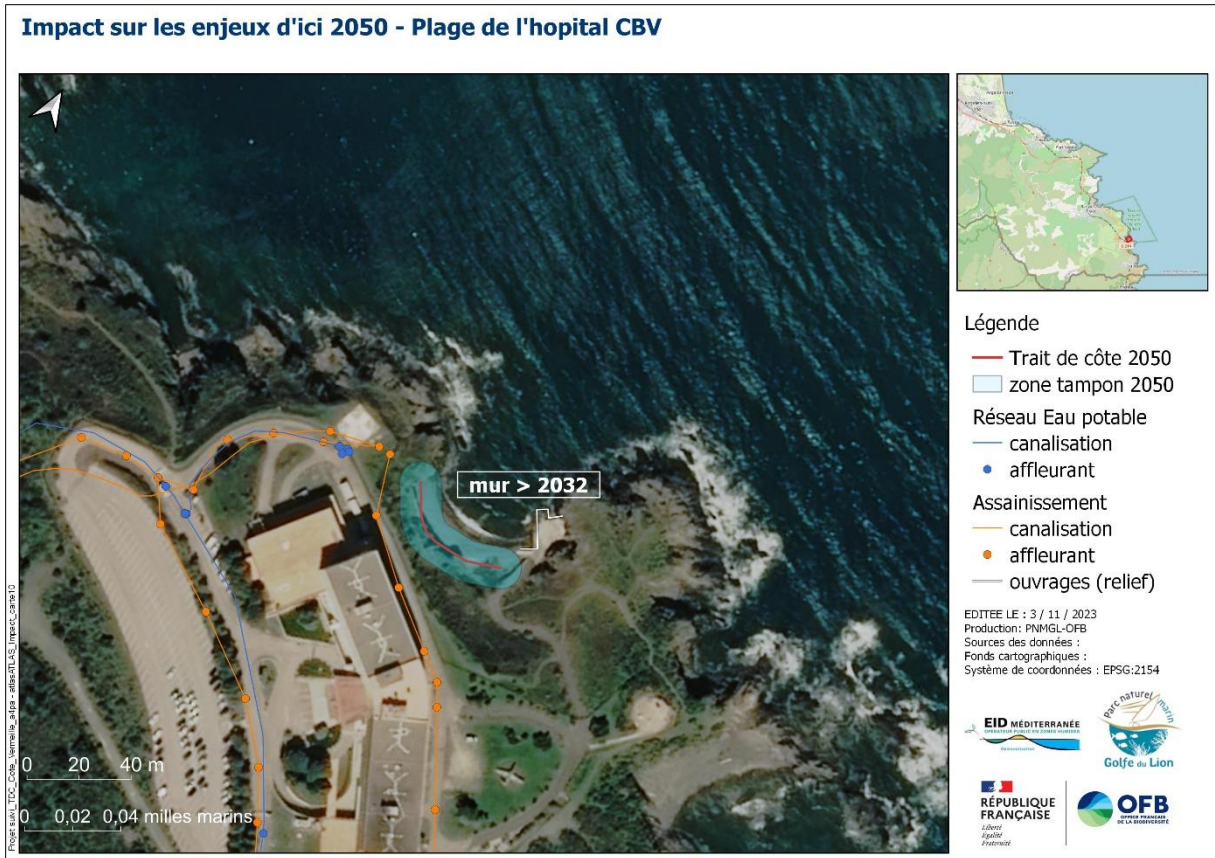


Figure 34 : Cartographie des impacts potentiellement concernés d'ici 2050 sur la plage face à l'ancien centre de réadaptation



Figure 35 : Représentation photographique de la position estimée du trait de côte pour 2050 sur la plage de l'hôpital CBV

Cependant, certaines plages de la commune n'ont pas un stock sableux très important, ni de largeur suffisante pour assurer une continuité dans les années à venir. Des enjeux se retrouvent également très près du rivage, comme c'est le cas au niveau d'une anse à proximité du cap de Peyrefite. Un mur de soutènement se trouve au pied de l'ancien centre de réadaptation Bouffard Vercelli. Cet ouvrage est très proche du trait de côte et les prévisions montrent qu'ils pourraient être au même niveau que la projection à partir de l'année 2032 si l'on se base sur les prévisions les plus extrêmes (Figure 36). Il y a de fortes chances pour que la surface de la plage présente au pied de ce centre de rééducation soit réduite drastiquement comme on peut l'observer sur les Figure 34 et Figure 35.

Impact sur les enjeux d'ici 2050 - Plage centrale de Cerbère



Légende

- Trait de côte 2050
- zone tampon 2050
- Réseau Eau potable
- canalisation
- affleurant
- Assainissement
- canalisation
- affleurant
- ouvrages (relief)

EDITEE LE : 3 / 11 / 2023
 Production : PNMGL-OFB
 Sources des données :
 Fonds cartographiques :
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Impact sur les enjeux d'ici 2050 - Plage centrale de Cerbère



Légende

- Trait de côte 2050
- zone tampon 2050
- Réseau Eau potable
- canalisation
- affleurant
- Assainissement
- canalisation
- affleurant
- ouvrages (relief)

EDITEE LE : 3 / 11 / 2023
 Production : PNMGL-OFB
 Sources des données :
 Fonds cartographiques :
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 36 : Cartographie des impacts potentiellement concernés d'ici 2050 sur la plage centrale de cerbère



Figure 37 : Représentation photographique de la position estimée du trait de côte pour 2050 sur la plage de Cerbère centre

La plage centrale de Cerbère est aussi impactée par cette problématique. Pour l'extrémité nord, le trait de côte devrait toucher la promenade en haut de plage d'ici 2050 (Figure 36). En revanche, l'enjeu est double et plus urgent au niveau de la partie centrale puisque le côté sud du parking risque d'être impacté dans une fourchette comprise entre 2029 et 2045 (on part toujours de l'année 2020, date du début de la projection). La route serait même impactée là où la plage est la plus étroite actuellement. Un réseau d'eau potable se trouve sous cette route et serait alors touché juste après 2050. Enfin, de l'autre côté des enrochements, l'extrémité sud de la plage risque aussi de voir le mur de soutènement de la route en amont être affecté à proximité des années 2040 (Figure 37).

III. Conclusion

Cette étude permet d'apporter un support et une tendance de manière expérimentale sur les plages de la côte Vermeille. Sur l'ensemble des transects de plage de poche suivis, près de 85 % sont en érosion depuis 2009. Cependant, la grande majorité présentent de faibles valeurs de reculs comprises entre 0 et -0.5 m/an. Ces données mettent bien en évidence la tendance d'une érosion généralisée mais globalement faible sur l'ensemble de la côte Vermeille, qui confirme les observations des précédentes études réalisées sur ce secteur. La projection montre des valeurs de recul surtout comprises entre 0 et 15 m d'ici 2050. On note également que très peu de plages sont en accrétion, exceptés la partie nord du Racou ou le sud de la plage de Banyuls.

Globalement, le recul prévu d'ici 2050 n'est pas aussi important que sur la côte sableuse catalane voisine et les plages de poche sont suffisamment larges pour la plupart et bien protégés pour éviter d'avoir une vraie menace sur des habitations. Cependant, près d'une dizaine de plages présentent un risque lié à des enjeux situés directement à proximité du rivage. La plupart de ces enjeux sont des réseaux d'eau potable ou d'assainissement, mais certains sont également des infrastructures (murs de soutènement, routes, habitations). Les enjeux les plus critiques peuvent être touchés aux alentours de 2030, alors que la plupart d'entre eux le seront autour de 2040 ou après. Il ne faut pas non plus oublier que ces indications concernent le moment où le trait de côte sera au niveau des enjeux, alors que ces derniers seront déjà affectés bien avant par les phénomènes de submersion marine et d'érosion ponctuelle observés lors d'épisodes météorologiques exceptionnels notamment. Il est important de rappeler que certaines plages de poche sont plus exposées que d'autres aux tempêtes et que des dégâts plus ou moins importants ont pu être observés sur cette partie de la côte catalane (digue de Cerbère emportée en 2008). Il faut aussi se rappeler que ces résultats sont cohérents avec les valeurs de faible recul observées depuis près de 70 ans sur le secteur, et qui ont su être appréhendées du mieux possible jusqu'à présent.

Enfin, il faut également garder en tête certaines limites de ce projet expérimental et prospectif. La principale concerne la non prise en compte de la topographie d'arrière plage (dunes, falaises, murs...) puisque la formule prend la pente de plage de 0 à -7 m et la projette en arrière du trait de côte. Cette méthode est donc bien adaptée pour les plages de poche larges et sans ouvrages directement à proximité qui seraient susceptibles d'être dépassés par la projection de 2050. La formule ne tient pas compte de la différence de topographie en haut de plage (falaise, ouvrages) et c'est pour cela qu'il a été précisé approximativement les dates pour lesquelles le trait de côte pourrait atteindre ces limites. De plus, la régression linéaire a volontairement été choisie sur une période courte, pour mieux appréhender l'évolution récente du trait de côte sans l'intervention d'ouvrages divers. Ce choix est évidemment discutable mais c'est celui qui reflète le mieux l'évolution du climat et l'accélération des phénomènes dur ces dernières années. Les cartes générées via cette étude permettent donc

d'obtenir une tendance à l'horizon 2050 mais ne font pas office de document officiel pour autant. Elles doivent permettre d'engager des discussions sur les actions à mener pour les années à venir de la part des gestionnaires de chaque commune. Les données pourront évidemment être mises à jour au fur et à mesure de l'avancée dans le temps.

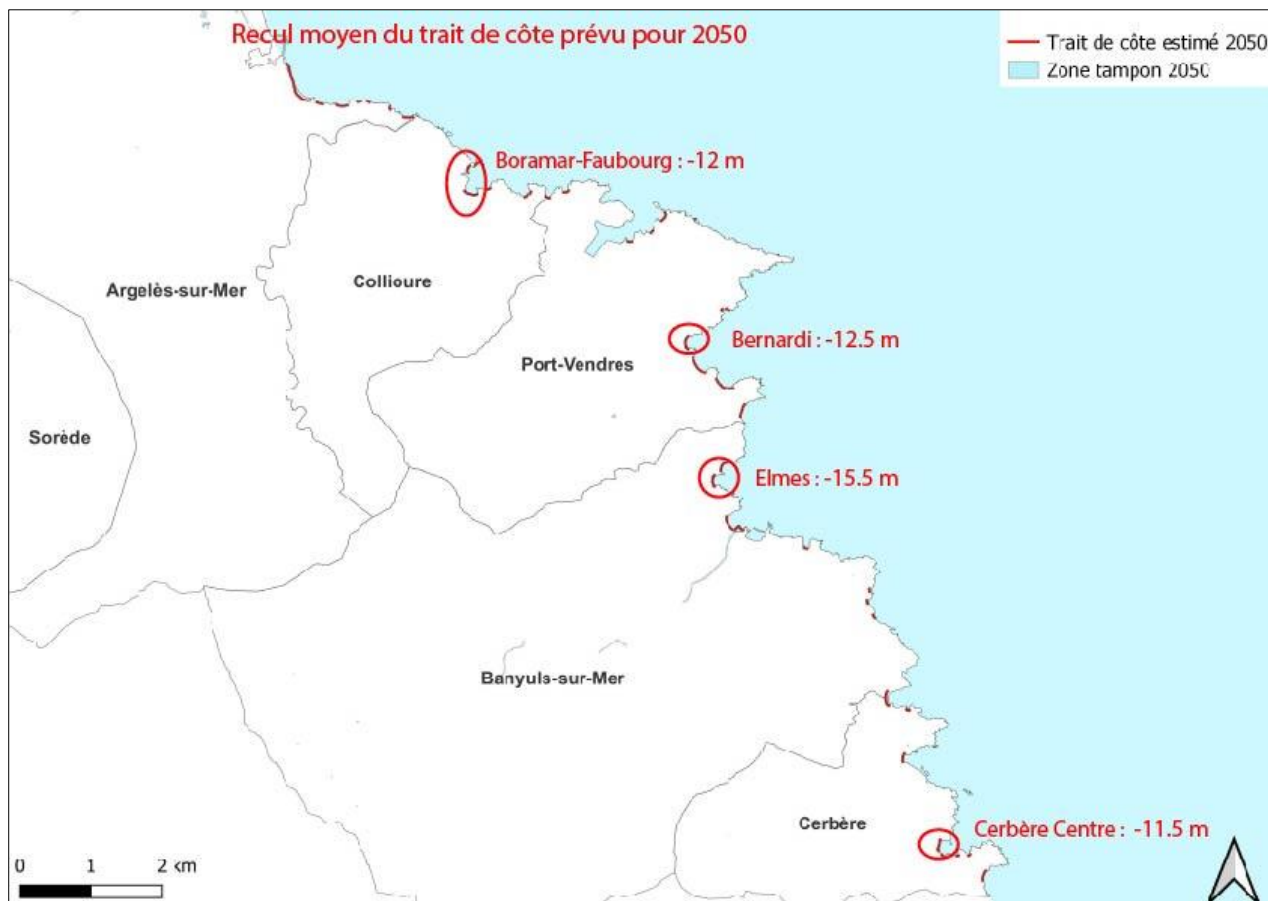


Figure 38 : Carte des secteurs dont la moyenne de recul pour l'ensemble d'une plage est la plus élevée d'ici l'horizon 2050

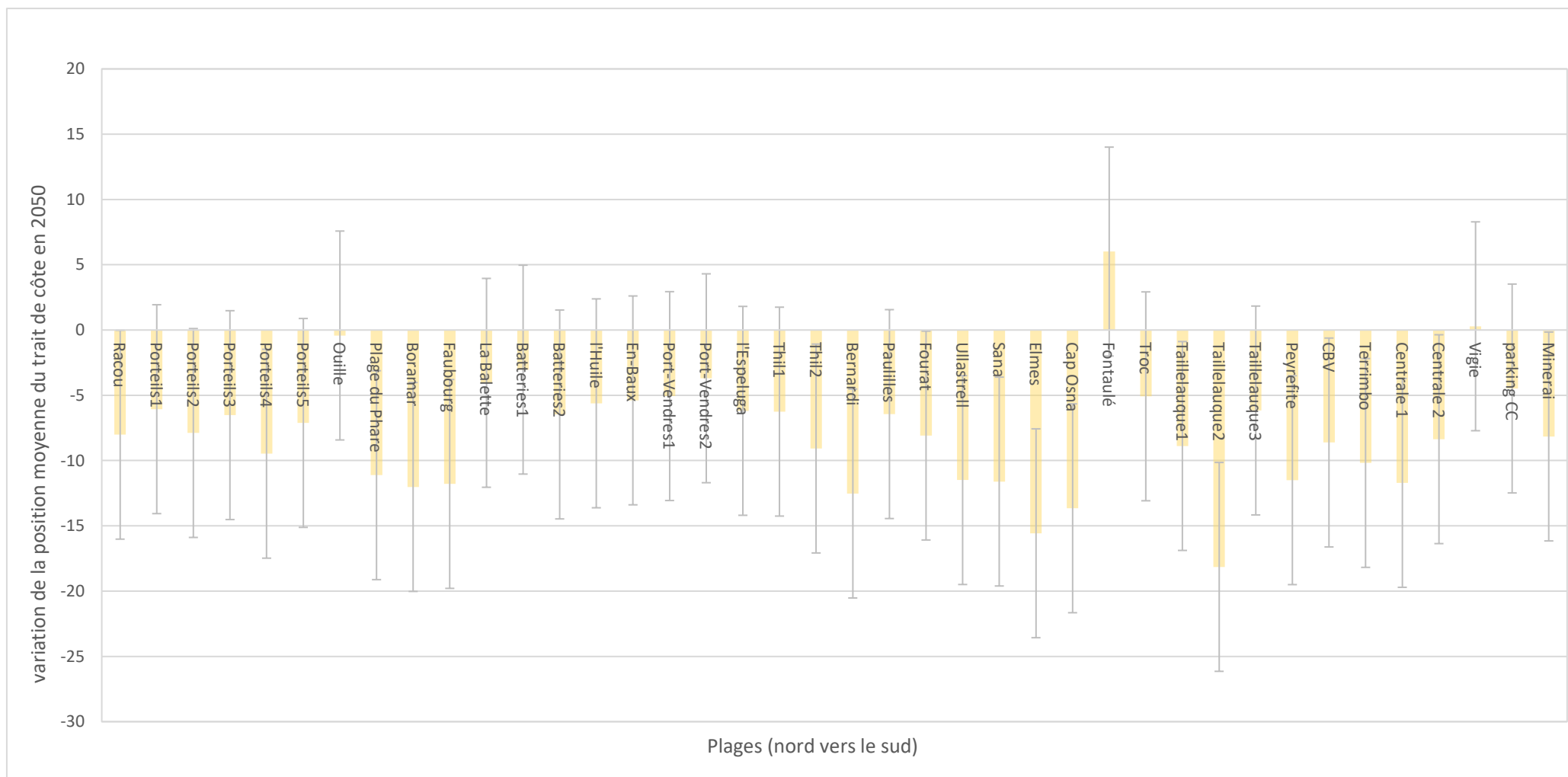


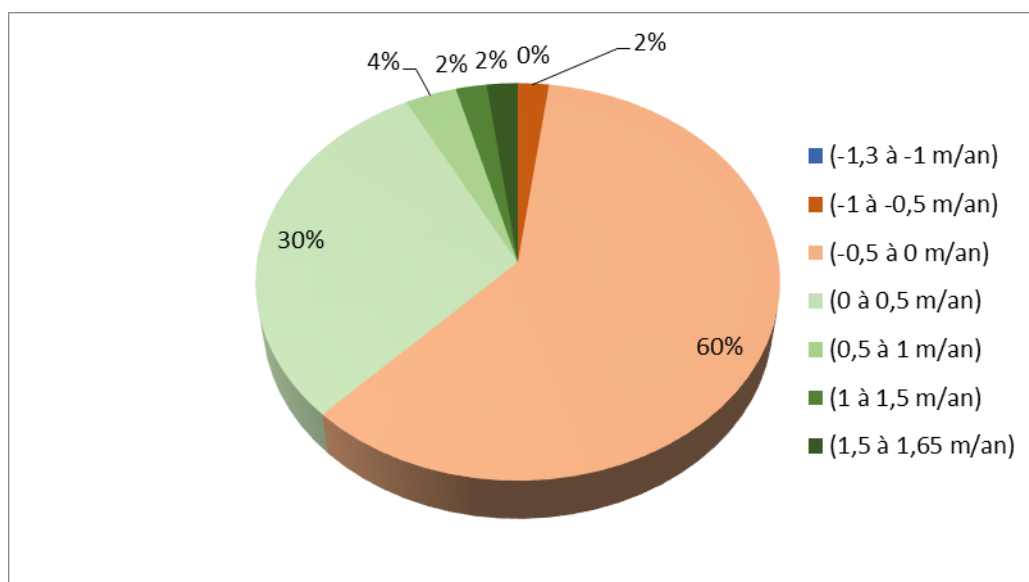
Figure 39 : graphique représentatif de l'évolution moyennée du trait de côte par plages pur l'horizon 2050, complété par les marges d'erreur de +/- 8 m

Bibliographie

- CEREMA (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement), 2015. Indicateur national de l'érosion côtière. Cartographie pour le Languedoc Roussillon, 7 p. (<http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/acces-aux-donneesr556.html>)
- Durand P., Heurtefeux H. (2006) — Impact de l'élévation du niveau marin sur l'évolution future d'un cordon littoral lagunaire : une méthode d'évaluation. Exemple des étangs de Vic et de Pierre Blanche (littoral méditerranéen, France). Zeitschrift für Geomorphologie
- EID-MEDITERRANEE, 2014. Dynamique morphologique des plages de la côte rocheuse des Pyrénées Orientales. Contrat d'étude de la DREAL, 81 p. Disponible sur demande à l'EID-Méditerranée.
- EID-MEDITERRANEE, 2020. Actualisation des connaissances sur l'érosion de la côte Vermeille entre 1942 et 2019, par imagerie satellite très haute résolution ; étude réalisée pour le Parc Naturel Marin du Golfe du Lion. Disponible sur demande à l'EID-Méditerranée.
- EID-MEDITERRANEE et CEFREM 2019 ; Phase 1 : Evaluation de méthodes d'analyse du trait de côte et de l'avant-côte via les données satellites PLEIADES. Rapport final du projet SENVISAT
- Emily A.; Henderson, Rachel E.; Kratzmann, Meredith G.; Farris, Amy S. 2018. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide. Open-File Report 2018-1179. USGS.
- Faye, I. (2010). Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest): Approches régionale et locale par photointerprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes (Doctoral dissertation, Université de Bretagne occidentale-Brest).
- RAYNAL O., CERTAIN R., GUERINEL B., 2011. Plan de Gestion des Sédiments du Languedoc-Roussillon Tâche A1. Publication CEFREM pour la DREAL, 49p.
- RICHARD P., 1993. La côte rocheuse des Pyrénées orientales : étude de ses plages. Mémoire de maîtrise de géographie, sous la direction de B. Lemartinel, université de Perpignan. Disponible sur demande à l'EID-Méditerranée.

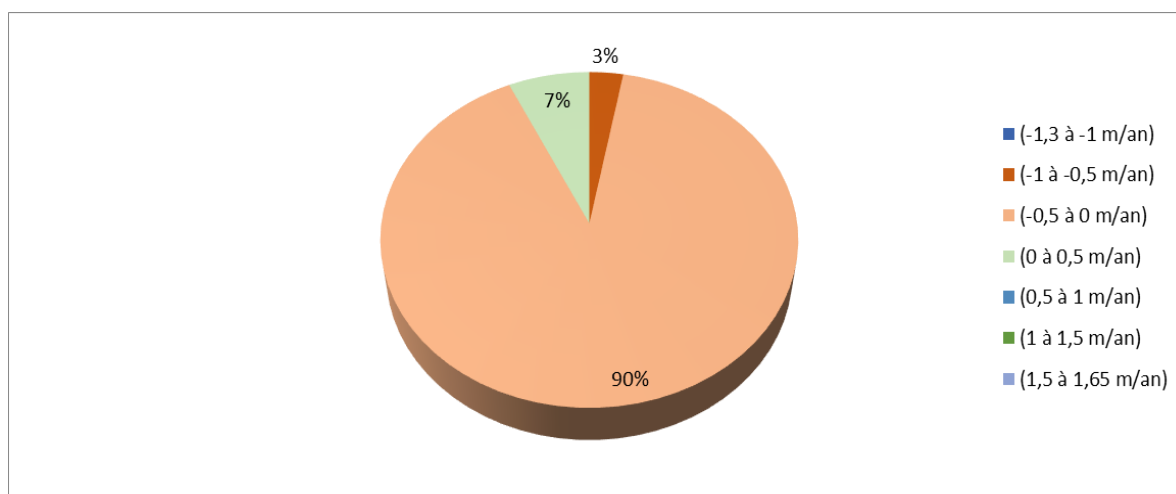
Annexes

<i>Plages avec rivière</i>		
Catégories (m/an)	Nombre de profils	% par catégories
(-1,3 à -1 m/an)	0	0,0
(-1 à -0,5 m/an)	3	2,1
(-0,5 à 0 m/an)	86	60,1
(0 à 0,5 m/an)	43	30,1
(0,5 à 1 m/an)	5	3,5
(1 à 1,5 m/an)	3	2,1
(1,5 à 1,65 m/an)	3	2,1



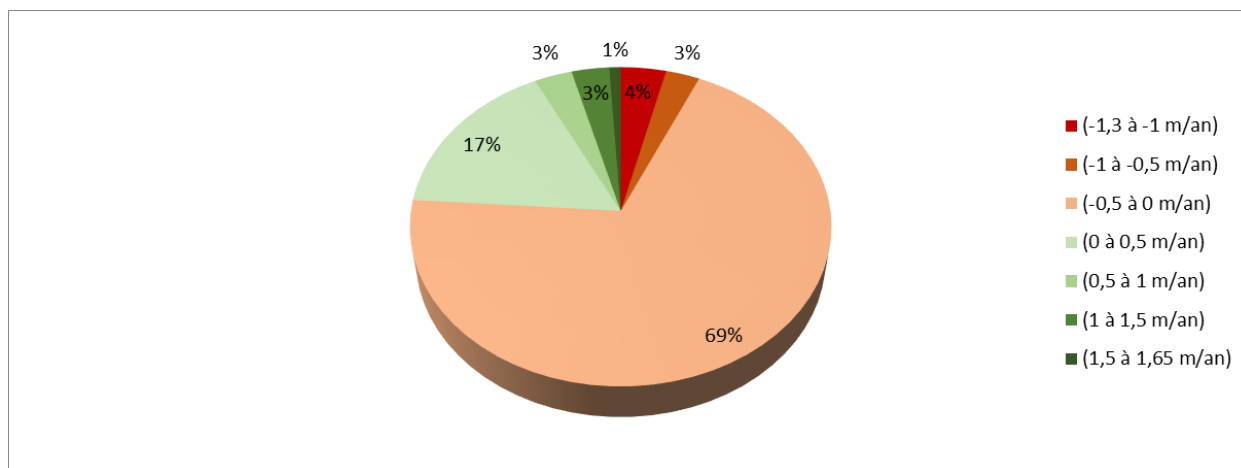
Annexe 1 : Tableau et représentation graphique du pourcentage de profils DSAS par catégorie pour les plages ayant une embouchure

Petites plages		
Catégories (m/an)	Nombre de profils	% par catégories
(-1,3 à -1 m/an)	0	0,0
(-1 à -0,5 m/an)	5	2,9
(-0,5 à 0 m/an)	157	90,2
(0 à 0,5 m/an)	12	6,9
(0,5 à 1 m/an)	0	0,0
(1 à 1,5 m/an)	0	0,0
(1,5 à 1,65 m/an)	0	0,0



Annexe 2 : Tableau et représentation graphique du pourcentage de profils DSAS par catégorie pour les plages dont la superficie est inférieure à 2000 m²

Grandes plages		
Catégories (m/an)	Nombre de profils	% par categories
(-1,3 à -1 m/an)	12	3,8
(-1 à -0,5 m/an)	9	2,9
(-0,5 à 0 m/an)	218	69,4
(0 à 0,5 m/an)	52	16,6
(0,5 à 1 m/an)	10	3,2
(1 à 1,5 m/an)	10	3,2
(1,5 à 1,65 m/an)	3	1,0



Annexe 3 : Tableau et représentation graphique du pourcentage de profils DSAS par catégorie pour les plages dont la superficie est supérieure à 2000 m²