

Elaboration d'une stratégie régionale relative à la gestion intégrée du trait de côte en Hauts-de-France

## Phase 1 : diagnostic du territoire



Rapport n° A100857 / version C – 12/04/2022

Projet suivi par Manuel ROTT – 02 31 46 29 20 – manuel.rott@anteagroup.com

# Phase 1 : diagnostic du territoire

## Fiche signalétique

Elaboration d'une stratégie régionale relative à la gestion intégrée du trait de côte en Hauts-de-France -

## Diagnostic

CLIENT	SITE
<b>DREAL Hauts-de-France</b>	
56 Rue Jules Barni 80000 Amiens	
R. LE-BRIS <a href="mailto:rejane.le-bris@developpement-durable.gouv.fr">rejane.le-bris@developpement-durable.gouv.fr</a> 03 22 82 25 67	

RAPPORT D'ANTEA GROUP	
Responsable du projet	Manuel Rott
Interlocuteur commercial	Nicolas Moury
Implantation chargée du suivi du projet	Implantation de Caen 02.31.46.12.46 <a href="mailto:secretariat.caen-fr@anteagroup.com">secretariat.caen-fr@anteagroup.com</a>
Rapport n°	100857
Version n°	B
Votre commande et date	Réf : AMPC/PC 2019/226 du 09/07/2019
Projet n°	NPCP190360

	Nom	Fonction	Date
Rédaction	CROMBEZ/ ROTT DORCEUS	Ingénieur de projet Antea Responsable de projet Rouge Vif	15/01/2022
Approbation	MOURY	Directeur de projet	20/01/2022

# Elaboration d'une stratégie régionale relative à la gestion intégrée du trait de côte en Hauts-de-France

Phase 1 : diagnostic du territoire

## Suivi des modifications

Indice Version n	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
<b>A</b>	28/09/2021	112		
<b>B</b>	20/01/2022	181		Prise en compte des remarques de la DREAL
<b>C</b>	12/04/2022	183		Prise en compte des remarques de la DREAL

# Table des matières

1.	Préambule.....	
2.	Contexte.....	
3.	Présentation générale du fonctionnement du littoral.....	
3.1.	Découpage en cellules hydro-sédimentaires.....	
3.2.	Généralités sur les phénomènes de transport.....	
4.	Généralités concernant l'aléa érosion.....	
4.1.	Présentation générale de l'aléa érosion.....	
4.2.	Cas des plages sableuses.....	
4.3.	Méthode des PPRL.....	
4.3.1.	Détermination de l'aléa érosion.....	
4.3.2.	Particularités des côtes basses meubles.....	
4.3.3.	Particularités des côtes à falaises.....	
4.3.4.	Outil MobiTC.....	
4.1.	Conclusion concernant l'aléa érosion.....	
5.	Généralités concernant l'aléa submersion.....	
5.1.	Présentation générale de l'aléa submersion.....	
5.2.	Méthode PPRL.....	
5.3.	Etudes principales de l'aléa submersion.....	
5.3.1.	Présentation des études de DHI pour le Nord et le Pas-de-Calais : méthode PPRL.....	
5.3.2.	Présentation des études d'Artélia pour le PAPI Bresle Somme Authie.....	
5.3.3.	Comparaison des méthodes de DHI et d'Artélia pour la détermination de l'aléa.....	
5.4.	Conclusion concernant l'aléa submersion.....	
6.	Généralités concernant les enjeux.....	
6.1.	Présentation du périmètre d'analyse des enjeux.....	
6.2.	Identification des thématiques à enjeux du territoire.....	
6.3.	L'analyse des enjeux à l'échelle régionale.....	
6.3.1.	Géomorphologie et dynamiques d'aménagement du littoral.....	
6.3.2.	Le patrimoine naturel.....	
6.3.3.	Les enjeux humains et économiques.....	
6.3.4.	Synthèse des enjeux à l'échelle régionale.....	
6.4.	L'analyse des enjeux à l'échelle des cellules hydro-sédimentaires et les secteurs d'aléas.....	
7.	Présentation du fonctionnement du littoral.....	

7.1. Sous-cellule nord de la cellule 10 - Jetée du Tréport à la pointe du Hourdel.....	
7.2. Cellule 11 : Pointe du Hourdel à la pointe de Routhiauville (dune blanche).....	110
7.2.1. Baie de Somme.....	
7.2.2. Marquenterre.....	
7.3. Cellule 12 : Pointe de Routhiauville (dune blanche) à la pointe du Touquet.....	114
7.3.1. Baie d'Authie.....	
7.3.2. Secteur entre Berck-sur-mer et le Touquet.....	
7.4. Cellule 13 : Pointe du Touquet à la jetée du port de Boulogne-sur-Mer.....	118
7.4.1. Baie de Canche.....	
7.4.2. Secteur entre Camiers et Equihen-Plage.....	
7.5. Cellule 14 : Digue Carnot (Boulogne-sur-Mer) au cap Gris-Nez.....	122
7.6. Cellule 15 : Cap Gris-Nez au port de Calais.....	124
7.7. Jetées du port de Calais à la jetée des Huttes du port industriel de Dunkerque.....	127
7.8. Jetée des Huttes du port industriel de Dunkerque à la jetée de Malo (Dunkerque Est).....	129
7.9. Jetée de Malo (Dunkerque Est) à la frontière belge.....	133
<b>8. Méthodologie d'analyse des aléas littoraux.....</b>	<b>140</b>
8.1. Aléa Submersion.....	140
8.2. Homogénéisation des Aléas.....	143
8.3. Aléa érosion.....	144
8.4. Mise en place du zonage de tendance.....	144
8.4.1. Principe général.....	
8.4.2. Données disponibles.....	
8.4.3. Méthodologie générale.....	
8.4.4. Impacts des ouvrages/évolutions sur le long terme.....	
8.4.5. Evolutions récentes (2011-2020).....	
8.4.6. Résultat global – mise en place du linéaire de tendance.....	
<b>9. Méthodologie d'analyse des enjeux.....</b>	<b>153</b>
9.1. Compréhension des dynamiques territoriales.....	153
9.2. Identification des enjeux exposés aux aléas littoraux.....	153
9.2.1. Principe général.....	
9.2.2. Les indicateurs retenus.....	
9.2.3. Représentation des enjeux exposés aux aléas littoraux.....	
<b>10. Limites de la méthode et perspectives.....</b>	<b>165</b>
10.1.1. Aléa submersion.....	
10.1.2. Aléa érosion.....	
10.1.3. Enjeux.....	
<b>Bibliographie.....</b>	<b>172</b>
<b>Table des figures.....</b>	<b>176</b>

---

Table des tableaux..... 180

## 1. Préambule

La présente étude s'inscrit dans le projet d'élaboration d'une stratégie régionale littorale relative à la gestion intégrée du trait de côte en Hauts-de-France menée par la DREAL Hauts-de-France.

L'Etat, acteur majeur de la région sur le littoral, souhaite disposer d'une stratégie régionale de gestion intégrée du trait de côte prenant en compte les risques (aléas/enjeux) et leur prévention, mais également les orientations d'aménagement du territoire. Cette stratégie sera définie pour différentes échelles de temps. L'objectif est d'avoir un outil de gestion et de décision, unifié et partagé avec les acteurs des territoires, et déclinable.

Afin de mener à bien cette stratégie, l'objectif est également de mettre en avant les données manquantes sur les différents territoires. Après la fusion des régions en 2016, il apparaît qu'il existe une hétérogénéité importante dans la donnée à l'échelle départementale ou à celle de la région Nord-Pas-de-Calais et Picardie. Cette étude permet une compilation des données à l'échelle administrative de 2016.

Cette démarche est organisée autour de trois grandes phases :

### **Phase 1 : Diagnostic du territoire**

Cette 1<sup>ère</sup> étape consistera à réaliser une synthèse des aléas et enjeux sur l'ensemble de la façade littorale.

Pour rappel, ce diagnostic s'appuie sur un travail de recollement des études et données existantes.

### **Phase 2 : Typologie des territoires**

A l'issue de ce diagnostic, une typologie du littoral pourra être déterminée à partir du croisement des cartographies unifiées des aléas et des enjeux.

### **Phase 3 : Vocations territoriales**

Cette étape doit permettre d'établir une liste de l'ensemble des modes de gestion littorale, pour les aléas présents à l'échelle du périmètre d'étude

Ce rapport présente les résultats de la phase 1 - diagnostic du territoire.

## 2. Contexte

La zone d'étude comprend l'ensemble du littoral des Hauts-de-France, depuis Mers-les-Bains jusqu'à la frontière Belge (Figure 1).





Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (source : Open Street Map)

## 3. Présentation générale du fonctionnement du littoral

### 3.1. Découpage en cellules hydro-sédimentaires

Le littoral peut être découpé en cellules hydro-sédimentaires délimitées par des points fixes naturels (baies, caps) ou anthropiques (digues), dans lesquelles le comportement hydrodynamique du littoral et les processus sédimentologiques sont indépendants de ceux des cellules adjacentes. Les limites de ces cellules sont indépendantes des limites administratives du territoire.

Le littoral de la jetée du Tréport à la Belgique se divise en **9 cellules hydro-sédimentaires** qui ont les caractéristiques suivantes :

Tableau 1 : Identification et étendue des cellules hydro-sédimentaires de la jetée du Tréport à la Belgique

Numéro de la cellule	Extension	Linéaire
10	De la Jetée du Tréport à la pointe du Hourdel	21 km
11	De la pointe du Hourdel (limite Sud de la baie de Somme) à la pointe de Routhiauville	18 km
12	De la pointe de Routhiauville (limite Sud de la baie d'Authie) à la pointe du Touquet	18 km
13	De la pointe du Touquet (limite Sud de la baie de la Canche) à la digue Carnot	20 km
14	De la digue Carnot (Boulogne-sur-Mer) au Cap Gris-Nez	17 km
15	Cap Gris-Nez au port de Calais	22 km
16	Du port de Calais à la jetée des Huttes	22,5 km
17	De la jetée des Huttes (Gravelines) à la jetée de Malo	14,5 km
18	De la jetée de Malo (Dunkerque) à la frontière belge	14 km

La figure suivante localise ces cellules.

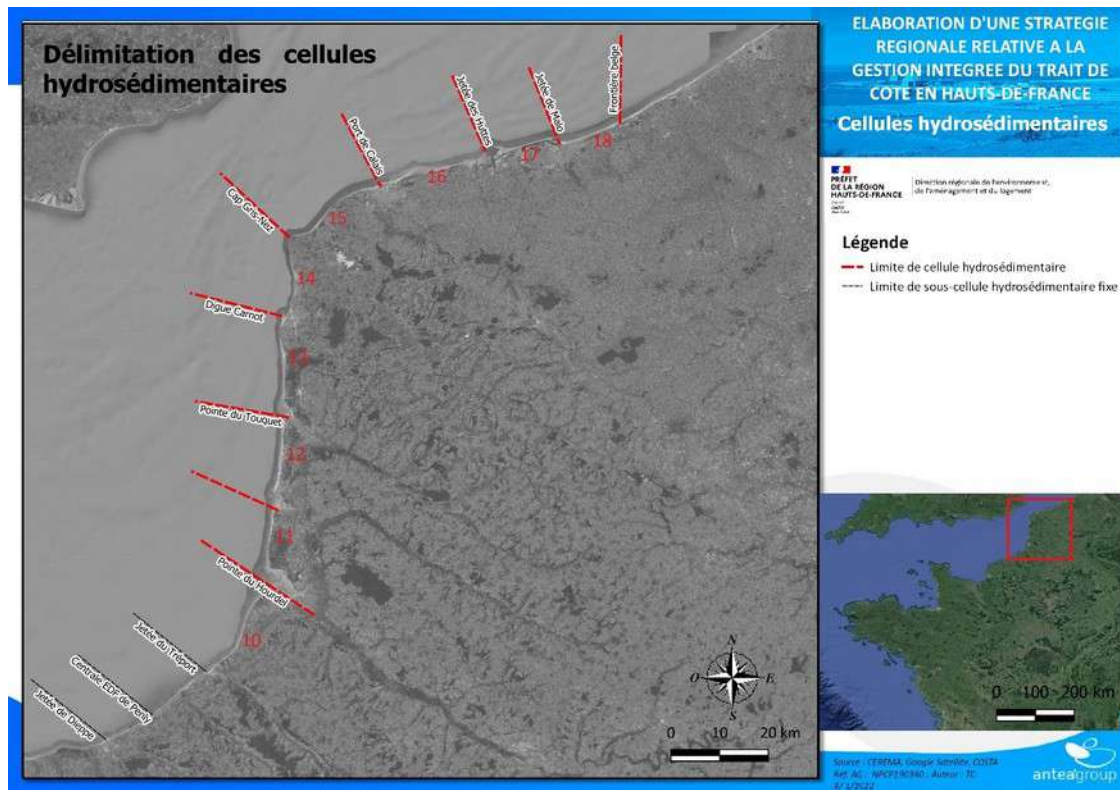


Figure 2 : Numérotation des cellules retenues dans l'étude

### 3.2. Généralités sur les phénomènes de transport

Deux phénomènes agissent sur le transport des sédiments marins : les houles et les courants de marée.

➤ Transport par les houles

Les houles générées au large par le vent se propagent vers la côte librement tant que les fonds sont importants. A l'approche du rivage, elles vont interagir avec le fond, elles vont alors subir des déformations de leur direction et de leur cambrure jusqu'au déferlement lorsque la profondeur devient trop faible.

Avant le déferlement, le transport de sédiments a tendance à se faire vers la côte.

Dans la zone de déferlement appelée zone de surf, les vitesses au fond sont très importantes et les sédiments sont remis en suspension. Dans la zone de déferlement, le transport se fait du rivage vers le large. Ces deux transports vers le large et vers la côte par les houles sont appelés transport cross shore.

Par ailleurs, les houles arrivant de façon oblique par rapport au rivage vont entraîner un courant parallèle à la côte, créant un transport de sédiment appelé transport longshore (Figure 3).

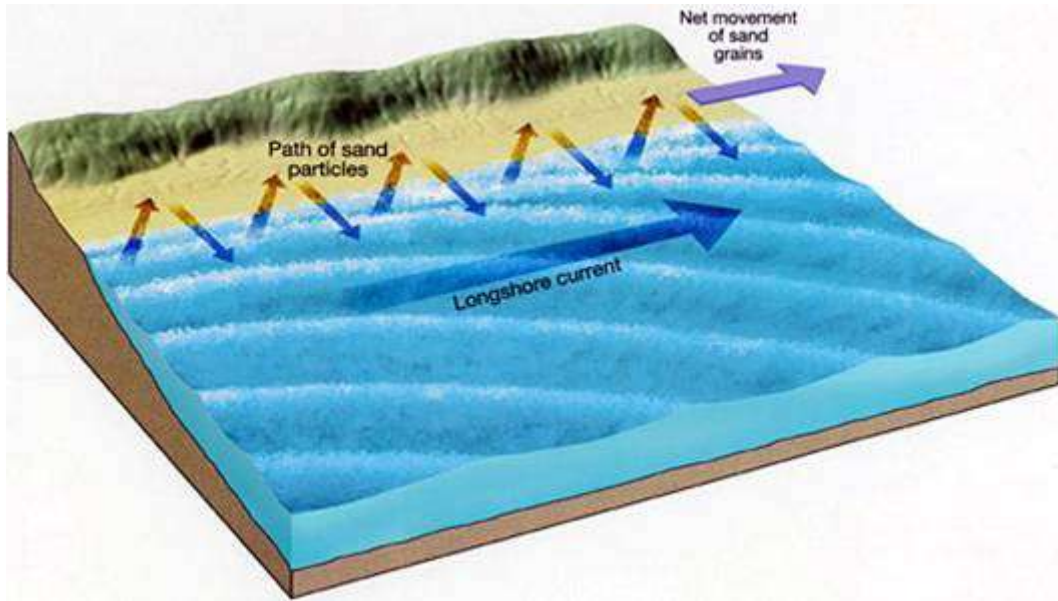


Figure 3 : Illustration du transport longshore (source : <https://www.crd.bc.ca>)

L'obliquité de la houle va donc influencer la morphologie du rivage, d'autre part, la morphologie du rivage va influencer la propagation de la houle et donc son obliquité. Il y a rétroaction entre les deux phénomènes. Il est généralement admis que le transport sédimentaire longitudinal est fortement dépendant de l'énergie de la houle et de son angle d'incidence avec le trait de côte (Komar, Inman, 1970 ; Cartier, 2011).

Les houles dominantes sur la zone d'étude sont des houles d'ouest-sud-ouest avec une composante minoritaire nord sur la façade exposée ouest de la zone (de Mers-les-Bains à Audinghen). Ces houles à dominance d'ouest-sud-ouest sont du fait des houles issues de l'Atlantique (Figure 4).

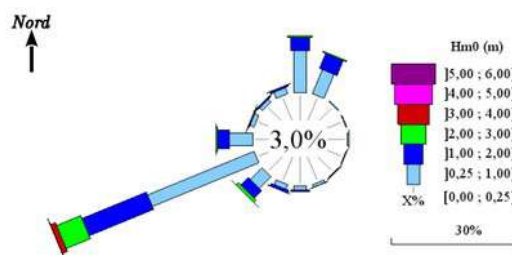


Figure 4 : Rose des houles au large de Boulogne-sur-mer (source : Candhis)

Sur la façade exposée à la mer du Nord, les houles dominantes viennent également de la direction ouest-sud-ouest avec des houles provenant de l'Atlantique. La composante nord-est provient quant à elle de la Mer du Nord (Figure 5).

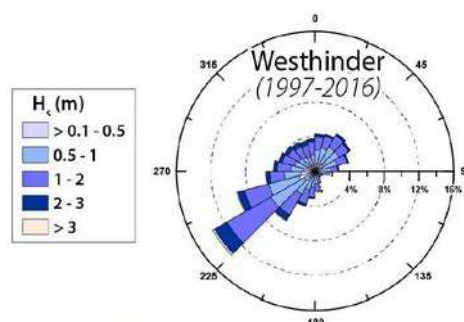


Figure 5 : Rose des houles au large de Dunkerque (source : A. ZEMMOUR, 2019)

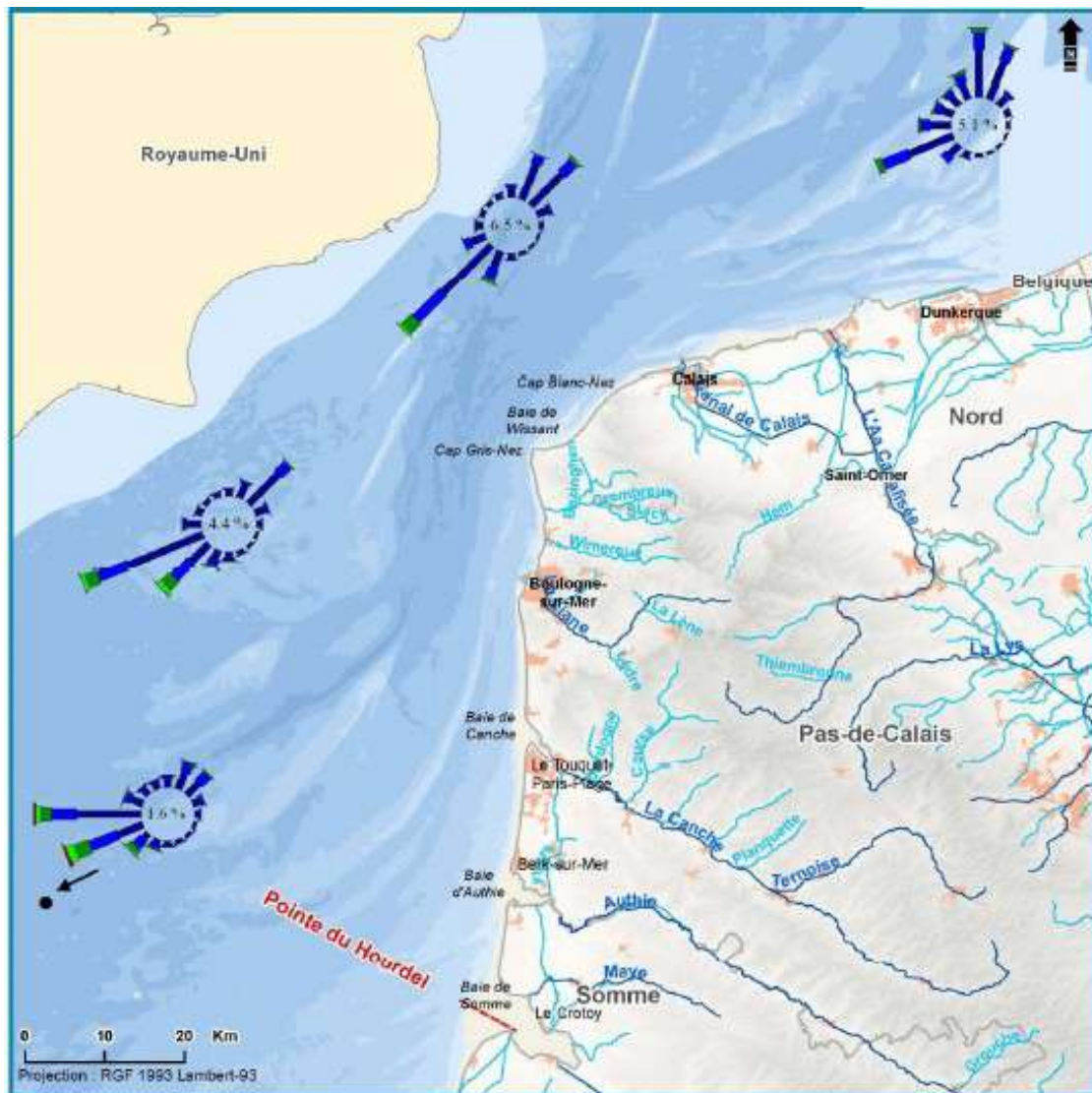


Figure 6 : Diversité régionale des roses des houles issues des simulations ANEMOC (source : CEREMA, 2017)

La résultante du transport cross shore et long shore constitue le transport de sédiments par la houle.

➤ Transport par les courants de marée

Les courants de marée vont eux créer un transport de sédiments cyclique suivant l'alternance du flot et du jusant.

Les courants les plus importants sont globalement parallèles à la côte, mais localement des gires peuvent apparaitre notamment au droit des caps rocheux. La dissymétrie entre le flot et le jusant va créer une circulation résiduelle qui dictera le transport final des sédiments.

Sur la zone d'étude, les courants de marée sont globalement orientés du sud vers le nord au sud du Cap Gris-Nez et de l'ouest vers l'est à l'est de ce cap durant le flot (Figure 7). Les courants s'inversent au jusant (Figure 8).

Sur la zone d'étude, les courants de marée maximums sont enregistrés au niveau du Cap Gris-Nez avec un maximum de 4 à 5 nœuds (Figure 9).

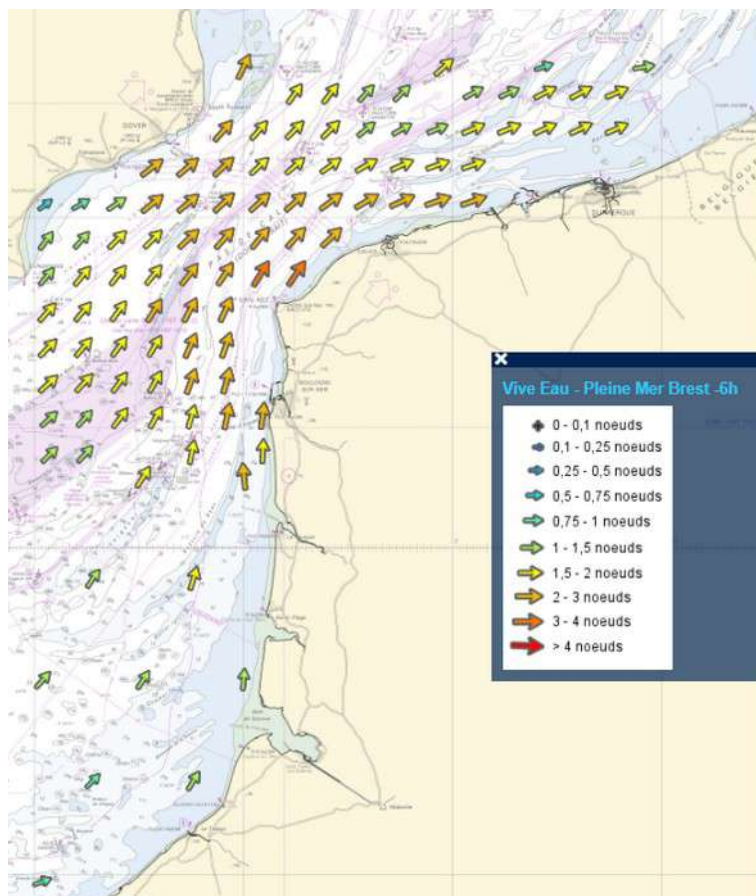


Figure 7 : Champ de vitesse des courants de marée au flot (source : data.shom.fr)

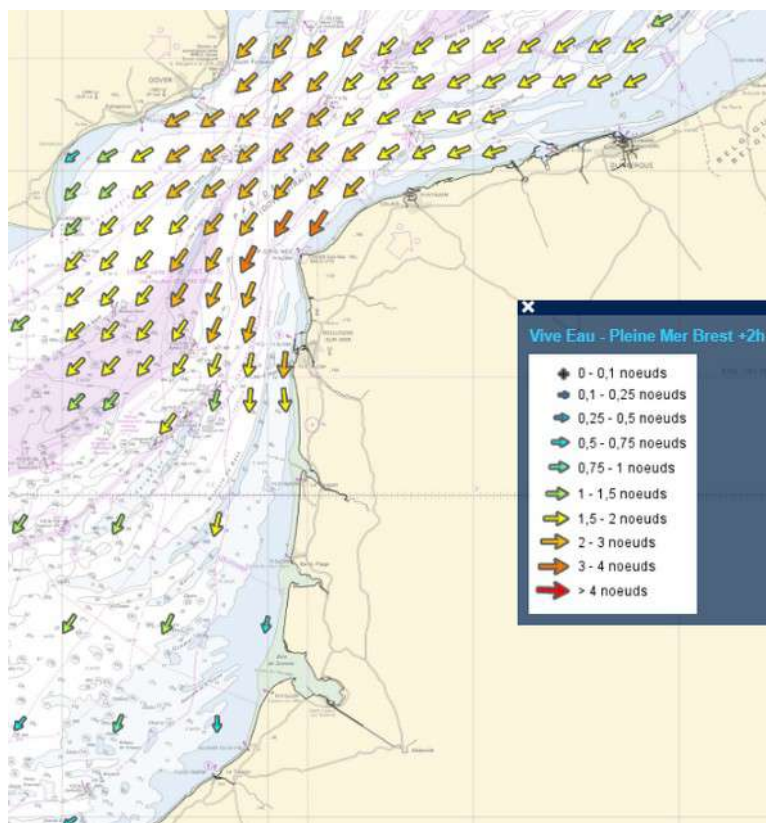


Figure 8 : Champ de vitesse des courants de marée au jusant (source : data.shom.fr)

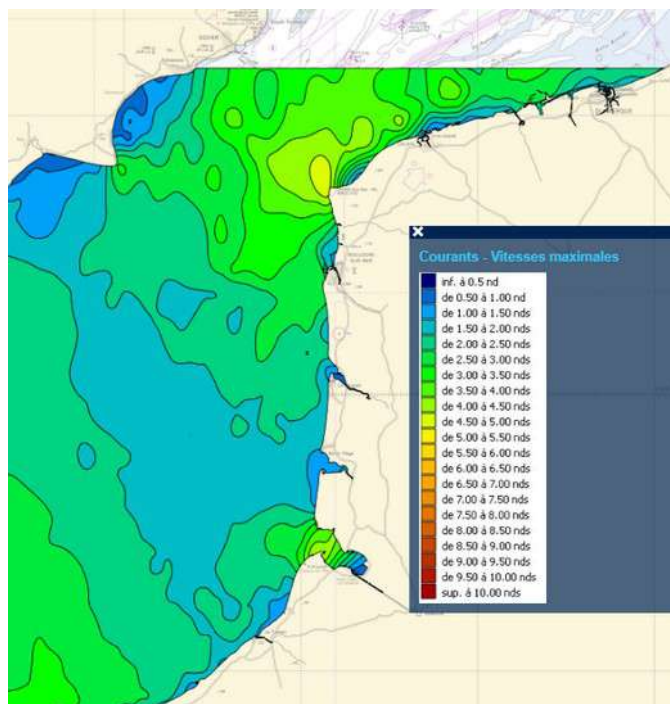


Figure 9 : Vitesse maximum des courants de marée (source : data.shom.fr)

Le transport de sédiment par les courants de marée est moindre en zone intertidale, l'intensité du courant étant moindre qu'au large. Le transport lié aux houles va alors dominer en zone de faible profondeur (Figure 10).

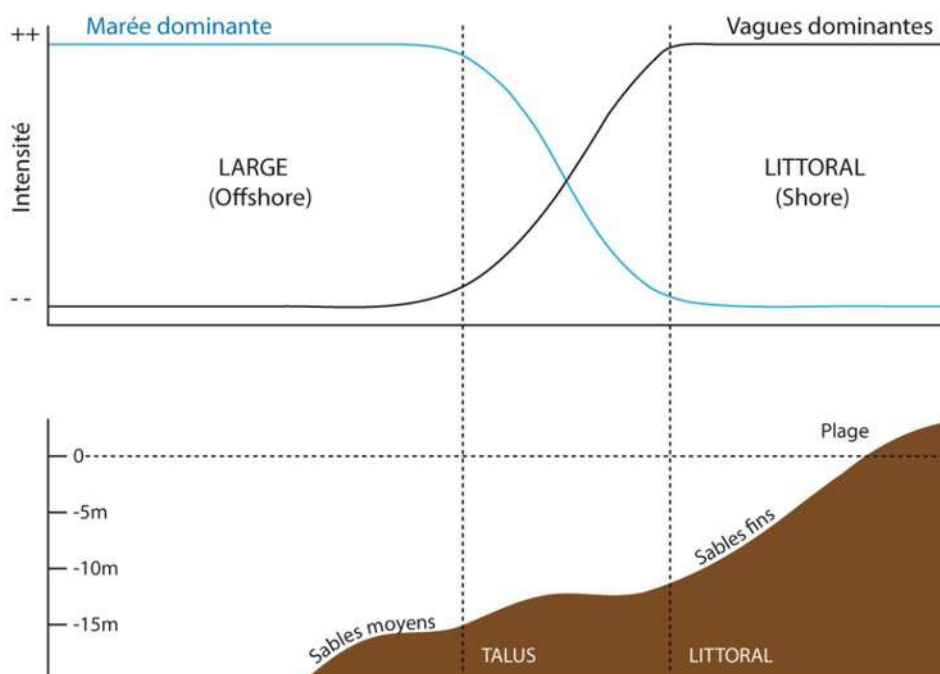


Figure 10 : Evolution relative de l'intensité des courants de marée et des vagues du large vers la côte (source : Augris et al., 1990)

Globalement sur la zone d'étude, le transport sédimentaire résultant à la côte est orienté du sud-ouest vers le nord-est. Des inversions locales de cette dérive peuvent toutefois être présentes, notamment au sud du Cap Gris-Nez (CEREMA, 2017).

- Cas particulier des estuaires

Les formations sédimentaires au niveau des baies, sont dictées par le sens de dérive sur le secteur. Comme vu précédemment, dans la zone intertidale, le transport lié à l'obliquité de la houle est prédominant par rapport aux courants de marée aux abords immédiats des baies. Cela explique la formation de flèches sableuses qui vont progresser dans le sens de la dérive littorale. Il existe toutefois une interdépendance avec les courants de remplissages et de vidanges importants qui peuvent exister. Leur direction et leur intensité sont dictées par la forme des flèches sableuses, mais également par leur capacité à remettre en suspension les sédiments et ainsi à creuser un chenal. Ainsi, une flèche fortement développée va entraîner des vitesses importantes au niveau du musoir (rive opposée à la flèche) entraînant une érosion importante.

Il faut toutefois noter que des cycles d'avancée de la flèche sableuse puis de rupture avec engraissement du musoir peuvent exister. Ce phénomène a pu être clairement observé sur un autre site d'étude par interprétation de photographie satellite (Figure 11). La flèche sableuse après une forte avancée associée une forte érosion du musoir c'est séparé pour donner naissance à un banc de sable indépendant qui est venu engraisser le musoir. La durée des cycles de construction / séparation dépend des conditions hydrodynamiques et des flux de sédiments. Bien que n'étant pas local, cet exemple illustre parfaitement le phénomène.



Figure 11 : Havre de Saint-Germain en 2005, 2007 et 2015 (source : Google Earth)

#### ➤ Impact des ouvrages transversaux

Les ouvrages transversaux peuvent avoir plusieurs fonctions initiales. Il peut s'agir d'un ouvrage de défense contre l'érosion, un épi, mais aussi d'un aménagement portuaire tel qu'une jetée, voire d'une cale (pour accéder à la mer) ou d'aménagements hydrauliques, tels que des exutoires (s'ils ne sont pas totalement enfouis). Dans le cas d'ouvrage de protection du trait de côte, ils ont pour but d'arrêter, au moins partiellement, le transport sédimentaire et sont généralement mis en œuvre lorsque la dérive littorale est responsable d'un transport sédimentaire parallèlement à la côte.

Il existe de nombreux types d'épis, qui se distinguent, soit d'après leurs caractéristiques fonctionnelles (épis courts, épis longs, épis perméables...), soit d'après leurs matériaux (enrochements, maçonnerie et béton, béton armé, palplanches métalliques, bois, pieux, géotextiles...) ou encore leur forme (droit, en L, en T).

Les épis ont pour but de réduire, voire d'interrompre, le transit littoral. Leur présence, en bloquant le transit sédimentaire, provoque donc une zone d'accrétion en amont dérive et à l'inverse, provoque une zone d'érosion en aval dérive par déficit sédimentaire (Figure 12). L'utilisation de plusieurs épis successifs permet de cloisonner le littoral en évitant le départ des sédiments en aval dérive. Dans le



cas d'une direction de transit dominant, la ligne de rivage qui s'établit à l'amont de l'épi est oblique par rapport au trait de côte initial. Lorsqu'il n'y a pas de sens de transit prédominant, la ligne de rivage tend à se disposer en un arc de cercle symétrique. L'installation d'un épi isolé sur un site déplace souvent vers l'aval dérive les problèmes d'érosion, on a donc souvent recours à plusieurs épis installés en batterie. Ces batteries d'épis peuvent permettre de ralentir le recul du trait de côte dans la zone aménagée.

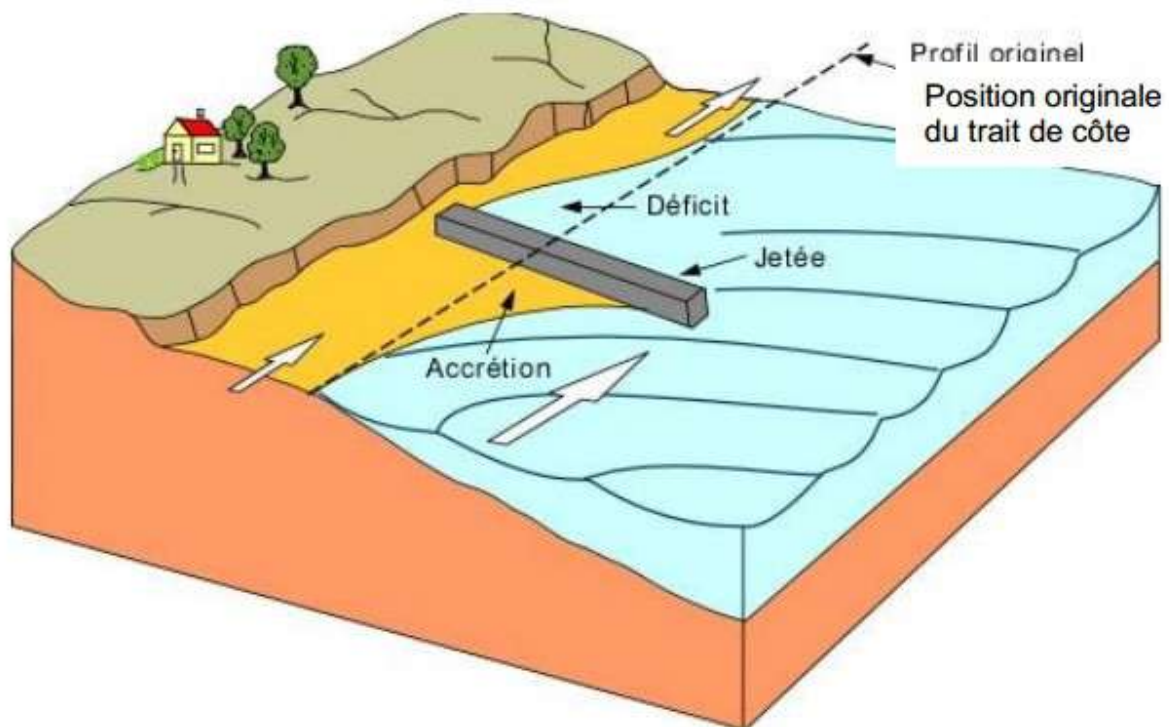


Figure 12 : Evolution du trait de côte suite à l'installation d'une jetée (la flèche blanche en mer représente la dérive littorale ; source : P.-A. Bourque sur <http://www2.ggl.ulaval.ca>)

Les épis modifient aussi les courants cross-shore (perpendiculairement à la côte). En effet, l'eau qui est apportée à la côte par les vagues, est piégée dans les alvéoles créées par les épis. Elle ne peut alors retourner au large qu'en créant des cellules de circulation et des courants dits sagittaux (Figure 13). Ces cellules de circulation et courants sagittaux peuvent transporter du sable du haut de plage vers le large et avoir un effet érosif.

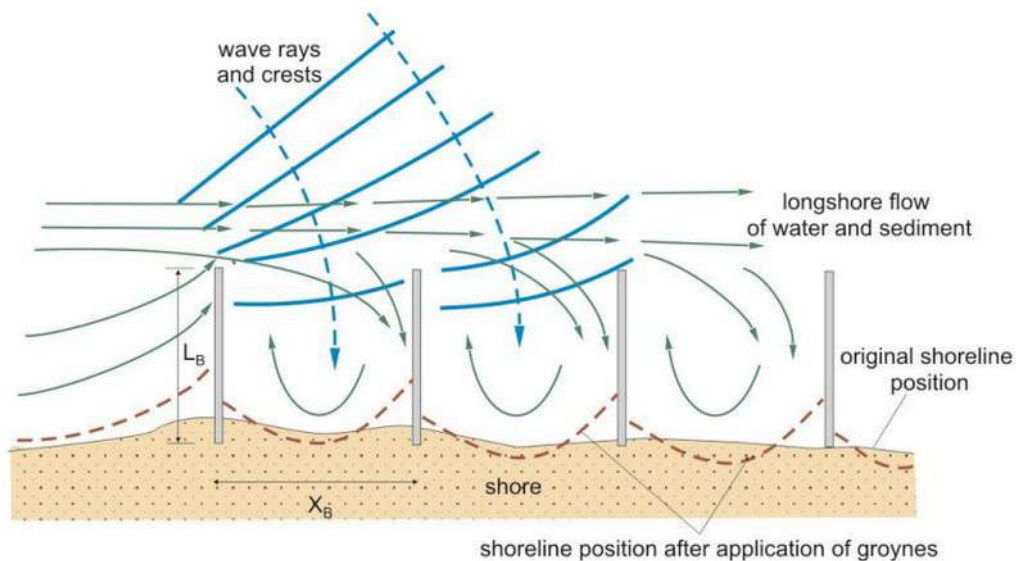


Figure 13 : Exemple d'interactions entre des épis, les vagues (lignes de crête en bleu), les courants (lignes vertes) et le trait de côte (source : P. Zbigniew sur [www.coastalwiki.org](http://www.coastalwiki.org))

➤ Impact des ouvrages longitudinaux

Ce type d'ouvrage est disposé, en ligne, parallèlement à la côte sur la limite haute de l'estran et généralement enfoui sur une grande partie de sa hauteur. Lorsqu'il est placé contre le pied de dune, il la protège des actions de la mer, en s'opposant aux attaques frontales des vagues et des courants. Il fixe le trait de côte.

Ces ouvrages peuvent aussi être de simples murs séparant la plage et la ville sans changement de topographie. Si les niveaux entre la plage et l'arrière-plage sont différents, on parle alors de perré.

Ces ouvrages peuvent être constitués de différents matériaux : en maçonnerie, en bétons, en enrochements (naturels ou blocs artificiels), voire en gabions, en rideaux de palplanches en bois ou en géotextiles...

De façon générale, les ouvrages longitudinaux, qui présentent une paroi quasi verticale ou très fortement inclinée, ont tendance à augmenter la réflexion de la houle. En se réfléchissant, la houle crée un clapotis qui augmente le niveau d'agitation et l'intensité des courants qui circulent au pied de la zone artificialisée, accentuant ainsi le phénomène d'érosion (affouillement au pied de l'ouvrage).

Pour les plages sableuses, ce type d'ouvrage a pour conséquence d'entraîner une érosion, un abaissement du profil de plage et une diminution de sa largeur. Ces phénomènes sont provoqués par les effets de réflexion des vagues et de clapots à leur pied (B, Paskoff, 1993).

Dans certaines situations, ce type d'ouvrage peut aussi aggraver les tendances naturelles de recul du trait de côte dans les zones adjacentes non protégées. Pour une côte présentant une dérive littorale nette et relativement importante, l'érosion naturelle à l'amont de l'ouvrage continuera sans réduction, tandis qu'à l'aval le recul du trait de côte pourra être accentué par la présence de l'aménagement (Figure 14), entraînant une configuration de la côte dissymétrique de part et d'autre de celui-ci.

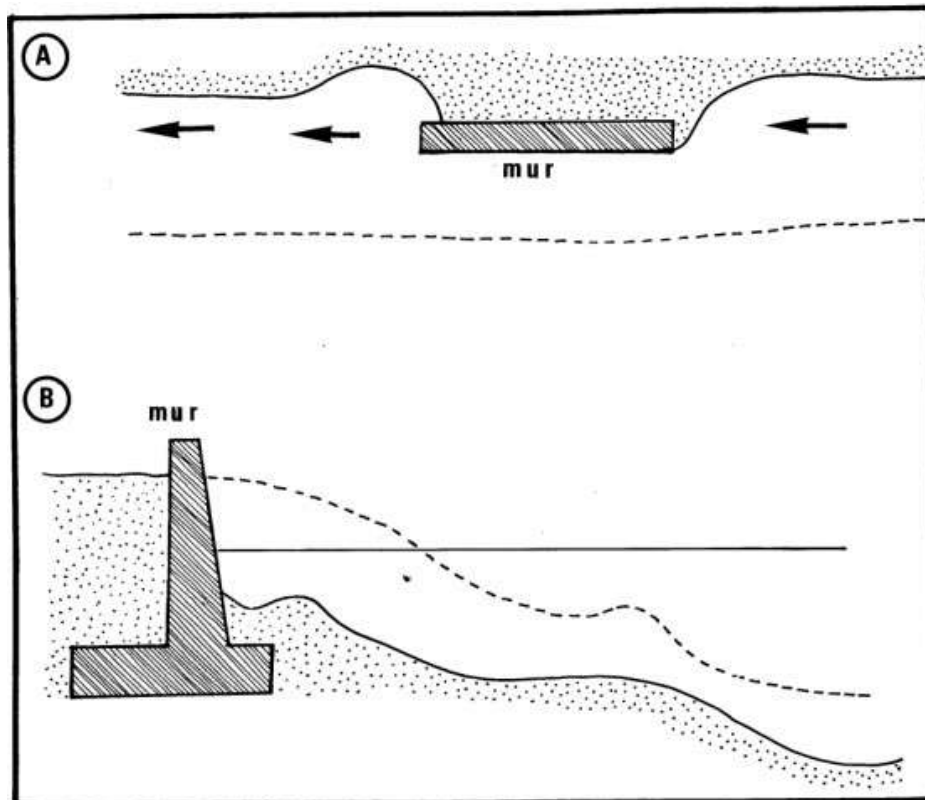


Figure 14 : Effets d'un mur de protection sur une plage (les flèches symbolisent la dérive littorale et le trait en pointillé la position du trait de côte avant installation de l'ouvrage ; Paskoff, 1993)

## 4. Généralités concernant l'aléa érosion

### 4.1. Présentation générale de l'aléa érosion

Le phénomène d'érosion d'une côte naturelle, interface du domaine maritime et continental, est la perte définitive de matériaux constitutifs de cette côte (sédiment ou roche) sous l'effet de l'assaut des sollicitations hydrauliques marines, mais également des conditions climatiques terrestres (pluie, vent, etc.). Il peut être accéléré par les actions directes de l'homme : surfréquentation d'un site, aménagements et ouvrages de protection du littoral, etc.).

L'érosion est le phénomène qui entraîne :

- Un abaissement du haut de l'estran, que ce soit une plage de sable ou de galets ou un platier rocheux ;
- Un recul du trait de côte vers l'intérieur des terres. Ce trait de côte est marqué par le pied du cordon dunaire végétalisé ou la limite haute de l'estran pour les côtes basses meubles, ou la bordure des falaises (ligne de crête ou pied).

Pour les côtes meubles uniquement, ce phénomène d'érosion est à différencier impérativement de la mobilité naturelle du trait de côte. Cette mobilité est marquée par l'évolution de la morphologie des estrans et cordons dunaires. Elle se traduit par des successions de pertes et de gains de matériaux sur des cycles saisonniers ou plus longs.

Les falaises en front de mer sont quant à elles en constante évolution morphologique, car directement soumises à des phénomènes d'érosion engendrés par les sollicitations maritimes de leur pied (houles, courants), mais également par les conditions climatiques (pluie, gel/dégel, vent) et les infiltrations d'eau en générale (y compris les eaux usées des zones urbanisées). Le platier rocheux et les plages en pied de falaises les protègent des assauts de la mer. Cette érosion se traduit par des chutes de blocs (fréquents, mais rarement remarquables) et des éboulements/écroulements ponctuels, plus spectaculaires, mais beaucoup plus rares, et dont les traces sont visibles sur la falaise (absence de végétation sur la falaise au droit de la zone éboulée) et sur l'estran (éboulis).

**L'érosion dont l'aléa doit être déterminé ici est donc une tendance à la modification irréversible, sans action de l'homme pour y remédier, de la morphologie du trait de côte. Ce phénomène est une tendance longue dans le temps (généralement sur plusieurs décennies), dont la quantification doit intégrer les mobilités cycliques. Enfin, une part de l'érosion peut se produire de manière ponctuelle à la suite d'un événement brutal ou ponctuel.**

La détermination de cet aléa nécessite :

- La connaissance de l'évolution dans un temps le plus long possible des positions du trait de côte, et de l'altimétrie du haut de plage. L'objectif étant de déterminer des évolutions moyennes dans le passé.

Deux outils principaux sont principalement utilisés pour connaître l'évolution de la position du trait de côte : les photographies aériennes et, plus récemment, les levés topographiques. Les données disponibles permettent généralement d'avoir plus de 50 années d'observation de la variation de la position du trait de côte.

Pour l'évolution altimétrique du haut de plage, les levés topographiques sont utilisés.

Des observations visuelles peuvent être utilisées, mais avec un degré de précision moindre.

- La connaissance des événements tempétueux ou ponctuels historiques et de leurs conséquences sur la côte. La quantification des effets de tels événements est soit réalisée par des levés, mais le plus souvent par de simples observations visuelles effectuées lors de visites post-événement ;
- De manière générale, une connaissance du fonctionnement du littoral, et particulièrement des mouvements sédimentaires le long des côtes intégrant le rôle des ouvrages aménagés et des actions anthropiques diverses.

L'aléa érosion consiste à projeter dans le futur les tendances érosives observées dans le passé et liées à un événement tempétueux ou ponctuel, en tenant compte d'une analyse d'experts sur le fonctionnement du littoral ayant en particulier pour objet de déterminer :

- La possibilité de considérer qu'une évolution moyenne déterminée dans le temps passé sera linéaire dans le futur ;
- La manière d'intégrer l'événement tempétueux ou ponctuel, qui peut provoquer un recul brutal, dans une projection à long terme (sachant que des événements sont déjà forcément intégrés dans les évolutions moyennes déterminées) ;
- La pertinence, la possibilité et la manière de prendre en compte les effets du changement climatique.

Il faut avoir pleinement conscience que la détermination de cet aléa est entachée de nombreuses et diverses imprécisions et incertitudes, qui peuvent être liées notamment :

- A la précision des photographies, levés ou observations visuelles permettant de quantifier les évolutions passées et les événements exceptionnels ;
- Aux diverses définitions d'un trait de côte naturel (pied de cordon dunaire, rupture de pente significative, limite de la végétation, lasses des plus hautes-mers, etc.), et à l'imprécision de son positionnement inhérente au type de définition retenu ;
- A la méthode de projection retenue des tendances érosives passées ;
- Pour les effets des événements tempétueux, à la précision de la connaissance de l'état de référence « avant tempête » ;
- A la quantification d'un phénomène dont aucune composante n'est complètement prédictive. Ainsi, notamment, la survenance d'un événement tempétueux exceptionnel non vécu dans le passé peut bouleverser les projections ;

**Ainsi, la détermination de l'aléa érosion doit normalement intégrer ces incertitudes, qui auront été évaluées en fonction de la nature et de la précision des données sources.**

## 4.2. Cas des plages sableuses

Le littoral de la zone d'étude est en partie composé d'une côte basse sableuse à cordon dunaire. L'évolution morphologique du trait de côte est fortement liée au **bilan sédimentaire local du système plage-dune** (Anthony et al., 2006; Chaverot et al., 2008), qui est soumis à l'action des forçages météo-marins (houle, marée, courants, vent), mais également **aux stocks sédimentaires dans les petits fonds** (Battiau-Queney et al., 2003 ; Héquette et Aernouts, 2010).

D'autres facteurs comme les **actions anthropiques directes** interviennent dans cette évolution (protections dures ou souples du trait de côte, ouvrages portuaires, rechargements en sable, etc.).

Ces différents facteurs d'évolution à prendre en compte, et en particulier la notion de stock sédimentaire, entraînent une variabilité de la dynamique du trait de côte qui peut être en recul, parfois très prononcé, stable ou en accrétion.

La morphologie particulière des plages sableuses de ce littoral est directement liée au fort marnage (macrotidal) et au régime de vagues plutôt formées par le vent et limitées par la faible profondeur de la Manche et de la Mer du Nord. Elles sont caractérisées par de **larges estrans à faible pente** et à la morphologie marquée par la présence alternée de barres sableuses et de dépression. Ce système, est appelé **barres-bâches**.

Les houles et les courants de marée sont les deux agents majeurs régissant les mouvements sédimentaires sur le littoral de la façade maritime Nord. Les bancs sableux traduisent une circulation hydrodynamique caractéristique des mers dominées par les courants de marée. La formation et l'équilibre des bancs sableux dépendent de la capacité des courants marins à mobiliser des sédiments et de la présence d'un stock sédimentaire important.

Sur l'estran découvert, les barres sableuses sont centrées autour du niveau moyen de la mer (*Masselink et Anthony, 2001*), dans la zone de déferlement et de dissipation des vagues. La dynamique de ce système est liée au processus de déferlement (surf) et de jet de rive (swash). Ces différents processus génèrent des flux sédimentaires qui peuvent provoquer la migration des barres intertidales (*Cartier, 2011; Cartier et Héquette, 2013*). La **dynamique éolienne** peut être également un agent de transport important sur ces larges estrans découverts à marée basse (*Vanhee et al., 2002; Ruz et Meur-Ferec, 2004; Anthony et al., 2006; Tresca, 2013*).



Figure 15 : Photographie du système barres-bâches à Zuydcoote, à l'Est de Dunkerque (source : CRAPOULET A.)

De manière générale, l'évolution du profil type à barres et bâches est de **type saisonnier**, avec :

- Une tendance à l'aplanissement du profil et une perte sédimentaire observée en hiver (conditions énergétiques plus élevées). Cette tendance peut conduire à l'arasement des barres en tempêtes ;
- En saison estivale, marquée par une faible agitation, un développement du système barre-bâches avec une accrétion et un transport sédimentaire du bas vers le haut de plage (*Sipka, 1998*).

**Il est évident que les effets du changement climatique que sont l'augmentation du niveau de la mer et la survenance d'évènements météo-marins extrêmes plus fréquents et potentiellement plus violents ont et auront un impact sur l'évolution du trait de côte.**

Pour les côtes sableuses à cordons dunaires dont le trait de côte n'est pas fixé par des ouvrages anthropiques, il est nécessaire de connaître et d'anticiper les évolutions probables de la plage et des

cordons dunaires, en particulier sur les sites où ces derniers protègent d'une submersion marine. *In fine*, le recul ou l'érosion d'un cordon dunaire peut en effet entraîner la submersion des zones protégées en arrière. Il est ici fait le lien entre l'aléa érosion et l'aléa submersion.

La thèse de CRAPOULET A. de 2015 est l'étude la plus complète sur l'évolution de ces côtes sur le littoral de la Côte d'Opale. Ces résultats sont donc valorisés dans la présente étude.

Dans cette thèse sont développés :

- L'étude de la mobilité du trait de côte par l'utilisation :
  - De photographies aériennes de 1963 à 2009 : 1963/1965, 1983, 2000, 2005 et 2009. **Le positionnement du trait de côte est déterminé à l'aide du pied de cordon dunaire ou, à défaut, de la limite de végétation, avec une précision estimée à  $\pm 6\text{m}$ . Les traits de côte ainsi positionnés sont disponibles en format SIG ;**
  - De levés LIDAR de 2008 à 2014 : mai 2008 (complété en mars 2009) avec précision altimétrique de  $\pm 10\text{cm}$ , et mars et septembre 2011, novembre 2012 et décembre 2013/janvier 2014 avec une précision altimétrique de  $\pm 7$  à  $9\text{cm}$ . **Le trait de côte choisi sur les levés LIDAR correspond à la 1<sup>re</sup> isoligne de variation de gradient de pente au niveau du resserrement qui marque la transition entre le haut de plage et la dune.** Des levés de terrain au DGPS ont été réalisés en complément. Ils ont permis de valider la méthode de positionnement du trait de côte à l'aide du LIDAR, et d'en estimer la précision à  $\pm 1,5\text{m}$  ;

Les évolutions du trait de côte entre deux levés ont été réalisées sur des transects espacés de 50 m.

- Le bilan des variations des volumes de sédiments sur les plages et cordons dunaires de 2008 à 2014, déterminées à partir de modèles numériques de terrain (MNT) construits avec levés LIDAR. Ces variations ont été mesurées entre deux MNT pour trois compartiments :
  - La dune bordière, délimitée par le trait de côte déterminé grâce au levé LIDAR et la limite arrière de la dune marquée par la densification de la végétation de type argousier déterminée à partir de la photographie aérienne de 2009 ;
  - Le haut de plage, délimité par le trait de côte et l'intersection du niveau moyen des PM avec l'estran ;
  - L'estran moyen, à partir du niveau moyen des PM jusqu'à la limite des données.

Pour le calcul des variations entre deux levés, c'est la définition du compartimentage du levé le plus ancien qui a été retenu. Un calcul a été réalisé entre mai 2008 et décembre 2013/janvier 2014, avec une précision de  $\pm 0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2$ .



Figure 16 : Définitions des compartiments plage (estran moyen/haut de plage et dune) suivis dans la thèse de CRAPOULET A.

Une des conclusions générales importantes de la thèse d'Adrien Crapoulet est que le recul ou la stabilité du trait de côte sur le littoral du Nord Pas-de-Calais semble être fortement lié au volume de

sable sur le haut de plage, c'est-à-dire le volume de sable de la plage au-dessus du niveau moyen de pleine-mer.

Ainsi, pour 15 sites du littoral, il est associé dans cette thèse le volume initial de haut de plage de mai 2008 avec le bilan sédimentaire du cordon dunaire entre mai 2008 et décembre 2013/janvier 2014. Les résultats montrent qu'au-dessus d'un volume de haut de plage de  $15\text{m}^3/\text{ml}$ , le bilan sédimentaire de la dune est positif. Toutes les dunes présentant une perte en sédiments sont situées en baie de Wissant et sont associées à une plage très étroite avec un volume de plage moyen inférieur ou égal à  $5\text{m}^3/\text{ml}$ .

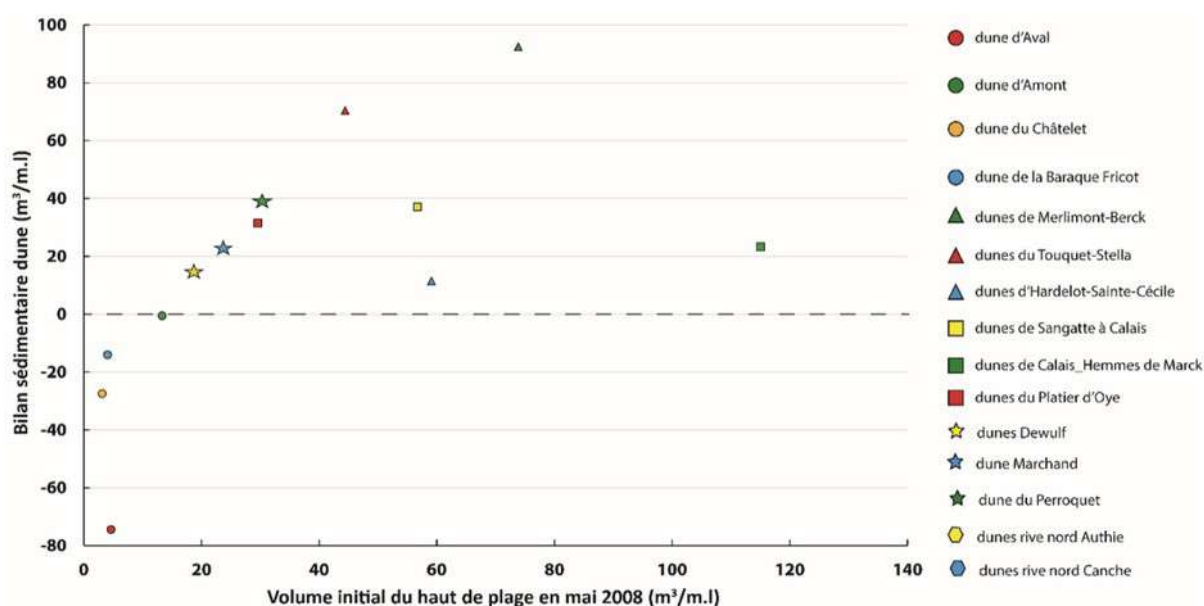


Figure 17 : Relation entre volume de haut de plage et bilan sédimentaire des cordons dunaires sur le littoral du Nord-Pas de Calais (source : CRAPOULET A.)

Les conditions variables de transport du sable du haut de plage vers les dunes expliquent qu'avec des volumes de haut de plage plus élevés, certaines d'entre-elles peuvent présenter un gain en sable moins important. Ainsi, de 2008 à 2013, les dunes du Touquet ont accumulé plus de sable que celles d'Hardelot et de Sangatte du fait d'une meilleure exposition aux vents dominants de Sud-Ouest que celles de Sangatte, et d'un haut de plage plus sec que celles d'Hardelot (résurgences de la nappe phréatique dans ce secteur).

Les hauts de plage plus larges et moins raides présentent de manière générale une meilleure protection des dunes associées, en particulier en période de tempêtes érosives. La thèse d'A.Crapoulet met en avant le rôle tampon vis-à-vis des vagues de ces hauts de plage, ainsi que la possibilité d'y voir se former des dunes embryonnaires devenant une nouvelle dune bordière ou jouant le rôle de fusible pendant les tempêtes.

D'après les études sur ce type de côte sableuse à cordons dunaires, les secteurs de faible largeur de plage présentent une forte variabilité temporelle entre phénomènes d'érosion et d'accrétion, tandis que les secteurs de plus forte largeur sont plus stables avec une érosion de la dune moins fréquente ou moins forte en tempête avec de hauts niveaux d'eau.

**La thèse de Crapoulet A. conclut sur le fait que cela se vérifie sur le Nord Pas-de-Calais et que, pour ce littoral :**

- Le volume du haut de plage est un paramètre plus important que la hauteur de la dune pour déterminer la capacité de cette dernière à résister à l'érosion ;



- Un seuil peut être déterminé par site en termes de volume de haut de plage pour dire si le trait de côte est stable ou en avancée, et ce malgré la survenance d'évènements tempétueux avec des niveaux d'eau de période de retour supérieurs à 10 ans.

### 4.3. Méthode des PPRL

La méthode des Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) pour la détermination de l'aléa érosion est celle décrite dans le guide méthodologique établi en mai 2014 par le Service des Risques Naturels et Hydrauliques de la DGPR (Direction Générale de la Prévention des Risques). Ce guide a remplacé celui produit en 1997 avec pour différences majeures la manière de prendre en compte les ouvrages de protection, et la prise en compte des effets du changement climatique.

Dans la démarche PPRL, la caractérisation des aléas littoraux est précédée d'une analyse du fonctionnement du littoral essentiellement basée sur une analyse du fonctionnement hydro-morphosédimentaire du secteur d'étude et une approche historique.

#### 4.3.1. Détermination de l'aléa érosion

Concernant l'aléa érosion, la démarche d'un PPRL consiste à déterminer un **aléa de référence à 100 ans** qui peut concerner un trait de côte artificialisé ou un trait de côte naturel (falaise ou côte meuble) faisant ou non l'objet de protections.

La caractérisation de l'aléa de référence est basée sur :

- La détermination d'un taux moyen de recul du trait de côte,  $T_x$ , en mètres par an appliqué sur 100 ans (en faisant l'hypothèse de la linéarité du recul dans le temps). Ce taux est souvent calculé sur la base d'une analyse diachronique statistique des positions du trait de côte (ou position des lignes de crête pour les falaises). Il est utilisé pour la projection du trait de côte à l'échéance 100 ans. L'outil MobiTC développé par le CETE est souvent utilisé ;
- La détermination d'un recul brutal au cours d'un évènement tempétueux,  $L_{max}$ , en mètres.

**Le recul du trait de côte, R, estimé et cartographié pour l'aléa de référence 100 ans est donc calculé de la manière suivante :**

$$R = 100 T_x \text{ (évolution moyenne) } + L_{max} \text{ (recul brutal en tempête).}$$

Au-delà de cette formulation simplifiée, il est recommandé dans la méthode PPRL :

- De prendre en compte les incertitudes évaluées : recul forfaitaire supplémentaire ou choix de la borne supérieure de l'intervalle de confiance de la projection ; par exemple ;
- De prendre en compte l'analyse du fonctionnement du littoral, et en particulier des ouvrages de protection du trait de côte et des actions anthropiques récentes et à venir, dans l'application du taux de recul calculé dans l'évolution moyenne projetée. **Le guide indique ainsi que le taux de recul  $T_x$  peut être modulé en fonction de cette analyse.**

**Cet aléa érosion est systématiquement qualifié de « fort », car le phénomène est irréversible.**

#### 4.3.2. Particularités des côtes basses meubles

Concernant les ouvrages de protection, le guide méthodologique de 2014 indique qu'il est nécessaire de prendre en compte leur rôle dans la durée, et qu'une fixation apparente actuelle du trait de côte sur un secteur donné (urbanisé le plus souvent) peut être considérée « définitive » ou « temporaire » en fonction notamment de la pérennité de l'ouvrage et/ou du comportement des secteurs adjacents. Ainsi, le guide recommande de considérer le recul pour un secteur donné de côte meuble fixé par des ouvrages de protection de la façon indiquée par le tableau en page suivante.

L'estimation du recul au cours d'un évènement tempétueux,  $L_{max}$ , est basée sur des indicateurs associés au haut de plage comme le pied du cordon dunaire par exemple. Le guide PPRL rappelle les méthodes d'estimation les plus courantes qui sont basées sur des observations de terrain, des formules empiriques permettant de donner le profil de la dune et du haut de plage après l'évènement, ou encore des modèles numériques.

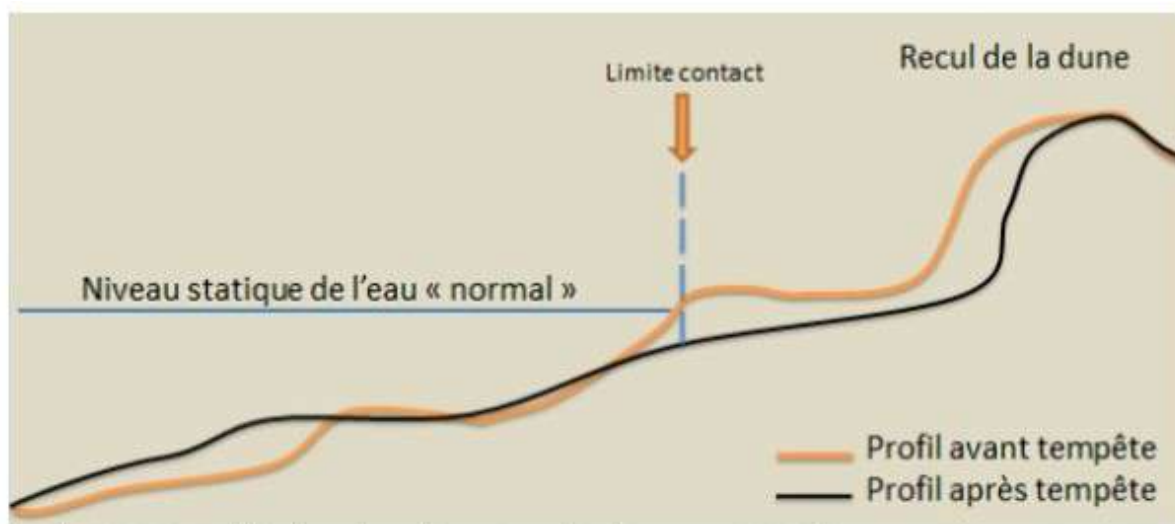


Figure 18 : Schématisation du recul d'une dune au cours d'une tempête (source : BRGM)

La détermination de l'impact du changement climatique sur le recul n'a pas un caractère obligatoire, puisqu'il n'existe pas à ce jour de méthode unique adaptée pour le déterminer. Le guide mentionne la méthode de Bruun en première approche pour évaluer l'ordre de grandeur de ces effets. Si les effets sont prévisibles et quantifiables, il convient d'en tenir compte.

Tableau 2 : Estimation du recul sur un secteur de côte meuble fixé par des ouvrages de protection selon le guide PPRL de 2014

Présence ouvrage longitudinal en contact direct avec la mer à marée haute (pas de plage « aérienne ») ?	Evolution côte des zones adjacentes indépendante de celles du secteur considéré et négligeable ?	Autres conditions		Recul appliqué sur le secteur protégé
		Pérennité de l'ouvrage longitudinal remise en cause par un abaissement du haut de plage ?		
OUI : cas1. L'ouvrage longitudinal se substitue au trait de côte	OUI (ex : caps rocheux encadrant une côte basse meuble protégée)	OUI		Recul à 100 ans à dire d'expert + $L_{max}$
		NON		$L_{max}$ (défaillance possible de l'ouvrage) = 20 m par défaut
	NON	--		100Tx + $L_{max}$ sur chaque secteur adjacent et alignement du trait de côte sur secteur protégé

NON : cas 2. Ouvrages de fixation et plage aérienne coexistent pour définir le trait de côte (vrai sur toute la période d'observation historique)	-- --	L'estimation du recul avec Tx sur période d'existence des ouvrages conduit à une disparition de la plage ?	OUI NON	<b>Idem cas 1</b> <b>100Tx +Lmax,</b> <b>avec Tx sur période</b> <b>d'existence des</b> <b>ouvrages (si ces</b> <b>derniers toujours</b> <b>efficaces à 100 ans)</b>
---	----------	--	------------	--

### 4.3.3. Particularités des côtes à falaises

Le calcul du taux moyen annuel d'évolution peut également être calculé par tronçon au comportement homogène à l'aide des surfaces érodées entre deux traits de côte à deux dates les plus éloignées possible :

$$Tx = \frac{S}{C \cdot A}$$

Avec :

*S* : surface érodée entre deux traits de côtes

*C* : linéaire de côte du secteur de comportement homogène

*A* : nombre d'années entre deux levés

Cette méthode simple, et dite « traditionnelle », présente l'avantage de donner une estimation de Tx en prenant en compte l'ensemble du linéaire, mais elle n'intégrera pas toutefois les éventuelles variations temporelles du recul (accélération ou ralentissement). Elle semble plus adaptée lorsque l'évolution se fait par des événements très locaux.

Dans les zones qui ont été urbanisées, le guide indique qu'il convient de vérifier l'impact potentiel de cette urbanisation sur le taux de recul moyen (avec un temps de réponse potentiellement variable).

Concernant les ouvrages de protection en pied de falaises, le guide indique qu'ils ne doivent pas être pris en compte.

Pour les côtes à falaises, la valeur de Lmax est caractéristique de la géologie (lithologie, stratigraphie, structure, fracturations...) et des interactions avec l'eau présente ou circulant dans le massif et la mer en pied de falaise. Le recul de type effondrement/éboulement ou glissement peut être déterminé à partir de l'analyse des reculs historiques, des caractéristiques géologiques des falaises ou d'études géotechniques.

Elle est déterminée sur la base d'une étude historique des événements les plus importants connus, mais également du fonctionnement de la falaise et de sa configuration.

### 4.3.4. Outil MobiTC

MobiTC est un outil informatique développé par le CETE Méditerranée en 2011-2012 permettant d'effectuer une analyse diachronique en intégrant l'ensemble des traits de côte disponibles. L'avantage est de prendre en compte l'ensemble des données disponibles et ainsi d'identifier les éventuels cycles d'érosion (alternance de périodes plus ou moins érosives).

Le principe de la méthode est de déterminer, à des intervalles réguliers le long de la côte (200 m par ex.), la distance entre chaque trait de côte et une ligne de base arbitraire servant de référence. Ces distances, ainsi repérées, sont reportées dans un graphique en fonction des différentes dates (1 graphique tous les 200 m). Une analyse statistique (régression linéaire) est alors effectuée ; la pente

de la droite représente le taux moyen de recul annuel. Cette méthode permet, en prolongeant la droite, d'estimer la position du trait de côte à l'échéance 100 ans.



Etape 1 :

Digitalisation des différents traits de côte disponibles à partir des photos aériennes de l'IGN

- 1947
- 1952
- 1977
- 2000
- 2011



Etape 2 :

Constitution :  
1 - de l'enveloppe et de la ligne de base à partir des traits de côte  
2 - des transects à un pas de distance donné

- Enveloppe des différents traits de côte
- Ligne de base
- Transects tous les 200 m

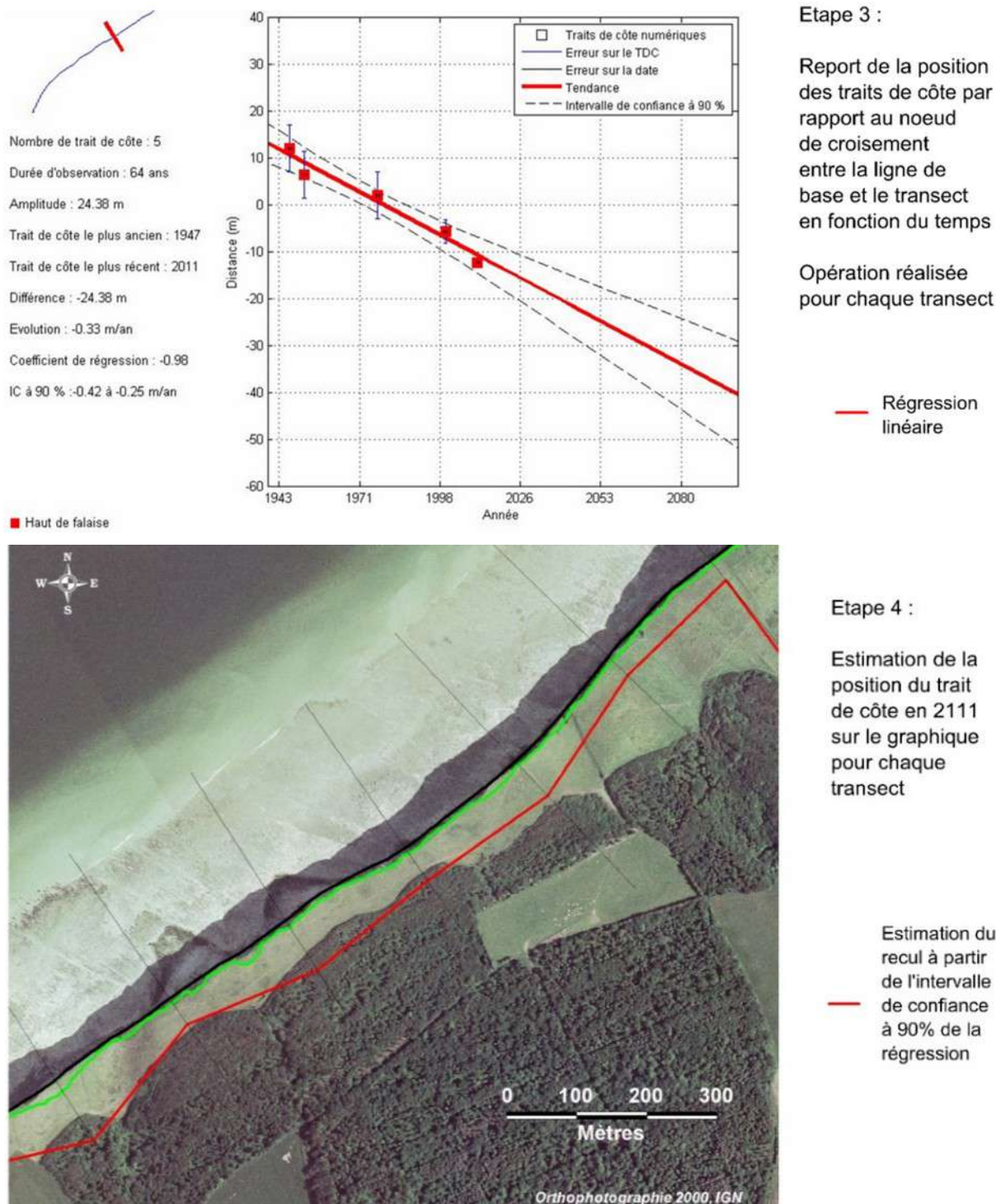


Figure 19 : Principe simplifié de l'analyse diachronique avec MobiTC pour les falaises de Mers-les-Bains (source : CETE Nord Picardie)

Tableau 3 : Méthodologie utilisée par DHI pour l'érosion (source : DHI)

Elément (hypothèse/donnée)		Précisions sur l'élément
Données utilisées	Photographies aériennes orthorectifiées (1930) et géo référencées/rectifiées (2000/2006)	1930/1932, 2000 et 2006
	Donnée CETE	1947
	Images satellite	1966, 1984, 1995
Nature du trait de côte		Limite de la végétation
Dernier trait de côte utilisé pour l'origine de la projection		2006
Méthode de calcul du taux moyen annuel, Tx		Cartographie position des TdC 1930 et 2006 et détermination des directions d'évolution pour des points pivots => <b>taux annuel entre 1930 et 2006 projetés à 100 ans.</b> <b>Approches géomorphologiques dans les estuaires de l'Authie et de la Canche pour projection à 100 ans</b>
Estimation du recul maximal dû à un événement majeur ou brutal, Lmax		Non définie
Conséquences du changement climatique, LCC		Recul forfaitaire de 6 à 9 m à 2100 pour 28 à 43 cm d'élévation du niveau d'eau sur tous les sites

#### 4.1. Conclusion concernant l'aléa érosion

Au regard des données disponibles et des analyses menées, il ressort qu'il n'existe pas actuellement de donnée concernant l'érosion homogène sur le territoire et exploitable dans cette étude. Une analyse complète de l'aléa érosion doit donc être menée (voir chapitre 8.3).

## 5. Généralités concernant l'aléa submersion

### 5.1. Présentation générale de l'aléa submersion

Le niveau d'eau marin à un instant t est composé :

Au large :

- Du niveau de la marée astronomique, seule composante entièrement prédictive ;
- De la surcote (ou décote) atmosphérique au large, essentiellement générée par le passage des dépressions (ou anticyclones) ;
- D'une élévation liée aux effets du changement climatique, en fonction de l'horizon de temporel considéré.

A la côte : des composantes au large et

- de la surcote de vent, engendrées par des vents de la mer vers la terre provoquant une accumulation d'eau. Cette surcote est modérée le long des côtes, mais plus forte dans les estuaires (Etude Artélia sur cette surcote de vent : 1 m à Rouen par rapport au Havre en janvier 1990, 0,75 m à Bordeaux par rapport au large en décembre 1999) ;
- Le cas échéant, d'une surcote due à un effet local lié à la configuration particulière du littoral. Cela peut être le cas dans les baies notamment ;
- De la surcote de déferlement de la houle à la côte, ou set-up, cette houle dépendant de la houle au large et de sa propagation sur le littoral. Le set-up dépend de la période des vagues au large, de la hauteur des vagues à la côte et de la pente de l'estran ou de la protection littorale contre la mer (si le déferlement n'a pas lieu avant d'atteindre cette protection) ;
- Enfin, d'un filet d'eau montant sur l'estran ou les protections (en fonction de leur configuration) après le dernier déferlement des vagues. C'est le jet de rive (ou swash).

Ces éléments peuvent être d'importance relativement différente selon le vent, les vagues, la forme de la cote, la nature des protections littorales et leurs caractéristiques.

**Dans la suite du présent rapport, on appellera niveau marin « au repos » le niveau d'eau du uniquement à la marée et à la surcote d'origine atmosphérique, et niveau marin « total » le niveau d'eau à la côte intégrant l'ensemble des phénomènes marins (dont houle).**

La submersion peut intervenir par :

- Débordement : le niveau marin au repos augmenté de la surcote de déferlement est supérieur à la cote de crête d'un ouvrage anthropique ou à la côte du terrain naturel. Le débordement se caractérise par un flot continu au-dessus de la protection ;
- Franchissement d'un ouvrage anthropique : le niveau marin au repos est inférieur à la crête de la protection de front de mer, mais l'effet de la houle implique que des paquets de mer franchissent la protection. Ce mode de submersion concerne les sites significativement exposés à la houle. Les franchissements dépendent des conditions de mer à la côte (houle et niveau d'eau) et des caractéristiques de la protection (crête, pente et revêtement). Ils se caractérisent par un flot discontinu, au gré des vagues ;



Figure 20 : Franchissements de la protection au droit de Mers-les-Bains/Le Tréport en novembre 1977 (source : PPRL Vallée de la Bresle)

- Rupture ou défaillance du système de protection : une brèche se crée dans un ouvrage anthropique ou dans un cordon dunaire ou un ouvrage (souvent un ouvrage hydraulique) subit une défaillance. Ce phénomène se produit suite à l'attaque frontale de la houle, à un phénomène de surverse, à un mauvais entretien d'un ouvrage, ou encore à une érosion intensive du trait de côte. Il engendre une submersion si le terrain en arrière est situé sous le niveau marin.

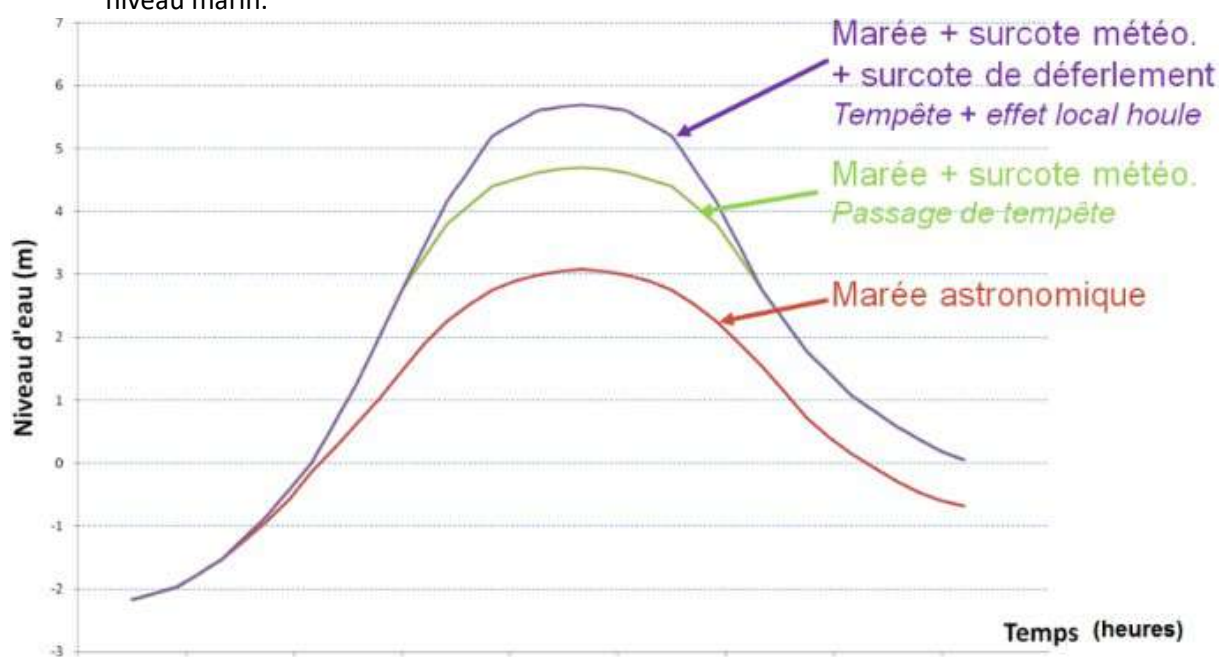


Figure 21 : Composantes d'une hauteur de mer à la côte



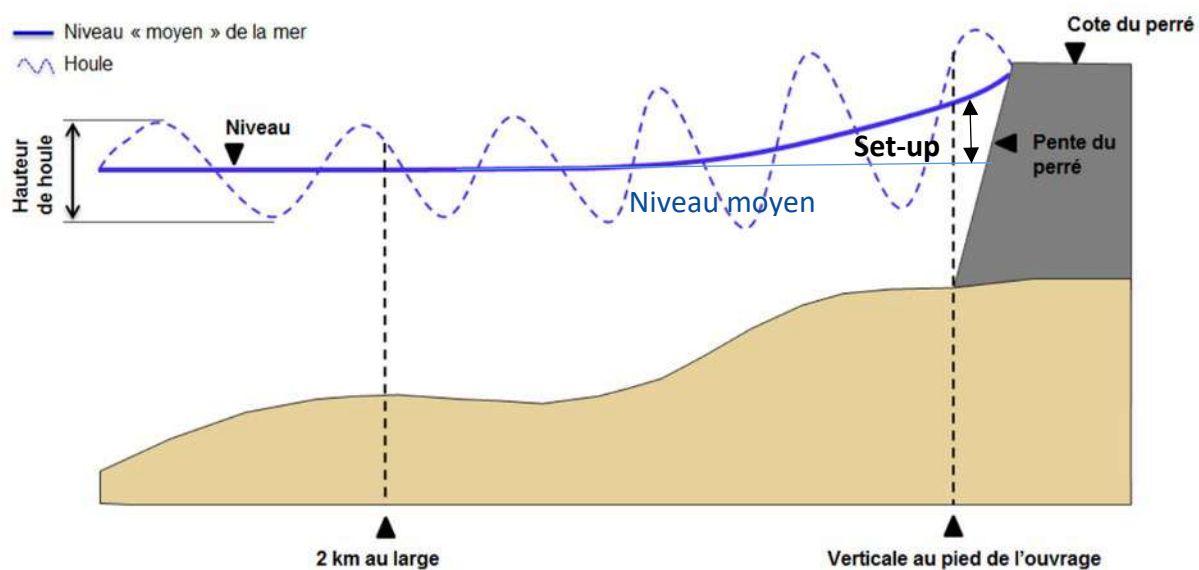


Figure 22 : Set-up au pied des protections contre la mer (source : DHI)

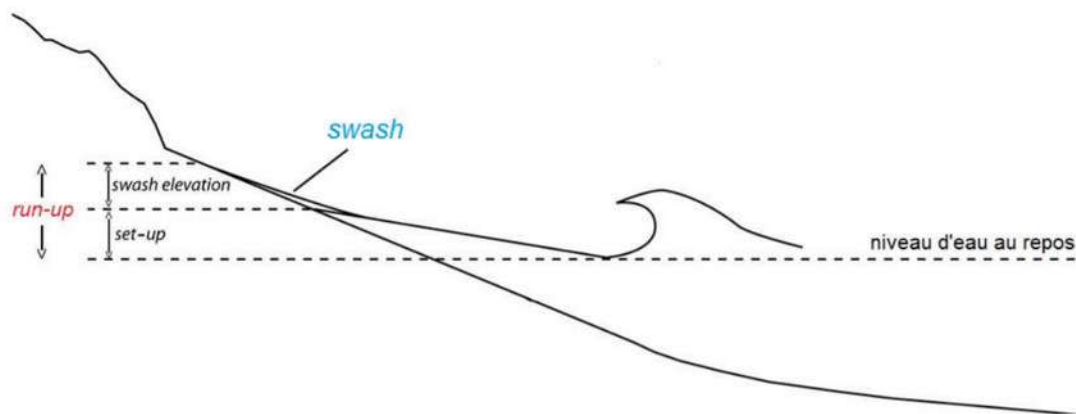


Figure 23 : Schématisation du run-up dans la zone de swash

Différentes structures ont travaillé sur le littoral des Hauts-de-France. Les modélisations effectuées par la suite dépendent de chaque PPRL.

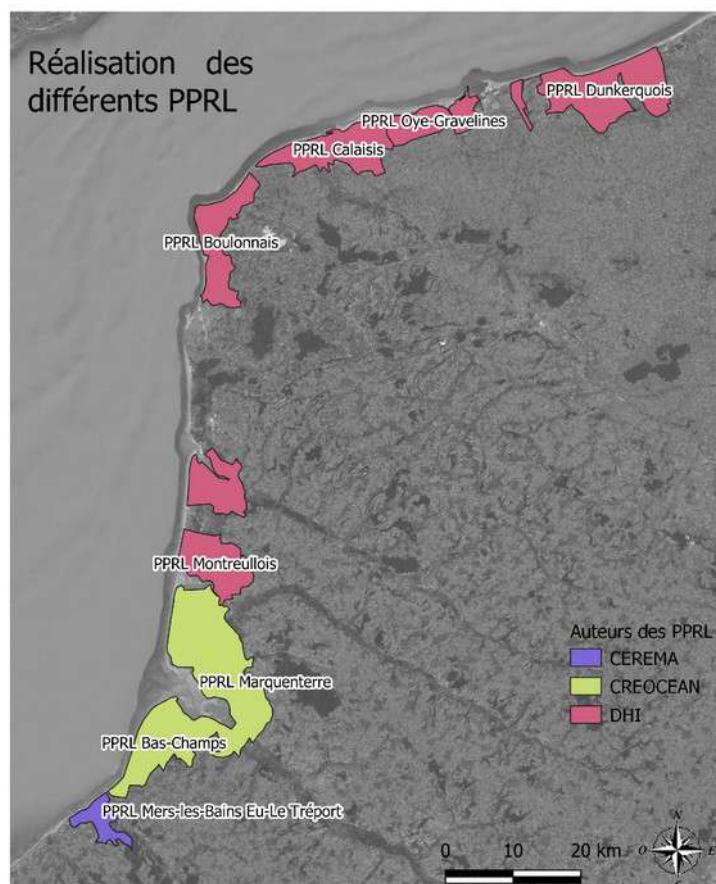


Figure 24 : Répartition des PPRL en fonction de l'auteur

## 5.2. Méthode PPRL

Selon la doctrine PPRL, l'aléa de référence à considérer pour la submersion doit correspondre soit à un événement centennal soit à la plus forte tempête connue si elle est supérieure à l'événement centennal

Dans la méthodologie de 2014, les études relatives à l'évolution du trait de côte doivent être utilisées le cas échéant pour la caractérisation de l'aléa submersion marine.

Tableau 4 : Catégorisation de l'aléa submersion dans le guide PPRL de 2014 par le croisement de la dynamique de submersion et des hauteurs d'eau

Vitesse	Faible	Moyenne	Forte
Hauteur			
H < 0,5 m	Faible	Modéré	Fort
0,5 < H < 1 m	Modéré	Modéré	Fort
H > 1 m	Fort	Fort	Très fort

## 5.3. Etudes principales de l'aléa submersion

### 5.3.1. Présentation des études de DHI pour le Nord et le Pas-de-Calais : méthode PPRL

Le bureau d'étude DHI a mené une étude en 2009 pour le compte de la DREAL 59/62 concernant la détermination de l'aléa submersion marine intégrant les conséquences du changement climatique.

Cette étude concerne le littoral de l'ensemble de l'ancienne région Nord-Pas-de-Calais, de la Baie d'Authie à la frontière Belge.

À la suite de la tempête Xynthia de février 2010, des Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) ont été prescrits sur le littoral avec une démarche révisée et cadrée réglementairement (Guide méthodologique, circulaire de juillet 2011). A l'occasion de l'établissement des PPRL sur la région, DHI a mis à jour jusque 2013 son étude de l'aléa submersion en actualisant notamment les niveaux marins extrêmes au large et à la côte (réévaluation de la surcote de déferlement notamment) et en appliquant la méthode PPRL pour la prise en compte du changement climatique (court terme et 2100) et la modélisation de scénarios de submersion (largeur de brèche).

**Dans l'étude DHI de 2013, l'aléa submersion a été déterminé et cartographié sur 17 sites protégés contre ce risque et choisis sur la base de critères détaillés ci-après, avec la prise en compte de la rupture (brèche), du franchissement ou du débordement des protections. Il a été établi pour une situation « figée » pour le territoire (à date d'établissement de l'étude) et pour des périodes de retour  $T = 10$  ans et  $T=100$  ans. Un aléa « 2100 » a été déterminé sur la base d'un évènement marin centennal, en intégrant les effets du changement climatique (élévation du niveau de la mer). Cet aléa est exclusivement marin et n'intègre pas de concomitance avec une crue de cours d'eau. Outre les brèches envisagées dans les cordons dunaires, l'aléa submersion n'intègre pas non plus l'aléa érosion du littoral.**

L'aléa de submersion dans l'étude DHI de 2013 a été déterminé et catégorisé :

- Soit par le croisement des vitesses et de hauteurs d'eau, définies par un **modèle de propagation**.

Tableau 5 : Catégorisation de l'aléa submersion dans l'étude DHI de 2013 par le croisement des vitesses et des hauteurs d'eau

Vitesse	$U < 0,2$ m/s	$0,2 < U < 0,5$ m/s	$U > 0,5$ m/s
Hauteur			
$H < 0,5$ m	Faible	Moyen	Fort
$0,5 < H < 1$ m	Moyen	Moyen	Fort
$H > 1$ m	Fort	Fort	Très fort

- Soit par la hauteur d'eau uniquement, définie par projection topographique du niveau marin sur les zones basses

Tableau 6 : Catégorisation de l'aléa submersion par les hauteurs d'eau

Hauteur d'eau	H < 0,5 m	0,5 < H < 1 m	H > 1 m
Aléa	Faible	Moyen	Fort

Cette étude principale de DHI de 2013 a été mise à jour en 2017 sur le Dunkerquois et en 2015 sur le Montreuillois afin de prendre en compte des travaux réalisés sur les ouvrages.

Le tableau suivant détaille la méthodologie retenue par DHI pour l'aléa submersion :

Tableau 7 : Détails de la méthode de l'étude DHI de 2013

Elément	Méthode de détermination de l'aléa submersion	
Niveau marin extrême au repos au large	Donnée SHOM 2012 pour Dunkerque, Calais, et Boulogne-sur-Mer (ports de référence) et maximum entre données SHOM 2008 et 2012* sur autres sites	
Niveaux marins au repos et états de mer au large	<b>Modèle MIKE 21SW de propagation de houle au large avec effet du vent et de la variation de niveaux d'eau mesurés (marégraphes). Pas de modélisation hydrodynamique de la marée et des courants =&gt; définition des houles au large en tout point du maillage du modèle</b>	
Niveau marin total et états de mer à la côte	<b>Propagation par modèle LITPACK des couples houle/niveau d'eau extrêmes au large définis pour T considérée sur des profils propres à chaque site=&gt; calcul surcote de déferlement (set-up) et de la houle en pied d'ouvrage propres à chaque couple, par profil</b> <b>Niveaux marins extrêmes totaux à la côte par profil, pour T considéré : niveau extrême au repos+ surcote déferlement + incertitudes + changement climatique</b>	
Incertitudes prises en compte sur les niveaux totaux à la côte	Définition par site pour le set-up : différence entre calcul d'origine et calcul plus défavorable avec +10cm de houle, -5cm de niveau d'eau et -50cm de niveau de plage dans la zone de déferlement (ou 25 cm forfaitaire (**))	
Prise en compte du changement climatique	Aléa réf actuel (2013)	<b>Niveau marin centennal + 20cm (***)</b>
	Aléa réf 2100	<b>Niveau marin centennal +60 cm (***)</b>
Submersion terrestre : scénarios et paramètres de la modélisation	Généralités	<b>Submersion terrestre modélisée par MIKE 21. Aléa = croisement hauteur/vitesse le plus défavorable par site étudié.</b> Précision estimée de qq mètres sur emprises
	Détermination des sites de submersion	Eléments pris en compte : topographie, état des ouvrages (étude VSC de la DDTM), présence d'une zone urbaine littorale, événements historiques, mobilité trait de côte et morphologie cordons dunaires (concertations/terrain)
	Brèches/défaillance ouvrage ou brèche cordon dunaire	<b>Brèches : Largeur 100 m (ou autre justifiée), en trapèze et arase évoluant du niveau d'eau au terrain naturel (***)</b> . <b>Initiée à PM-1h et ouverte en 15 min en général. Pas de brèches multiples simultanées</b> (plusieurs à Sangatte, rives de l'Aa et Touquet) <b>et pas de brèche sur ouvrages second rang</b> <b>Ouvrage défaillant : géométrie réelle prise en compte</b>
	Débordement et rupture	Injection du <b>débit engendré par le couple houle/niveau d'eau extrême propagé avec le niveau le plus fort. Simulation sur 2 cycles de marée : surcote max à la première PM et reste de surcote sur seconde PM</b>
	Franchissement <b>si déferlement</b> : 1/2Hs<D et si Hs>0,8 Hs : hauteur de houle D : prof d'eau au pied de l'ouvrage	<b>Calcul du débit moyen au pied de l'ouvrage pour une seule PM en fonction de la houle propagée et des caractéristiques de l'ouvrage, en un ou plusieurs profils appliqué(s) sur le linéaire d'ouvrage</b> Débit moyen retenu par profil = <b>débit max engendré par couple houle/niveau extrême propagé le plus défavorable</b>
*Lettre SHOM CETMEF du 21/01/13 ; ** Guide méthodologique PPRL ***Circulaire du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque submersion marine dans les PPRnL		

Les précisions suivantes sur les modèles maritimes élaborés et utilisés par DHI dans son étude de 2013 sont fournies dans le tableau suivant.

Tableau 8 : Précisions sur les modèles maritimes de DHI de 2013

Modèles maritimes élaborés et utilisés par DHI sur le littoral du Nord et du Pas-de-Calais	
<b>Modèle MIKE S1W de propagation des houles au large</b>	
Type et étendue	Modèle spectral de propagation des houles au large : 160 km de la Baie de Somme jusqu'à 15 km après la frontière Belge, entre le littoral britannique et français
Maillage	1000 m au large et 300 m aux abords du littoral du Nord et du Pas-de-Calais
Bathymétrie	Interpolations sondes bathymétriques et levés topographiques SHOM au droit des points du maillage
Conditions aux limites et paramètres d'entrée	<u>Houle</u> : données ANEMOC (Atlas Numérique d'Etats de Mer Océanique et Côtier) => données de hauteur significative, période de pic et direction moyenne et étalement directionnel au pas de temps horaire sur la période 1979-2002 <u>Variations niveau d'eau</u> : intégrées à partir de celles mesurées par les marégraphes de Boulogne-sur-Mer, Calais et Dunkerque <u>Vent</u> : données des stations Météo-France de Boulogne-sur-Mer et Dunkerque au pas de temps 3h de 1979 à 1994 et 1h de 1995 à 2002. Action selon formulation Kahma and Calkoen (1994)
Effets intégrés et limites	<u>Effets intégrés</u> : Réfraction et shoaling (dues aux variations bathymétriques), génération de la houle par le vent, dissipation par moutonnement, déferlement bathymétrique et par frottement sur le fond. <u>Limites</u> : pas de diffraction et réflexion de la houle prises en compte => <b>propagation valable jusqu'aux abords du littoral (2km environ : fond entre -10 et -15 m IGN69), mais pas au pied des ouvrages de protection</b>
Calage	Comparaison des données d'un houlographe du réseau CANDHIS au large de Dunkerque, sur l'année 1992. Bon calage des hauteurs et périodes de houle. Pas d'amélioration significative d'après tests de sensibilité sur frottement de fond, forçage du vent et déferlement ( <i>pas plus de précision dans le rapport DHI</i> )
<b>Modèle LITPACK de propagation des houles jusqu'au trait de côte et de calcul du set-up</b>	
Type et étendue	Modèle 1D appliqué sur des profils particuliers du fond depuis 2 km au large environ et de l'estran
Bathymétrie/topographie	Données C-Map pour la bathymétrie et données topographiques LIDAR disponibles
Conditions aux limites et paramètres d'entrée	Couples houle/niveau d'eau extrêmes définis par la méthode DEFRA : hypothèse de faible dépendance entre houle et niveau d'eau (cf. ci-après) => houle et niveau ont des périodes de retour propres différentes dans le couple Houles : celles modélisées par MIKE 21 SW Niveaux d'eau : niveau d'eau extrême SHOM

Les précisions suivantes sur les modèles de submersion terrestre élaborés et utilisés par DHI dans son étude de 2013 sont fournies dans le tableau suivant.

**Modèles MIKE 21 élaborés et utilisés par DHI sur le littoral du Nord et du Pas-de-Calais pour la submersion terrestre**

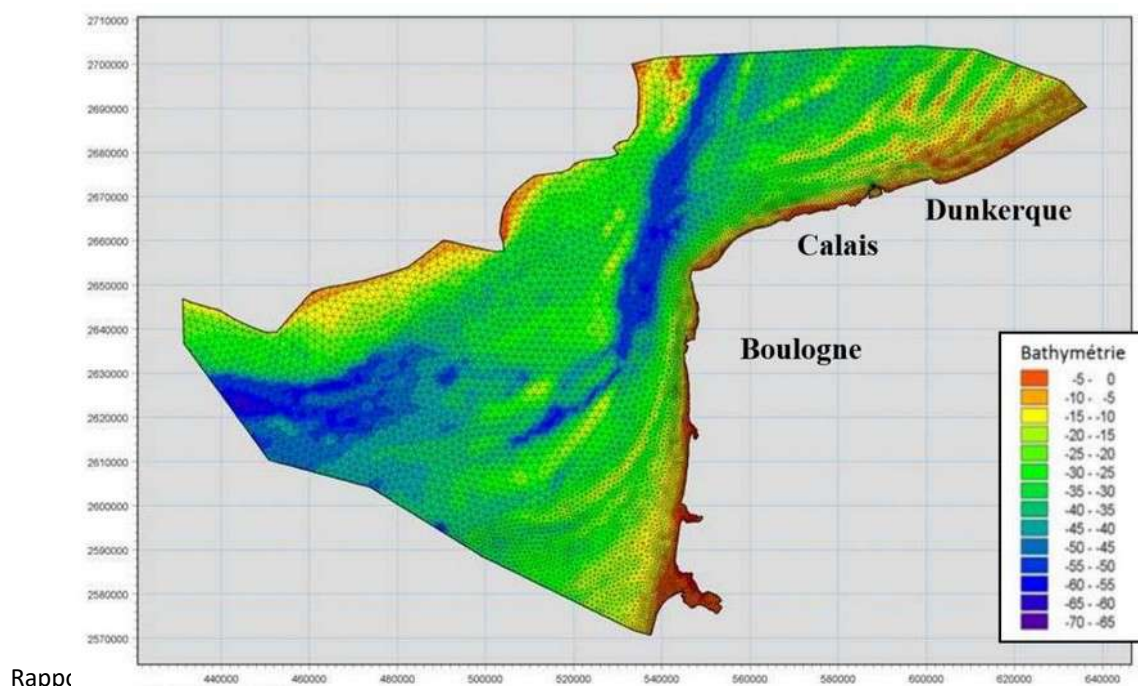
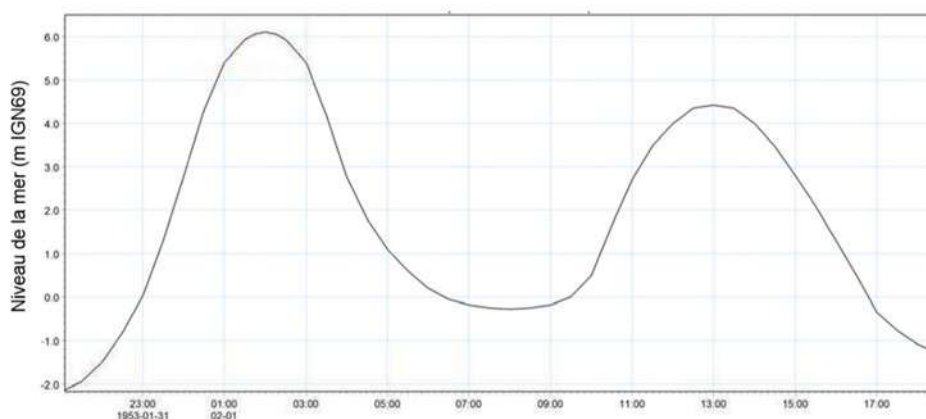


Figure 25 : Maillage du modèle MIKE 21 SW de propagation des houles (source : DHI)

**Tableau 9 : Précisions sur les modèles de submersion terrestre de DHI de 2013**

<b>Type et étendue</b>	Modèle d'écoulement à surface libre par site de submersion. Etendue variable par site, en fonction d'une première approche « grosse maille » (100 m)
<b>Maillage</b>	Maillage par site de submersion avec espacement de 3 m (sauf : 6 m sur site Touquet et 8 m sur sites Dunkerque, Oye-Plage et rives de l'Aa)
<b>Topographie</b>	Lidar DDTM (Précision altitudes : 20 cm) étendue par les données MNT PPIGE* (pas de 10 ou 20 m ? Précision altitudes de 50 cm en zone urbaine et 75 cm en zone rurale) pour sites Touquet, Saint-Josse, et Groffliers (zones blanches LIDAR) et par la valeur en bordure du Lidar pour l'étang de Wissant. Utilisation de données locales si disponibles (Affinées sur la base de suggestions des collectivités)
<b>Conditions aux limites et paramètres d'entrée</b>	<p><u>Pour tous les modes de submersion</u> : Débits calculés sur le marégramme du couple niveau/houle extrême retenu au large, corrigé pour tenir compte des niveaux totaux calculés à la côte</p> <p><u>Débordement ou rupture</u> : Débit calculé automatiquement à l'aide d'une équation de seuil en fonction de la topographie ou des caractéristiques de la brèche.</p> <p><b>Brèches</b> : géométrie et cinétique en entrée. Largeur et pentes fixes dans le temps (peu d'influence de ce dernier paramètre) =&gt; forte influence de la largeur sur l'extension de l'inondation</p> <p><u>Franchissement</u> : Débit moyen imposé calculé selon la formulation empirique du <i>Wave overtopping of sea defenses and related structures – Assessment Manual (EUROTOP)</i> en fonction des caractéristiques de l'ouvrage (cote crête, pentes, rugosité). Couronnement non pris en compte en général (sauf à Wimereux)</p>
<b>Effets intégrés et limites</b>	<p><u>Effets intégrés</u> : Frottement de fond, écoulements torrentiels (ruptures), moments convectifs et croisés, dispersion de la quantité de moments, recouvrement/découvrement des zones sèches</p> <p><u>limites</u> : pas de prise en compte des bâtiments (transparence) =&gt; augmentation de l'emprise de submersion (moins de rugosité), mais diminution de l'intensité locale de l'aléa.</p> <p align="center"><b>Non-concomitance des phénomènes marins et terrestres.</b></p> <p>Réseaux de drainage, pompages, infiltrations, interventions humaines non modélisées</p> <p>Pas de variabilité des vagues pris en compte pour le franchissement (débit instantané max non pris en compte) et écoulement à la surface des ouvrages (projections non reproduites)</p>
<b>Calage</b>	Calage uniquement pour le modèle de Dunkerque, sur l'évènement de février 1953 (rupture de la digue des Alliés : 2 brèches avec largeur totale de 50 m) => emprise et hauteur d'eau de l'inondation modélisée proche de la réalité MAIS à nuancer, car données incertaines de la géométrie et la cinétique de la brèche, paramètres les plus sensibles du modèle. Tests de sensibilité menés sur la cinétique de la brèche.
*PPIGE : Plateforme Publique de l'Information Géographique	



**Figure 26 : Type de marégramme utilisé en entrée des modèles de submersion terrestre : ici celui de l'évènement de février 1953 à Dunkerque (source : DHI)**

Les **données cartographiées** disponibles **sous format SIG (sauf précision contraire)** sont :

- L'extension maximale des zones inondées et la classe d'aléa ;
- L'altitude, en m IGN69 ;
- Les vitesses, avec la valeur de la vitesse maximale en m/s et l'azimut de la vitesse maximale en degré (azimut 0 pour l'Est et 90 pour le Nord) ;
- La hauteur maximale en m et le niveau d'eau maximal en m IGN69. Des lignes de niveau avec un pas de 20 cm sont fournies ;

- Le temps d'arrivée de l'eau après la défaillance des ouvrages ou des premiers débordements, en min, sauf pour le franchissement. Des lignes isochrones sont fournies avec un pas de 15 min. L'emprise de l'inondation est cartographiée avec un pas de 30 min (pas de SIG) ;
  - Le temps de montée, en min, qui correspond à la durée entre le moment où la première mise en eau est constatée en un point et le moment où la hauteur maximale y est atteinte.
- D'autre part, les zones de brèche, débordement ou franchissement sont identifiées (pas de SIG).

Pour déterminer les sites exposés à l'aléa submersion, DHI a utilisé différents paramètres rappelés dans le tableau de synthèse précédent. Il est important de noter que :

- La topographie en retrait de la bande littorale a été prise en compte : un site présentant une topographie en retrait relativement haute n'a pas été retenu même si l'altitude des digues ou des dunes est faible ;
- Sur les sites non identifiés par l'étude VSC de la DDTM, DHI a réalisé une étude morphologique des sites pour déterminer les risques de rupture. Le choix des sites par cette étude se fait en croisant 3 paramètres :
  - La revanche de l'ouvrage ou de la dune par rapport au niveau marin extrême pris en compte : **R** ;
  - La longueur de l'ouvrage ou de la dune au-dessus du niveau marin extrême considéré : **L** ;
  - La hauteur entre le terrain en arrière et le niveau marin extrême considéré : **H**.

Deux grandeurs représentatives sont retenues : L et le rapport R/H. En positionnant sur un graphique ces paramètres pour les sites ayant connu une rupture, il a été déterminé une « zone à risque » dans laquelle les sites présentent un risque de rupture. Cette zone est définie par  $L < 70$  m ET  $R/H < 7$ . Finalement, la figure en page suivante montre l'arbre de décision qui a été utilisé par DHI dans son étude de 2013 pour déterminer les sites exposés à l'aléa submersion marine par rupture, franchissement ou débordement.

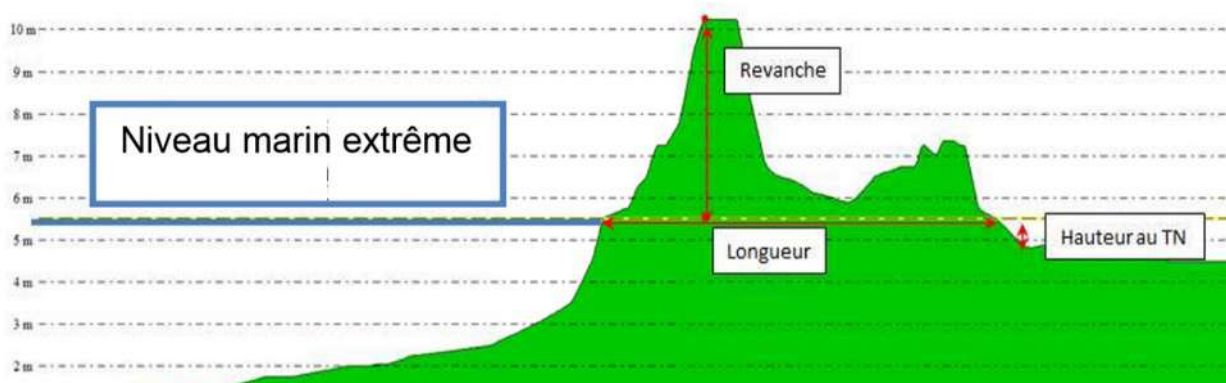


Figure 27 : Paramètres de l'étude morphologique retenus par DHI pour déterminer les risques de rupture (source : DHI)

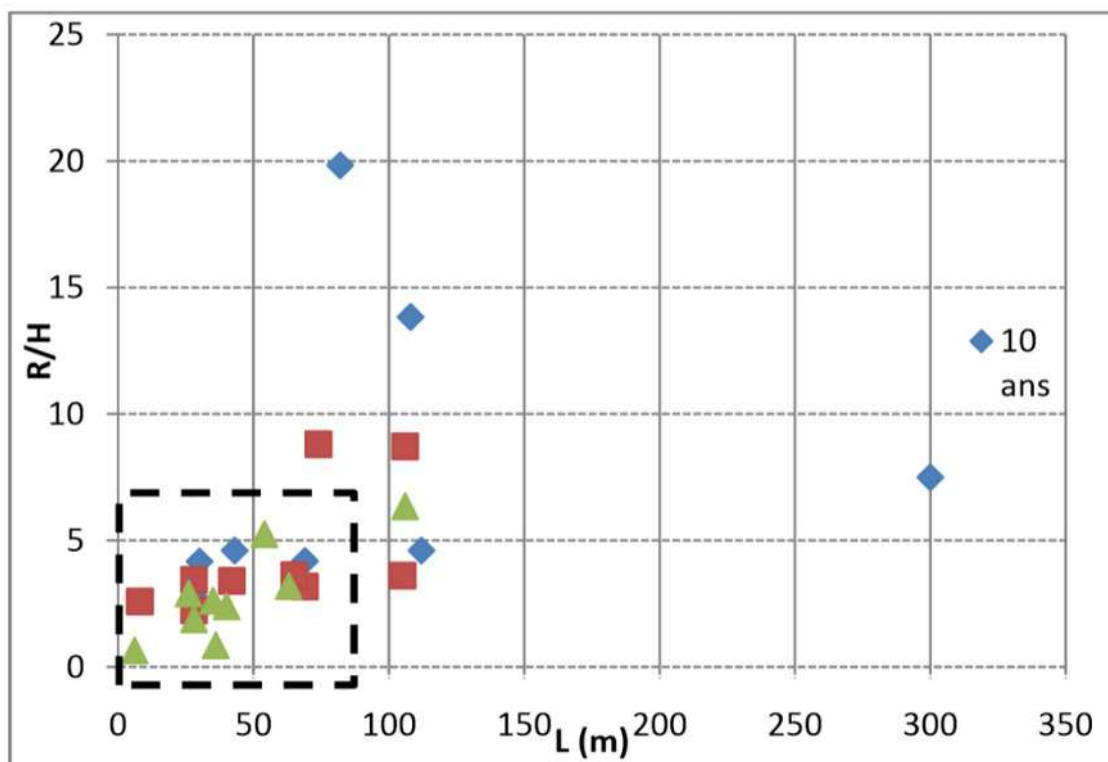


Figure 28 : Relation entre les paramètres L et le rapport L/H pour les sites présentant une rupture dans la protection (source : DHI)



# Elaboration d'une stratégie régionale relative à la gestion intégrée du trait de côte en Hauts-de-France

Phase 1 : diagnostic du territoire

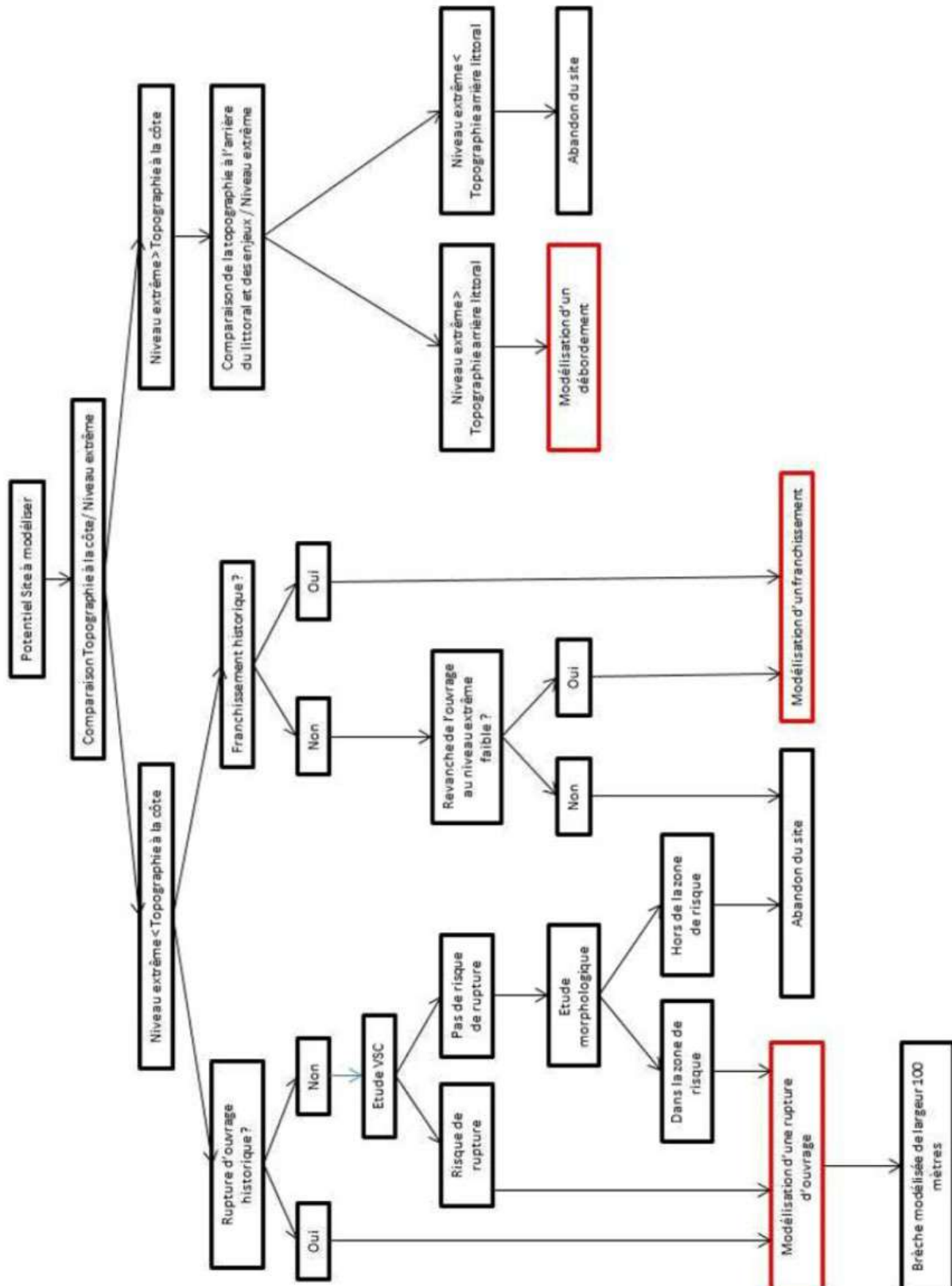


Figure 29 : Arbre de décision utilisé par DHI dans son étude de 2013 pour déterminer les sites exposés à l'aléa submersion marine (source : DHI)

### 5.3.2. Présentation des études d'Artélia pour le PAPI Bresle Somme Authie

En avril 2015, Artélia a conduit pour le compte du Syndicat Mixte Baie de Somme Grand Littoral Picard une étude avec l'objectif de caractériser l'aléa inondation par submersion fluvial ou/et maritime, dans le cadre de l'établissement du PAPI Bresle-Somme-Authie.

Cette étude concerne le littoral de Mers-les Bains, dans la Somme, au sud, jusqu'à Berck, dans le Pas-de-Calais, au Nord qui intègre du Sud au Nord, l'estuaire de la Bresle, la Baie de Somme et la Baie d'Authie. Pour la prise en compte du périmètre complet du PAPI et des interactions entre les évènements maritimes et fluviaux (cf. ci-après), l'étude concerne également le fleuve Somme, son environnement et ses cours d'eau connexes de l'estuaire à Abbeville, et les vallées des fleuves Bresle et Authie jusqu'à la limite d'influence des évènements maritimes.

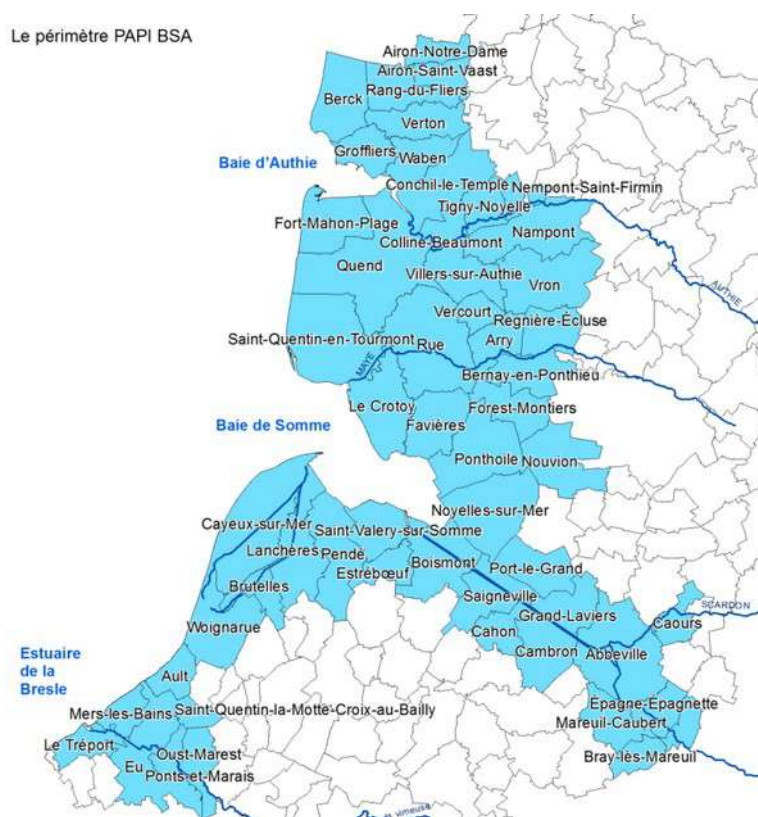


Figure 30 : Périmètre du PAPI Bresle-Somme-Authie (source : Artélia)

La détermination de l'aléa submersion dans l'étude d'Artélia de 2015 a été réalisée **par modélisation des évènements maritimes et fluviaux**, avec :

- Une modélisation bidimensionnelle intégrée de la zone côtière et des zones terrestres de renclôtures (prises sur la mer par des endiguements) ;
- Des modélisations unidimensionnelles des cours d'eau de la Somme, de l'Authie et de la Bresle.

Modèles 2D et 1D ont été imbriqués pour tenir compte des interactions fluvio-maritimes.

Dans l'étude d'Artélia, l'aléa submersion a été déterminé et cartographié par grand périmètre hydraulique cohérent sur l'ensemble des secteurs soumis directement au risque de submersion/inondation du littoral et dans l'environnement des fleuves et cours d'eau concernés, avec la prise en compte de la rupture (brèche), du franchissement ou du débordement des protections. Il prend en compte la concomitance et les interactions des événements marins et fluviaux et a été établi pour divers scénarios de concomitance pour la situation « 2015 » et pour les échéances 2035 et 2065.

Pour ces échéances prospectives, l'aléa intègre les évolutions morpho-dynamiques littorales et estuariennes (et donc l'aléa érosion) dans leurs interactions avec le risque inondation. Le modèle fluvial, lui, n'évolue pas. Il prend également en compte la prolongation tendancielle des opérations et actions de gestion du risque déjà menées et à venir validées par une programmation officielle, et uniquement celles-là, avec les précisions suivantes :

- Pas de confortement, réhabilitation ou reconstruction d'ouvrage ;
- Prise en compte d'une dégradation des ouvrages non entretenus (par rapport à l'état 2015).

L'aléa submersion intègre également le changement climatique (élévation du niveau de la mer).

Le risque inondation est déterminé et cartographié par l'intermédiaire de l'extension des zones terrestres et submergées.

**Les vitesses ne sont pas cartographiées et l'aléa n'est pas catégorisé dans l'étude du PAPI BSA.**

Les périmètres hydrauliques de l'étude avec la typologie (maritime et/ou fluviale) et l'identification des sources de submersion (maritime, estuarienne, et/ou fluviale) sont synthétisés dans le tableau suivant :

**Tableau 10 : Périmètres hydrauliques de l'étude d'Artélia de 2015 de l'estuaire de la Bresle à la baie de Somme**

Nom du périmètre	Etendue le long du littoral	Typologie et identification des sources de submersion
Nord-Authie	De la limite communale Nord de Berck-sur-Mer au fond de baie d'Authie (Conchil-le-Temple)	Maritime (baie d'Authie)
Sud-Authie	Du fond de Baie d'Authie (Quend) à Saint-Quentin-en-Tourmont	Maritime (baie d'Authie) et fluviale (Authie)
Maye	De Saint-Quentin-en-Tourmont au Nord de la zone urbanisée du Crotoy	Maritime (baie de Somme)
Somme Nord-Est	Du Nord de la zone urbanisée du Crotoy au fond de baie de Somme (Noyelles-sur-Mer)	Maritime (baie de Somme)
Somme fluviale	Abbeville au fond de baie de Somme	Maritime (baie de Somme) et fluviale (Somme)
Saint-Valéry-sur-Somme	Saint-Valéry-sur-Somme	Maritime (baie de Somme)

Bas-champs	De l'Ouest de Saint-Valéry-sur-Somme à Ault	Maritime (côte et baie de Somme)
Bresle-	Mers-les-Bains/Le Tréport	Maritime (côte) et fluviale (Bresle)

La méthodologie retenue par Artélia est présentée ci-après, en reprenant les mêmes rubriques que celles présentées dans le paragraphe précédent l'étude de DHI de 2013 sur le littoral du Nord et du Pas-de-Calais.

Au préalable, précisions que 6 scénarios hydroclimatiques de concomitance d'un évènement marin et d'un évènement marin ayant chacun leur propre période de retour ont été étudiés par Artélia. L'évènement « fluvio-maritime » résultant de cette concomitance a une période de retour propre qui a été estimée (1 an à 2200 ans).

Ces 6 scénarios ont été définis sur la base du cahier des charges national des PAPI issu du domaine fluvial, et donc adapté aux aléas littoraux. Ils croisent des évènements marins de période de retour annuelle (avec ou sans tempête), 10 ans et 100 ans et des évènements fluviaux avec débit de module (Q mod) et de période de retour 10 et 100ans (Q10 et Q100).

Le tableau et la figure ci-après synthétisent ces scénarios.

N.B : le tableau figurant dans le document principal du PAPI a été corrigé de certaines erreurs, et en fonction de l'annexe B-partie 2 de ce même PAPI, plus précise sur la définition de ces scénarios. A noter que les numéros de scénario (SHX) ne sont pas identiques dans ces deux documents.

**Tableau 11 : Synthèse des scénarios hydroclimatiques étudiés dans le PAPI BSA (source : Artelia)**

Scénario	Type de scénario (Nomenclature nationale adaptée)	Période de retour (T) évènement marin	Période de retour (T) évènement fluvial	Période de retour (T) évènement retenu	Dénomination PAPI BSA
SH6	Scénario d'évènements de début d'impact	1 an sans houle et vent	Q mod	1 an	M0 Qmod
SH5	Scénario d'évènements engendrant les premiers dommages	1 an en mer et 2,5 ans en fond de baie	Q mod	2,5 ans	M1 Qmod
SH1	Scénarios d'évènements d'une probabilité fréquente (T<100 ans)	10 ans	Q mod	10 ans	M10 Qmod
SH2	Scénarios d'évènements de probabilité moyenne (T≥100 ans)	100 ans	Q mod	100 ans	M100 Qmod
SH4	Scénarios d'évènements extrêmes à dominante fluviale	10 ans	Q 100	1 600 ans	M10 Q100
SH3	Scénarios d'évènements extrêmes à dominante maritime	100 ans	Q 10	2 200 ans	M100 Q10

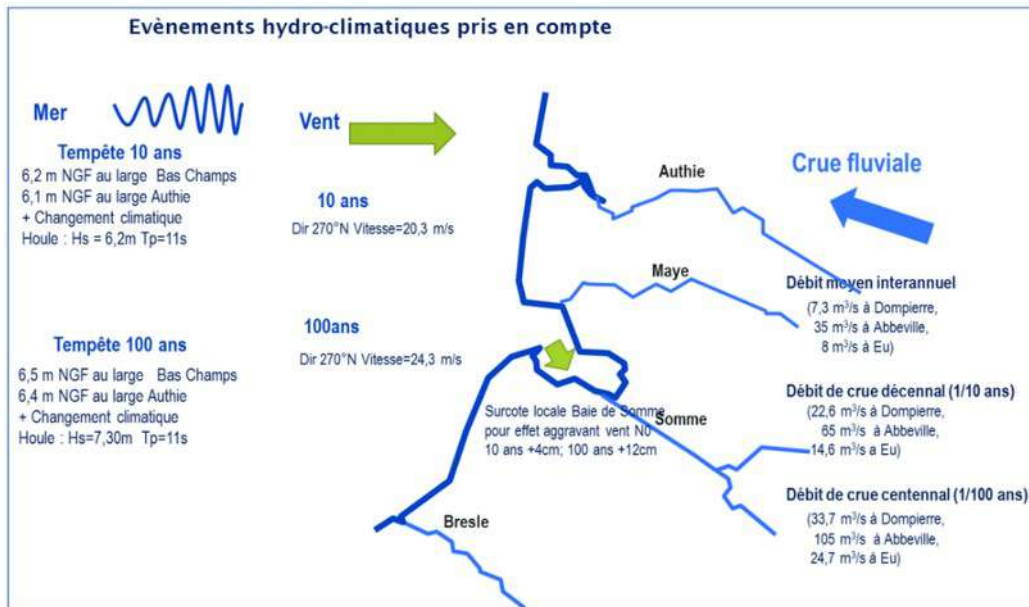


Figure 31 : Schéma des évènements hydroclimatiques étudiés dans le PAPI BSA (source : Artélia)

Tableau 12 : Détails de la méthode de l'étude Artélia de 2015

Elément		Méthode de détermination de l'aléa submersion
Elément		Méthode de détermination de l'aléa submersion
<b>Submersion terrestre : scénarios et paramètres de la modélisation</b>		
Généralités		Submersion terrestre modélisée par TELEMAC dans les déterminations de risques hydrographiques sur toute la zone littorale
Niveaux marins au repos et états de mer au large		Modèle TELEMAC modélisant la marée astronomique et le couplage entre la mer et le littoral global sans surcote atmosphérique déduite des données SHOM, à la côte (NOTAUF) pour la propagation des houles au large et définition des points de coupure et des niveaux d'eau en rive pour la protection du maillage (M*) sur la base d'une étude diag réalisée dans le cadre du PAPI fin 2013 => évaluation propre au BE, non couplage TELEMAC/NOTAUF/SS (influence de) variations réelles du niveau de l'eau littorale et évolution constatée dans la propagation des houleances 2035 et 2065.
Détermination des points de submersion		Propagations au modèle REPLA des coupures littorales/niveaux d'eau extrêmes définis pour les considérée sur deux profils représentatifs pour l'ensemble de ce type étudié => calcul surcote de déferlement (selon type et hauteur de houles propre à chaque coupe, pour les deux profils) et avec +5 m IGN69 en limite haute d'estuaire (plage de la Somme) et Bas-Champs avec 0 m
Niveau marin total et états de mer à la côte		Brèches/défaillance ouvrage IGN69 en limite haute de 100 m (sur dune ou digue) dans les biefs. Création instaurée à l'appartenance ou bassin intérieur, contrôlé par les débits (en tirs de seuils) et assés au ENVAHIE => surcotes identiques au Brèches finales de difficultés possibles y compris brèches 1er et 2nd rang TELEMAC modélise l'influence d'ouvrages de régulation et des houles sur les niveaux à la côte
Brèches/défaillance ouvrage ou brèche cordon dunaire		Débordement et rupture Niveau de rupture des digues et des ouvrages soit points de coupure soit points de rupture soit points de rupture au repos pour des débits de 100 m³/s (à la côte) et de 100 m³/s (à la côte) pour les débits de 100 m³/s et de 100 m³/s
Débordement et rupture		Défaillance ouvrages en périodes de crues (à la côte) et de 100 m³/s (à la côte) pour les débits de 100 m³/s et de 100 m³/s
Incertitudes prises en compte sur les niveaux totaux à la côte		contraintes de débit de 100 m³/s (à la côte) et de 100 m³/s (à la côte) pour les débits de 100 m³/s et de 100 m³/s
Prise en compte du changement climatique anthropique		Horizon 2065 (50 ans) pour Mers-les-Bains, reprise de l'étude du CPER de surcote Mers-les-Bains
		Horizon 2035 (20 ans) secondaires, cordons dunaire et de 100 m³/s (à la côte) pour les débits de 100 m³/s et de 100 m³/s
		Horizon 2065 (50 ans) +35 cm quelle que soit période de retour
		Horizon 2115 (100 ans) +70 cm quelle que soit période de retour
<b>Evènement fluvial</b>		
Généralités		Indépendance des crues sur chaque fleuve. Prise en compte des résultats en termes de débits de modèles 1D établis dans le cadre d'études antérieures => hydrogrammes injectés dans le modèle littoral pour l'Authie et la Somme. Pas d'interférence du fluvial sur le maritime pour Bresle. Utilisation du modèle fluvial de la Somme pour la cartographie de l'aléa submersion sur le cours aval de la Somme (influence maritime), mais pas celui de l'Authie (données topo non actualisées). Dans des conditions de débit moyen annuel, les niveaux dans la Somme (notamment la partie canalisée) sont contrôlés par les ouvrages de régulation au débouché (Barrages et porte à flot).

**Attention : la cartographie produite dans le cadre du PAPI BSA montre des ouvrages avec surverse sans rupture préalable.**

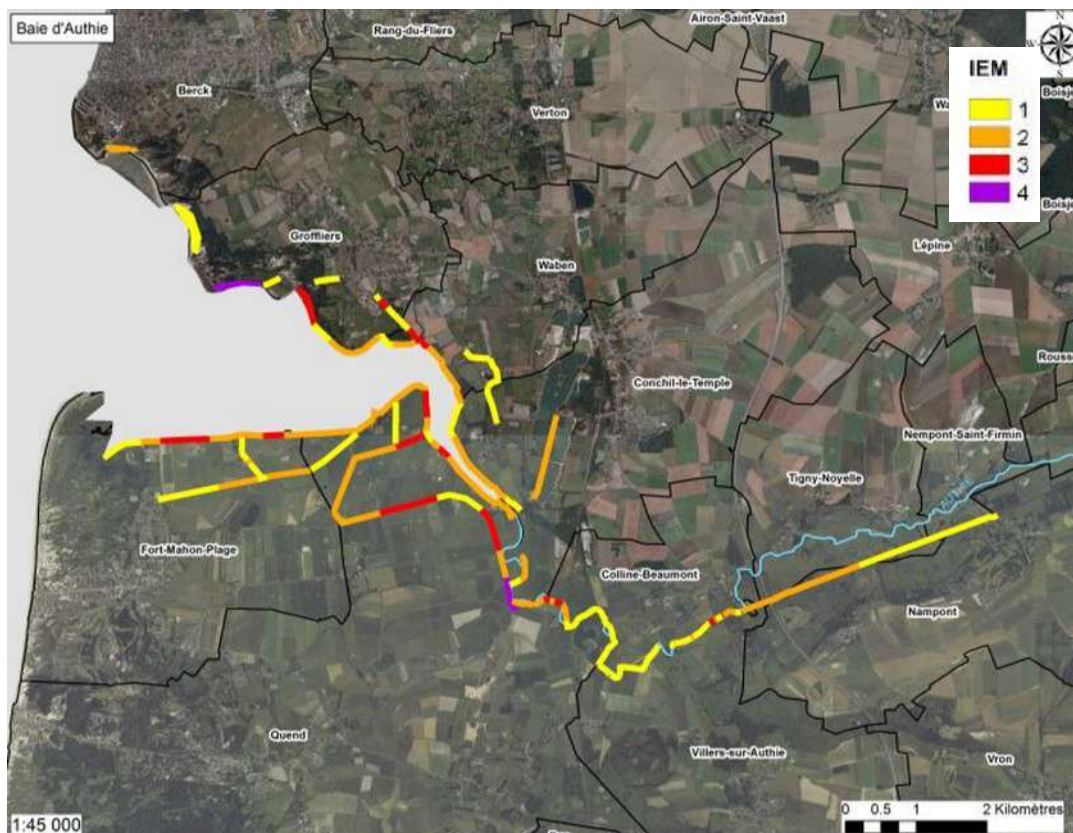


Figure 32 : Synthèse des IEM pour les protections linéaires de la baie d'Authie dans leur état actuel pris en compte dans le modèle de submersion (source : Artélia)

Avec :

- IEM 1 : Désordre engageant directement la sûreté de l'ouvrage en cas de crue/surcôte/submersion
- IEM 2 : Désordre augmentant le risque de rupture/ruine/submersion ;
- IEM 3 : Désordre observé ne présageant par forcément d'un problème à court terme
- IEM 4 : Pas de désordre observé



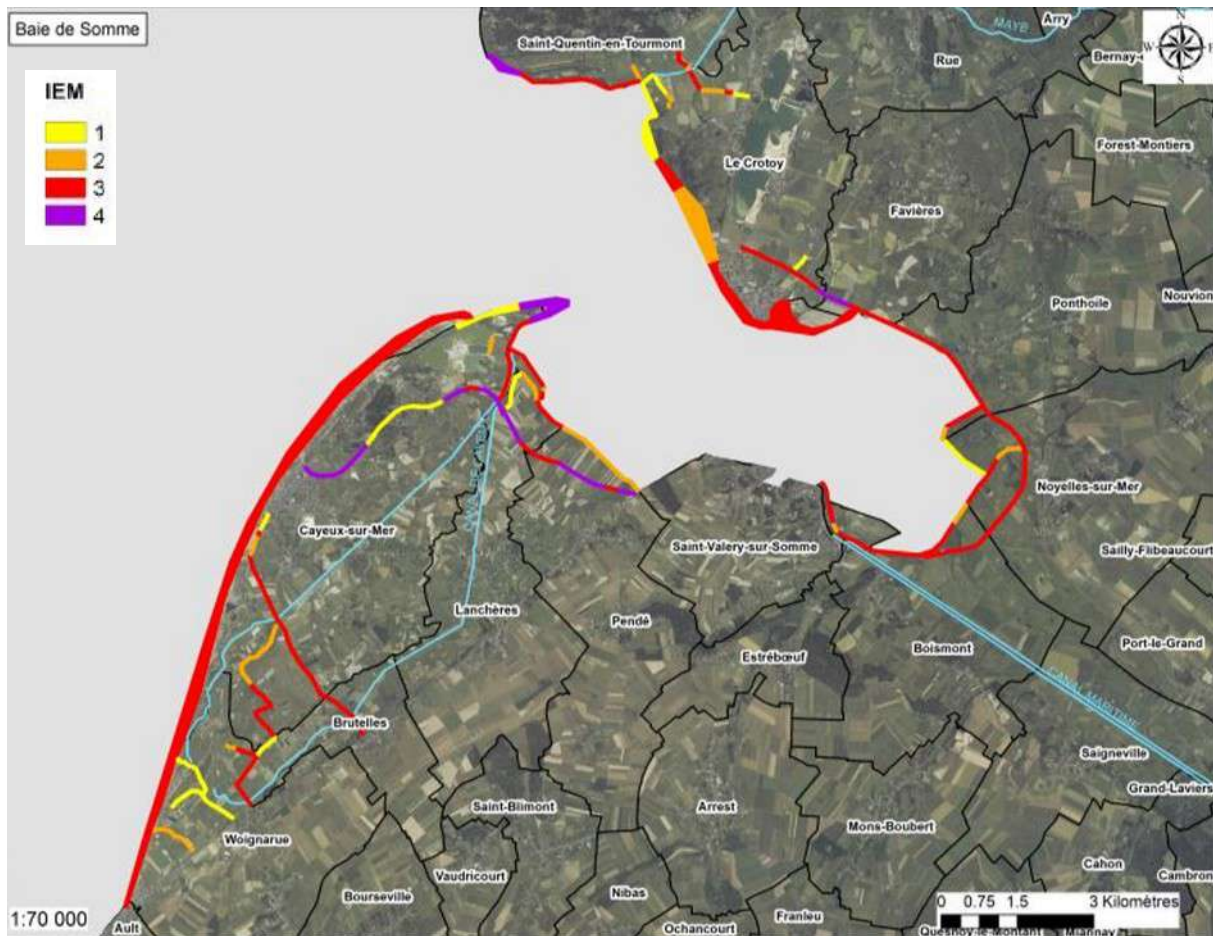


Figure 33 : Synthèse des IEM pour les protections linéaires de la baie de Somme dans leur état actuel pris en compte dans le modèle de submersion (source : Artélia)

Seule la présentation des modèles maritimes est précisée de manière importante ci-après, afin de pouvoir comparer les approches des études principales de l'aléa submersion disponibles. Seule l'étude d'Artélia considère en effet la concomitance des événements marins et fluviaux, avec les résultats de modélisations fluviales en entrée du modèle de submersion terrestre des zones littorales. Quelques éléments de précision jugés majeurs et utiles à la compréhension globale de l'étude sont néanmoins fournis pour chacun des modèles fluviaux utilisés.

Les précisions suivantes sur les modèles maritimes élaborés et utilisés par Artélia dans son étude de 2015 sont fournies dans le tableau suivant.

Tableau 13 : Précisions sur les modèles maritimes d'Artélia de 2015

Modèles maritimes élaborés et utilisés par Artélia pour le PAPI Bresle-Somme-Authie	
Modèle TELEMAC 2D	
Type et étendue	Modèle 2D d'écoulement à surface libre définissant les niveaux et courants Le long de la côte : de 15 km au Nord de la baie d'Authie à 15 km au Sud de la Bresle. En mer : Jusqu'à 25 km de la côte au maximum au droit de la baie de Somme => 1000 km <sup>2</sup>
Maillage	Mailles de 2km au large et 500 m le long du littoral, et de 100 à 250 m sur l'estran, avec taille adaptée à la morphologie locale. Lignes de contraintes pour la représentation des chenaux et bancs dans les estuaires

<b>Bathymétrie</b>	Données SHOM de 1935 à 1986 complétés par levés bathymétriques ponctuels pour fonds de chenaux en eau et estrans immergés (1997 à 2013 : rive Nord baie d'Authie en front de Berck, chenal de l'Authie, Port du Hourdel, baie de Somme). Données LIDAR 2008 à 2011 pour les zones émergées (estrans découverts) Données les plus récentes conservées
<b>Conditions aux limites et paramètres d'entrée</b>	<u>Niveaux de la marée astronomique/courants</u> : définis par un modèle de la Manche à grande emprise disponible à Artélia <u>Surcote météo pour les niveaux extrêmes</u> : ajout valeur constante en fonction de T ajoutée aux niveaux en entrée de modèle. Les surcotes météo sont déduites des niveaux extrêmes SHOM auxquels sont retranchés le niveau de PM d'une marée de coef 106. <u>Surcote de déferlement en pied d'ouvrages pour les niveaux extrêmes</u> : ajout valeur constante en fonction de T calculée avec REPLA pour le profil de Quend <u>Surcote de vent</u> : application dans le modèle du vent retenu (intensité/direction) en fonction de T. tempête retenue avec vents d'Ouest (270°N), engendrant les plus fortes houles au large avec moyenne de 4,2 m (analyse des données de tempêtes de 1988 à 2005 pour station météo France de Cayeux-le Hourdel). Nota : les vents de Nord sont plus forts (Xynthia, 2010), mais les houles sont plus faibles.
<b>Effets intégrés et limites</b>	<u>Effets intégrés</u> : propagation des ondes longues avec prise en compte des effets non linéaires, frottement sur le fond, influence de la force de Coriolis, influence des phénomènes météo (pression atmosphérique et vent, zones sèches dans le domaine de calcul (bancs découvrants), etc. <u>Limites</u> :
<b>Calage</b>	Calage de l'évolution des niveaux d'eau sur les prédictions SHOM à la sonde de Cayeux, du 01/08/1992 au 30/10/1992 => bonne correspondance et validation des conditions limites, de bathymétrie et des conditions de rugosité. Ajustement des coefs de rugosité dans les baies sur des marées de 1992 en baie de Somme et 97 pour la baie d'Authie => propagation de l'onde de marée bien représentée

<b>Modèles maritimes élaborés et utilisés par Artélia pour le PAPI Bresle-Somme-Authie</b>	
<b>Modèle TOMAWAC</b>	
<b>Type et étendue</b>	Modèle spectral de propagation des houles Etendue idem modèle TELEMAT 2D
<b>Maillage</b>	Idem modèle TELEMAT 2D
<b>Bathymétrie</b>	Idem modèle TELEMAT 2D
<b>Conditions aux limites et paramètres d'entrée</b>	Houles ?
<b>Effets intégrés et limites</b>	<u>Effets intégrés dans TOMAWAC</u> : génération de la houle par le vent, dissipation par moutonnement, gonflement et réfraction par les fonds marins et courants, déferlement bathymétrique, par courant contraire et par frottement sur le fond, bancs découvrants (estrans) <u>Limites</u> : propagation valable jusqu'aux abords du littoral, mais pas au pied des ouvrages de protection (diffraction/réflexion non prise en compte)
<b>Calage</b>	<i>Non défini dans le rapport d'Artélia</i>
<b>Modèle REPLA 1D de propagation jusqu'au trait de côte et de calcul du set-up</b>	
<b>Type et étendue</b>	Modèle de propagation sur deux profils types représentatifs : Quend avec +5 m IGN69 en limite haute d'estran (plage sableuse et cordon dunaire) et Bas-Champs avec 0 m IGN69 en limite haute d'estran (cordon de galets). Dans les baies : homogène sur l'ensemble du bassin intérieur, contrôlé par les déferlements sur les bancs en entrée de baie => surcotes identiques au profil de Quend, car même altimétrie en limite haute de l'estran sableux
<b>Bathymétrie/topographie</b>	Idem modèle TELEMAT 2D
<b>Conditions aux limites et paramètres d'entrée</b>	Couples houle/niveau d'eau extrêmes définis <b>par la méthode simplifiée RFS : hypothèse de dépendance totale entre houle et niveau d'eau (cf. ci-après) =&gt; houle et niveau ont les mêmes périodes de retour dans le couple</b> <u>Houles</u> : celles modélisées par modèle couplé TELEMAT 2D/TOMAWAC Niveaux : niveaux extrêmes SHOM

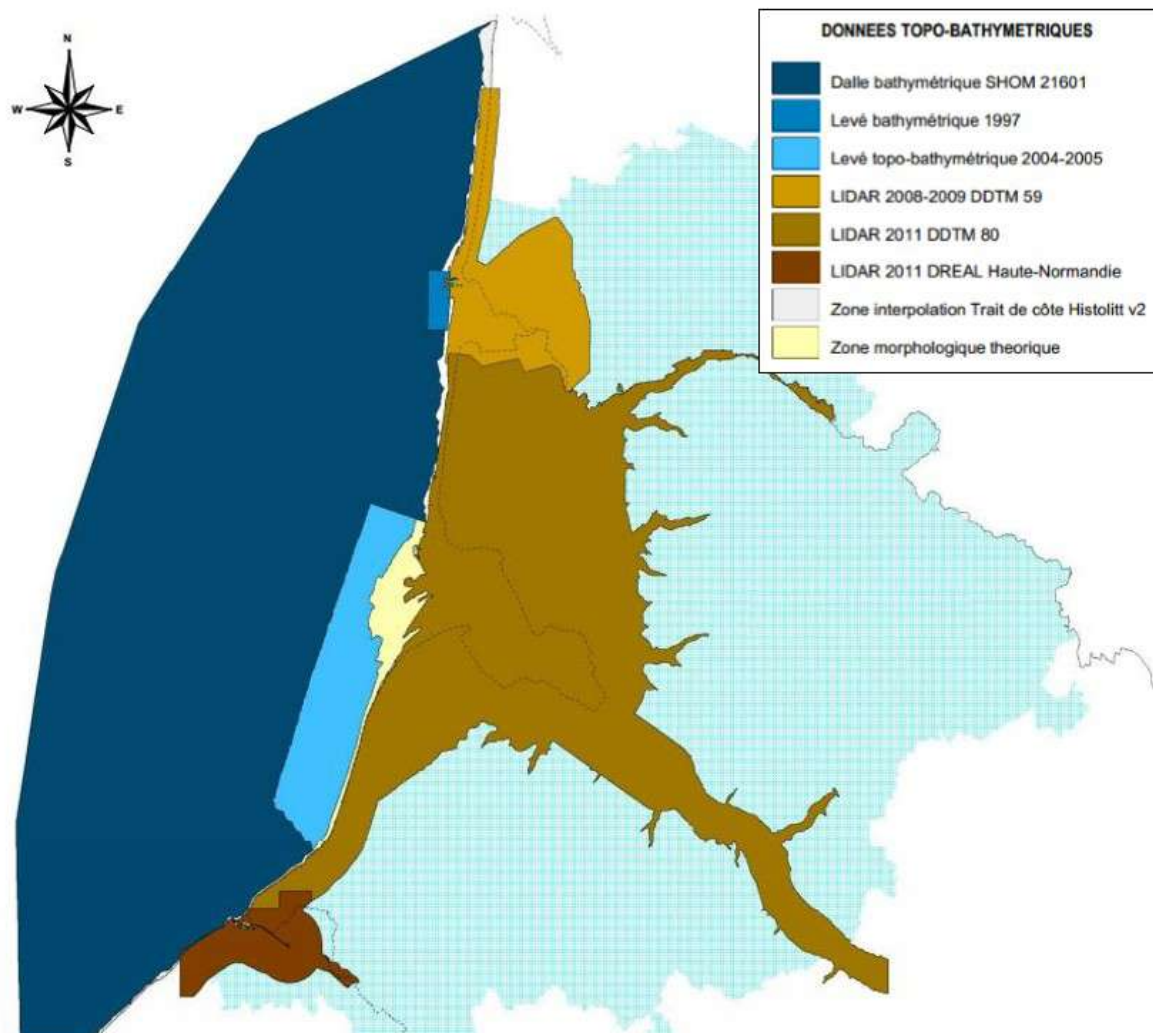


Figure 34 : Synthèse des données topo/bathy utilisées pour le MNTU établi dans le PAPI BSA (source : Artélia)

Les précisions suivantes sur le modèle de submersion terrestre élaboré et utilisé par DHI dans son étude de 2013 sont fournies dans le tableau suivant.

Tableau 14 : Précisions sur le modèle de submersion terrestre d'Artélia de 2015

<b>Modèle élaboré et utilisé par Artélia pour le PAPI BSA</b>	
<b>Type et étendue</b>	Modèle TELEMAC 2D des zones de rencloûture terrestre intégré au modèle maritime. Le long du littoral : cf. modèle maritime. Dans les terres : limité par courbe de niveau 10 m IGN69 => 300 km <sup>2</sup>
<b>Maillage</b>	Mailles de 100 m à 250 m, avec taille adaptée à la morphologie locale. Externalisation des digues (cf. ci-après) et lignes de contraintes pour la représentation des variations alti faibles
<b>Topographie</b>	Données LIDAR 2008 à 2011 complétées par BD ALTI® pour la rive Nord de l'Authie à partir de l'Ecluse Rouge, les abords de l'aérodrome de Berck à l'Est jusqu'à Airon-Notre-Dame et la partie amont de la Bresle depuis Gamache jusqu'à Bouvaincourt-sur-Bresle  <b>Evolution du trait de côte et fonds de baie et bathy des baies pour horizons futurs</b>
<b>Conditions aux limites et paramètres d'entrée</b>	Niveaux/houle à la cote issus des modèles+surcote changement climatique pour le niveau pour les horizons à long terme (pas de modif des autres conditions marines)  <u>Franchissement maritime de la protection littorale</u> : Calculé par <b>formule de TAW</b> (Van der Meer – Eurotop) faisant intervenir houle en pied d'ouvrage modélisée, franc-bord (Zcrête-Zeau), incidence de la houle, pente et géométrie de l'ouvrage. Pentes des digues en terre considérées à 50% en général et celles des cordons dunaires à 10%. Frottements négligés (majoration des débits)  <u>Propagation dans les terres au-delà de la protection littorale</u> :  <b>310 km d'ouvrages linéaires de protection (« digue » avec rôle hydraulique)</b> pris en compte comme singularités hors maillage => <b>casiers hydrauliques indépendants</b> avec débits échangés par surverse entre casiers, calculés par loi de seuil (niveau d'eau, profil et charge de l'ouvrage, longueur). Echange dès que niveau d'eau supérieur à la crête (hors rupture). Les débits sont calculés par portions de digue aux points de maillage amont et injectés au point de maillage aval le plus proche. Crête des ouvrages reconstituées précisément avec le LIDAR (un point/mètre) => ouvrages représentés avec précision et prise en compte de tous les points bas => essentiel lorsque le maillage du modèle est large pour conserver de la précision  <b>Evolution IEM des ouvrages en terre (dégradation) pour horizons futurs sauf si infrastructures de transport</b> <b>115 Ouvrages hydrauliques ponctuels principaux</b> (buses, portes à flots, ponts et grands ouvrages) pris en compte dans le modèle par un couplage de points en amont et en aval de l'ouvrage, reliés par un débit selon loi d'orifice (cotes amont et aval, coefficients de pertes de charge) prenant en compte mise en charge partielle. Fonctionnement ouvrages spécifiques intégrés et sections hydrauliques (dont cotes de fond) proposées par Artélia  Lacs et gravières de taille importante pris en compte avec fonds supposés par Artélia
<b>Effets intégrés et limites</b>	<u>Effets intégrés</u> : <b>Concomitance des phénomènes terrestres et marins le cas échéant</b> . Frottement de fond, influence des phénomènes météorologiques (pression atmosphérique et vent), écoulements torrentiels et fluviaux, traitement de singularités (seuils, digues, buses), etc.  <u>Limites</u> : taille importante des mailles tend à rehausser le niveau d'eau en limite de zone inondée quand topographie augmente significativement (coteaux) => imprécision minimisée en plaine.  Considération du réseau de drainage de dimensions importantes (fossés, canaux), mais pas du réseau secondaire (fossé, drains). Exutoires de ce dernier pris en compte => <b>vidange de tous les points bas avec exutoires représentée par le modèle</b>  Bâtiments non pris en compte physiquement, <b>mais augmentation de rugosité liée à la présence de ces ouvrages prise en compte en milieu urbain dense</b>
<b>Calage</b>	Calage des coefficients de rugosité en premier lieu sur l'expertise d'Artélia, puis calage sur deux évènements : 1990 et Xynthia en 2010

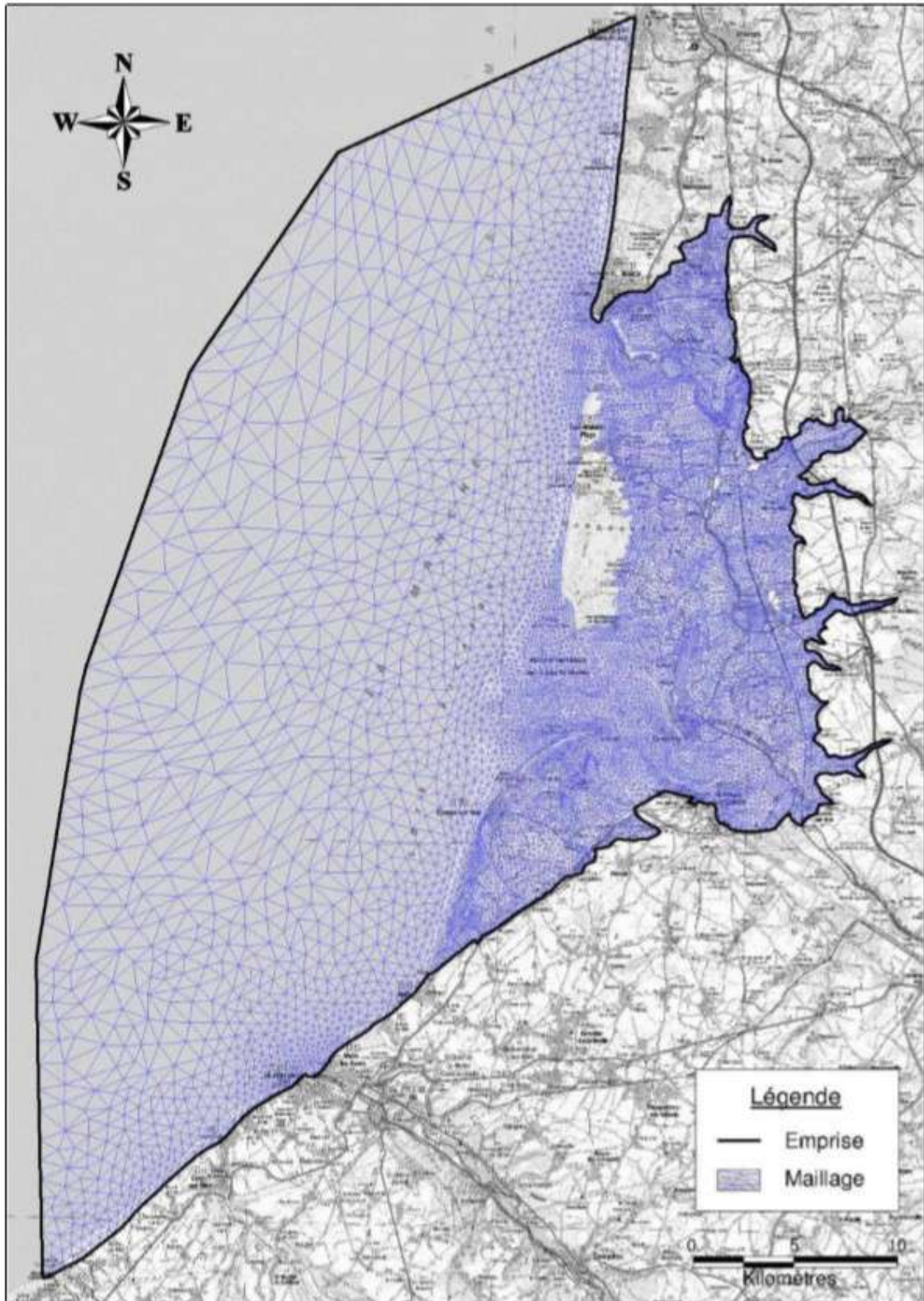


Figure 35 : Maillage du modèle TELEMAC 2D maritime et de submersion intégré dans le PAPI BSA (source : Artélia)

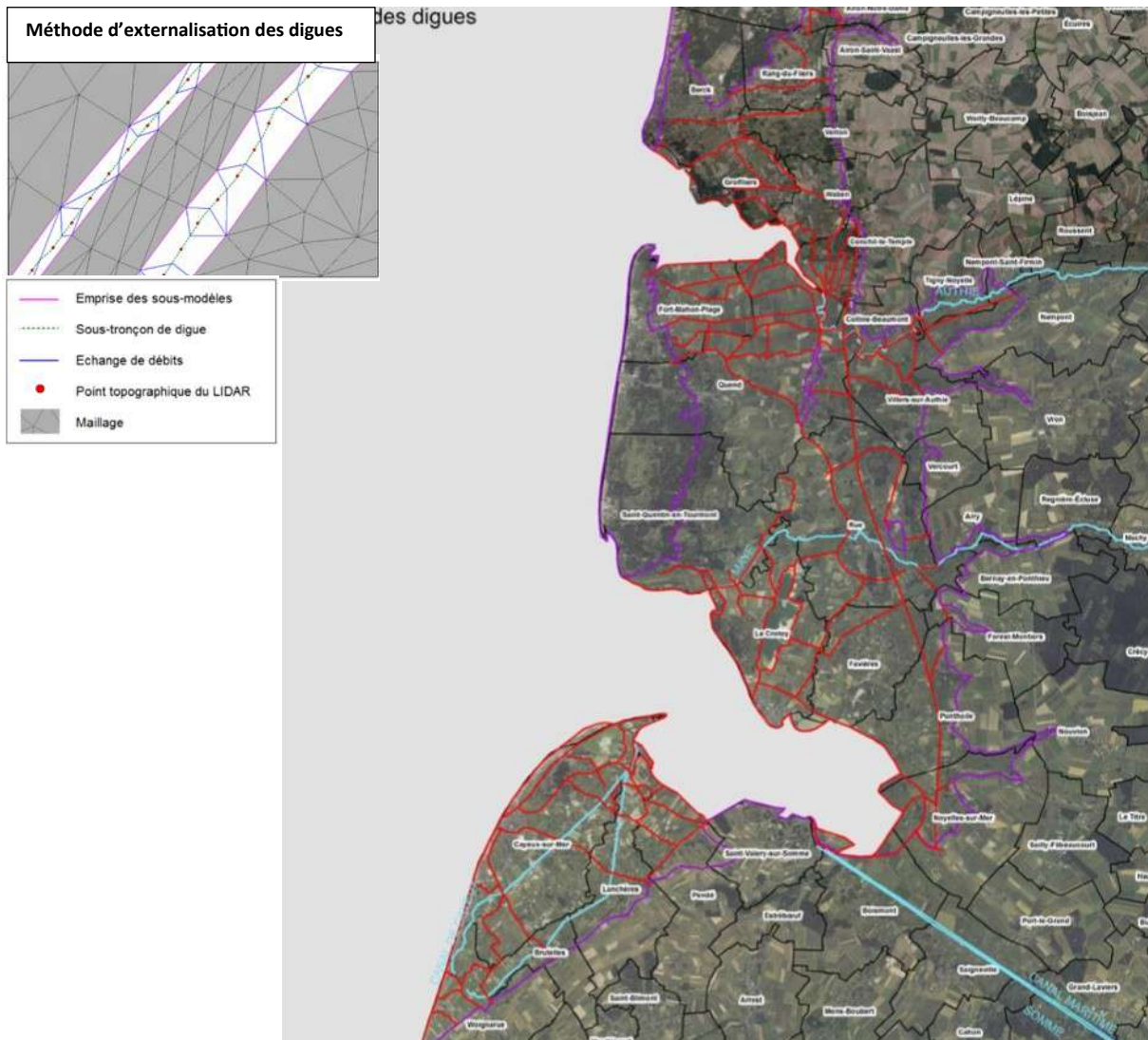


Figure 36 : Ouvrages linéaires externalisés (en rouge) dans la modélisation de submersion du PAPI BSA et schéma de l'externalisation de ces ouvrages (source : Artélia)

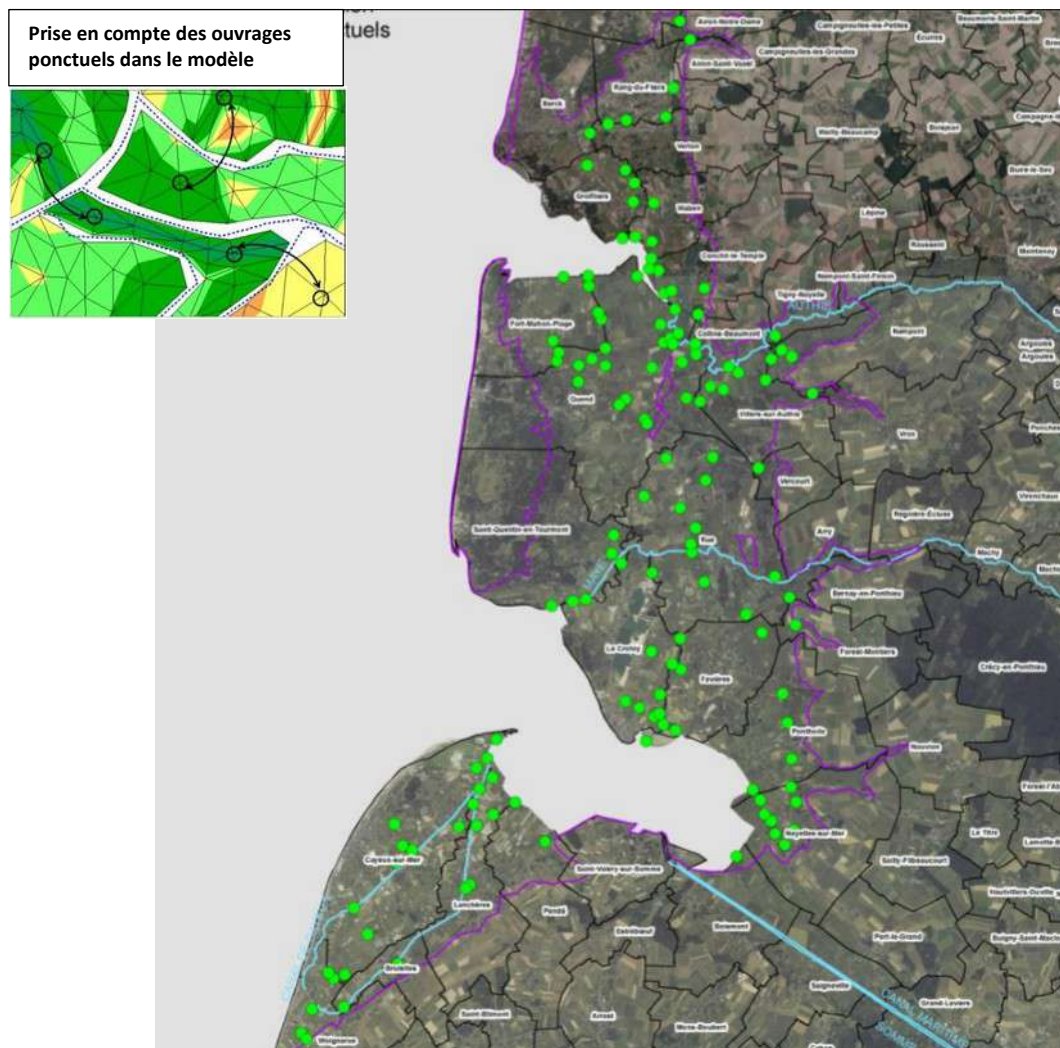


Figure 37 : Ouvrages ponctuels (en vert) pris en compte dans le modèle de submersion du PAPI BSA et schéma de prise en compte de ces ouvrages (source : Artélia)

Dans le détail, les hypothèses retenues pour les évènements marins et fluviaux pour chaque période de retour sont les suivantes :

	Evènement marin sur la côte dans baie d'Authie					
	T=1 an sans tempête	T=1 an avec tempête	T=10 ans	T=20 ans	T=50 ans	T=100 ans
Niveau extrême (m IGN69) : SHOM 2008	5,70	5,70	6,05	6,15	6,30	6,40
<i>Dont marée C106 (m IGN69)</i>	5,20	5,20	5,20	5,20	5,20	5,20
<i>Dont surcote météo*(m)</i>	0,50	0,50	0,85	0,95	1,10	1,20
Surcote liée au vent			0,10 à 0,25**			
Surcote liée à la houle (set up) (m)	--	0,28	0,40		0,43	0,44
*Surcote estimée sur la base de la tempête de 1990 à Dieppe (C106 et PM à 5,20 m IGN69)						
**0,10 m en entrée de baie, 0,20 à 0,25 dans la baie et 0,10 à 0,20 m en fond de baie						

	Evènement marin sur la côte au droit de la baie de Somme, au droit de Quend et des Bas-Champs					
	T=1 an sans tempête	T=1 an avec tempête	T=10	T=20 Ans	T=50 ans	T=100 ans
Niveau extrême (m IGN69) : SHOM 2008	5,95	5,95	6,20	6,30	6,40	6,50
<i>Dont marée (m IGN69)</i>	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30
<i>Dont surcote météo (m)</i>	0,65	0,65	0,90	1,00	1,10	1,20
Surcote liée au vent			0,10 à 0,65*			
Vitesse maximale journalière du vent 270°N (m/s)	--	15,7	20,3	21,5	23,1	24,3
Surcote liée à la houle pour profil-type Quend (m)	--	0,28	0,40		0,43	0,44
<i>Avec houle au large (m)</i>	--	4,8	6,2		7,0	7,3
<i>Avec houle au pied d'ouvrage (m)</i>	--	1,2	1,25		1,40	1,47
Surcote liée à la houle pour profil-type Bas-Champ (m)	--	0,05	0,17		0,20	0,22
<i>Avec houle au large (m)</i>	--	4,8	6,2		7,0	7,3
<i>Avec houle au pied d'ouvrage (m)</i>	--	3,65	3,67		3,68	3,74

\*Surcote estimée sur la base de la tempête de 1990 à Dieppe (C106 et PM à 5,20 m IGN69)  
\*\*0,10 m sur le littoral et en entrée de baie, 0,25 au Crotoy et à Saint-Valéry et 0,65 m en fond de baie

Tableau 15 : Eléments sur les modèles fluviaux de l'étude Artélia de 2015

Fleuve	Détails de la méthode de détermination de l'aléa submersion
Somme	<p>Etude de 2003-2005, modélisation de Péronne à Saint-Valéry-sur-Somme.</p> <p><u>Limites amont de modèle</u> (Péronne et affluents) : injections de débits avec modélisation de quelques kms d'affluents importants</p> <p><u>Limite aval</u> : niveau de marée ; fermeture ouvrages de régulation (barrages/porte à flot) si niveau marée &gt; niveau dans le lit mineur</p> <p><u>Autres paramètres d'entrée</u> : injections de nappe (modèle BRGM)</p> <p><u>Calage</u> : Non débordement pour moyenne annuelle et crue majeure de 2001, puis modification prenant en compte aménagements post 2001</p> <p><u>Connexion au modèle littoral</u> : écluses de Saint-Valéry-sur-Somme et RD940 en fond de baie, ce dernier étant un point d'échange possible si rupture de la route</p>
Authie	<p>Modèle sur la base d'études de 1997 à 2002, d'Auxi-le-Château au Pont-à-Cailloux.</p> <p><u>Limites amont de modèle</u> débit à Auxi-le-Château</p> <p><u>Limite aval</u> : niveau marée en fond de baie d'Authie</p> <p><u>Autres paramètres d'entrée</u> : apports de nappe en aval de Dompierre-sur-Authie</p> <p><u>Calage</u> : crue de l'hiver 1995 pour l'évènement extrême</p> <p><u>Connexion au modèle littoral</u> : lit mineur représenté dans TELEMAC 2D jusqu'au Pont-à-Cailloux et recoupement du modèle fluvial jusqu'au droit de la route reliant Nempont-St-Firmin à Nampont. Sur cette zone. 2 points d'injection de débits de débordement en lit majeur au niveau de Nampont et 1 point de sous-tirage de débit en amont de la voie SNCF (retour au lit mineur) sous condition de niveau d'eau</p>
Bresle	<p>Modèle du CEREMA de l'amont d'Eu jusqu'à la mer : un modèle submersion marine en aval d'Eu et un modèle inondation pour la partie amont =&gt; unification du modèle pour le PAPI et ajout d'un bras pour inondations entre remblai SNCF au Sud et les coteaux au Nord pour tenir compte des submersions par paquets de houle au droit de la plage</p> <p><u>Limites modèle Bresle</u> : débit à l'amont et niveau d'eau à l'aval</p> <p><u>Limites modélisation franchissements</u> : hydrogramme sur un cycle de marée avec houle de 3,5 m en pied d'ouvrage de protection pour T=10 ans et 100 ans (route littorale) et débit nul côté terre (impasse liée au remblai RD925) =&gt; mêmes calculs débits que PPRN de la Bresle (Eurotop). Ecoulements résiduels vers la Bresle par le remblai SNCF</p> <p><u>Connexion au modèle littoral</u> : uniquement échange de conditions aux limites de la mer vers l'intérieur des terres pour le franchissement. Pas de modification de l'état marin par les débits</p>



Fleuve et station	Type de débit	Débits fluviaux de crues (m3/s) et date des évènements connus ayant atteints ces débits ou des débits proches ( )					
		T=2ans	T=5ans	T=10ans	T=30ans	T=50ans	T=100ans
Somme (Abbeville)	Moyen journalier	50	65 (1994)	75	89	96	105 (2001)
Authie (Dompiere-sur-Authie)	Instantané (manuel)	13,6		22,6 (1995)	28	30,4	33,7
Bresle (Pont-et-Marais)	Moyen journalier	11		14,6	16,5 (2001*)	18,9 (2001*)	24,7

*\*Débit de 17,7 m3/s en 2001*

Les **données cartographiées** disponibles **sous format SIG** sont :

- L'extension des zones inondées et la classe d'aléa ;
- Les hauteurs d'eau maximales et niveaux d'eau maximum atteints. Des cotes maximales en des points représentatifs sont données sur le secteur maritime. Ces cotes sont a priori hors surcote de déferlement ;
- La localisation des zones de débordement sans rupture, des brèches et des zones de franchissement pour les ouvrages de protection ;
- Les vitesses d'écoulement ;
- Les temps de submersion.

### 5.3.3. Comparaison des méthodes de DHI et d'Artélia pour la détermination de l'aléa

#### A. Concernant la définition des évènements marins

Les différences entre les deux méthodes concernant la définition des évènements marins résident dans :

- **Détermination du couplage niveau d'eau/houle au large**

Le niveau d'eau au large intégrant la surcote météorologique et la composante additionnelle due à la houle au large propagée à la côte (set-up) sont des éléments fondamentaux dans la définition du niveau marin total à la côte à considérer. **Il faut néanmoins garder en tête que pour le littoral étudié, c'est bien le niveau d'eau au large qui est nettement prépondérant dans le niveau marin total à la côte.**

Pour déterminer un évènement marin total de référence de période de retour donnée engendrant une submersion à la côte, plusieurs méthodes peuvent être appliquées pour déterminer le couple niveau d'eau/houle au large à l'origine de cet évènement.

Deux méthodes différentes sont utilisées dans les études disponibles. Elles sont présentées ci-après en considérant la caractérisation d'un évènement marin centennal, T=100 ans.

### **Méthode similaire RFS**

La méthode similaire RFS (Règle Fondamentale de Sûreté) a pour principe de considérer que le niveau d'eau et la houle sont totalement dépendants l'un de l'autre, et que le seul couple niveau d'eau/houle au large pouvant engendrer l'évènement marin centennal, est constitué du niveau d'eau et de la houle de même période de retour que l'évènement, soit T =100 ans.

**Cette approche est jugée par le CEREMA (ex CETMEF) conservatrice à très conservatrice (voire trop), en particulier sur des sites à fort marnage où l'influence de la marée est prépondérante.**

### **Méthode simplifiée du DEFRA**

La méthode simplifiée du DEFRA (2005) a été développée pour les côtes britanniques et n'est applicable que pour les sites à fort marnage (littoral de la mer du Nord, Manche et Atlantique). Elle est donc bien applicable sur le littoral des Hauts-de-France.

De manière générale, cette méthode est basée sur le fait que les niveaux d'eau et les vagues au large sont plus ou moins dépendants les uns des autres, ce qui est plus représentatif de la réalité que la méthode RFS. Il en résulte qu'un évènement marin centennal peut être caractérisé par plusieurs couples niveau d'eau/houle de périodes de retour différentes.

Dans la méthode simplifiée proposée, un facteur de dépendance, FD, intervient alors dans le calcul de la période de retour Tc d'un évènement conjoint de dépassement simultané d'un niveau d'eau de période de retour Tn et d'une houle de période de retour Tv.

Valeur de FD	FD<2,5	2,5≤FD<25	25≤FD<125	125≤FD<600	FD≥600
Valeur conseillée par DEFRA	2	20	100	500	1500
Catégorisation de la dépendance	Indépendance	Faible dépendance	Forte dépendance	Très forte dépendance	Dépendance exceptionnelle

Le CEREMA recommande de prendre en compte un facteur de dépendance minimum de 25 pour le littoral de la Mer du Nord et de la Manche (en lien avec les corrélations entre les deux paramètres faites par le SHOM) pour l'étude des évènements marins de référence centennaux. La valeur de 25 est l'hypothèse qui a été prise par DHI.

La figure suivante donne l'ensemble des couples niveau d'eau de période de retour Tn/houle de période de retour Tv qui engendrent un évènement conjoint de période de retour 100 ans.

Tc = 100 ans - Facteur de dépendance 25															
Niveau marin	Tn (années)	100	50	20	10	5	3,5	2	1,8	1	0,7	0,4	0,2	0,07	0,04
Houle (Hs)	Tv (années)	0,04	0,07	0,2	0,4	0,7	1	1,8	2	3,5	5	10	20	50	100

La méthodologie classique est de retenir plusieurs de ces couples, les plus pertinents notamment en ce qui concerne les données de houle disponibles, et de calculer pour chacune de ces couples le set-up à la côte correspondant. Le couple donnant finalement le niveau d'eau total à la côte maximum (niveau d'eau au large +set-up) est retenu.

On considère que la période de retour de ce niveau d'eau total à la côte est celui de l'évènement conjoint retenu qui le définit, ici 100 ans. Ceci est néanmoins une approximation puisque cette période de retour est en réalité plus courte.

**Cette méthode a donc tendance à sous-estimer le niveau d'eau total à la côte retenu pour un évènement marin de référence d'une période de retour T donnée. Selon le DEFRA, l'erreur est d'autant plus faible que T est grand (10, ou 100 ans). De ce fait, le CEREMA recommande, dans une optique plus sécuritaire d'ajouter une valeur forfaitaire au niveau d'eau à la côte (+25cm dans la méthode PPR), et/ou de prendre les bornes hautes des intervalles de confiance pour les niveaux d'eau et les houles au large, et/ou de surestimer la dépendance FD d'une catégorie.**

### *Comparaison et conclusions sur les deux méthodes*

Une méthode est donc jugée trop conservatrice pour le littoral étudié (à fort marnage) et l'autre pas assez sécuritaire.

DHI et le CEREMA pour le PPRL de la Bresle ont retenu la méthode du DEFRA, en retenant un facteur de dépendance de 25. Leurs deux approches divergent dans l'ajout d'une sécurité sur les résultats : le CEREMA a considéré les +25 cm forfaitaires d'incertitude (méthode PPRL), tandis que DHI a plutôt estimé une majoration due à une incertitude de calcul du set-up (incertitude donnée par la différence entre le calcul original et un calcul avec des paramètres modifiés, dont une augmentation de 10 cm de la houle). La majoration considérée par DHI est néanmoins nulle à très faible (+5 cm au plus).

Artélia a retenu la méthode RFS après avoir comparé les deux méthodes, en considérant néanmoins des facteurs de dépendance plus importants pour la méthode DEFRA : FD = 100 et FD = 500. La comparaison des deux méthodes montre des résultats assez similaires. De manière générale, la méthode RFS est, par rapport à la méthode DEFRA :

- Plus conservatrice pour les périodes de retour 50 et 100 ans, avec +20 cm en moyenne et jusqu'à +26 cm de niveau total à la côte pour l'évènement centennal à Quend,
- Un peu moins pénalisante pour la période de retour 10 ans, avec -6cm sur le niveau total à la cote et jusqu'à -13cm pour l'évènement décennal aux Bas-Champs.

**Il aurait été intéressant qu'Artélia réalise la comparaison des méthodes avec un facteur de dépendance de 25 pour réellement comparer les deux approches.**

### **B. Concernant la submersion terrestre**

- **Modélisation des ouvrages de protection et scénarios de rupture**

Contrairement à Artélia pour le PAPI BSA, DHI a choisi de ne modéliser :

- Ni brèches multiples se produisant simultanément
- NI brèche dans les ouvrages de protection de second rang.

Sur le premier point, la prise en compte de plusieurs brèches se produisant en même temps est effectivement plutôt conservatrice et peut tendre à se rapprocher d'un scénario d'effacement complet ou partiel des ouvrages.

Concernant le second point, DHI justifie la non-modélisation de brèche dans les ouvrages de second rang pour ne pas minimiser (sous-estimer) l'aléa sur les secteurs compris entre ces ouvrages et la mer. Cette position est conservatrice pour ces secteurs et peut être justifiée si les enjeux à protéger sont présents essentiellement sur ces secteurs.

Au sujet de la cinétique d'ouverture générale retenue pour les brèches, ouverture à PM-1h pendant 15 min, DHI estime que les hypothèses prises dans son étude sont un compromis sécuritaire et réaliste :

- sur le moment d'ouverture : PM-1h mène à une emprise maximale de l'inondation et à des vitesses d'écoulement qui ne sont ni les plus fortes (celles à PM), ni les plus faibles (celles avant PM-1h). Les hauteurs d'eau considérées sont néanmoins plus faibles que celles avant PM-1h
- sur le temps d'ouverture : 15 min est réaliste selon REX sur ces phénomènes. Des durées supérieures mènent à une réduction de l'afflux d'eau et donc une réduction de l'emprise de l'inondation et des vitesses d'écoulement.

Artelia considère dans son étude une création instantanée de la brèche au moment où les conditions de déclenchement sont atteintes.

## 5.4. Conclusion concernant l'aléa submersion

**Au regard des données disponibles et des analyse menées, il ressort que seul l'aléa submersion calculé dans le cadre des PPRL peut permettre d'avoir une donnée valide et homogène sur l'ensemble de la zone d'étude. Seule cette donnée sera donc exploitée dans la suite de l'étude (voir chapitre 8.1).**

## 6. Généralités concernant les enjeux

### 6.1. Présentation du périmètre d'analyse des enjeux

Le périmètre d'analyse des enjeux comprend l'ensemble du littoral des Hauts-de-France (de Mers-les-Bains jusqu'à la Frontière Belge).

À la suite des premières analyses des dynamiques territoriales à l'échelle du littoral des Hauts-de-France, le comité technique a défini le périmètre de l'étude. Pour tenir compte des interactions entre le littoral et l'arrière-pays, ce périmètre intègre à la fois les communes et rétro-littorales.

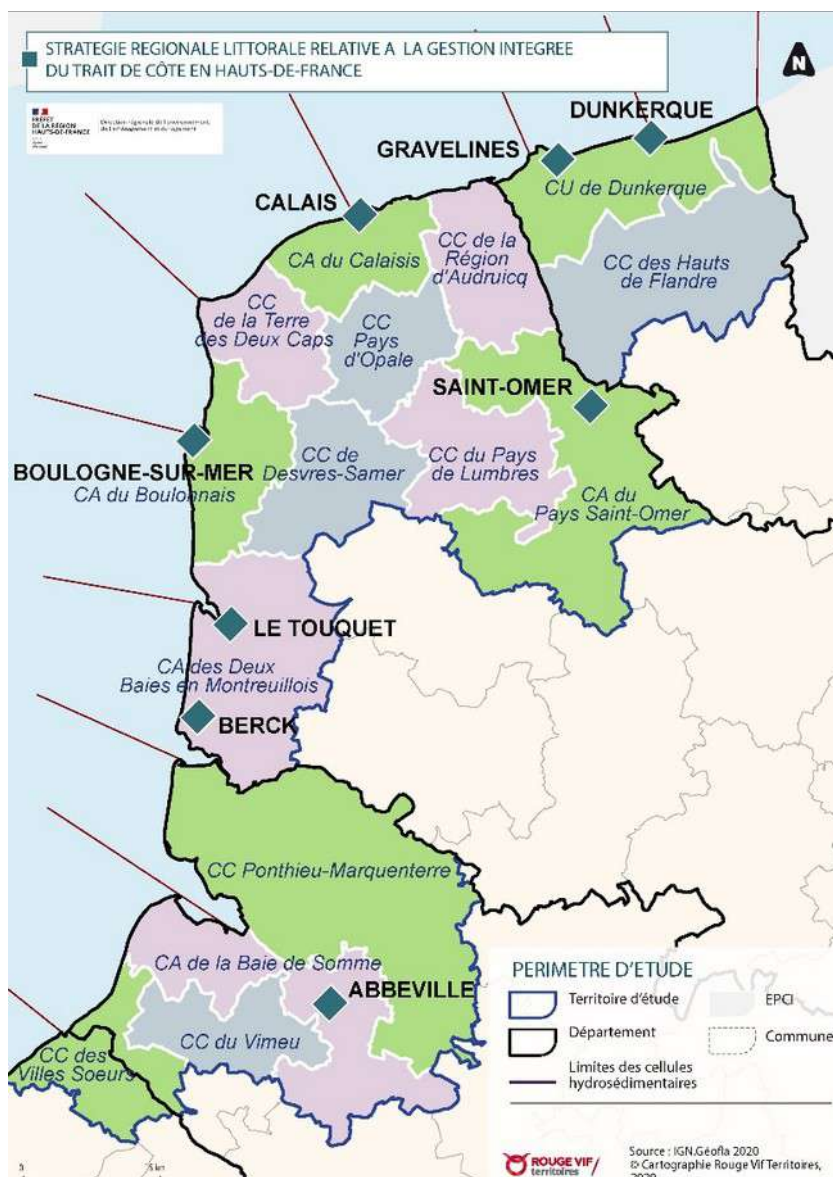


Figure 38 : Périmètre d'étude des enjeux

### 6.2. Identification des thématiques à enjeux du territoire

L'analyse bibliographique et des dynamiques territoriales propres au littoral des Hauts-de-France ont permis de mettre en évidence un ensemble de phénomènes et de problématiques caractéristiques du territoire. Afin de qualifier les enjeux soumis aux aléas littoraux, une sélection d'indicateurs a été produite sur des thématiques diverses : espaces naturels, population, bâti/logement, équipements et

infrastructures, emploi, agriculture, activités liées à la mer, tourisme pour comprendre les dynamiques à l'œuvre aux différents échelons : régional, départemental et local (cellules hydrosédimentaires).

L'analyse des enjeux à l'échelle régionale, présentée dans le rapport méthodologique, permet de comprendre le contexte global dans lequel s'inscrit la stratégie et les dynamiques plus locales, à l'échelle des cellules hydro-sédimentaires, présentées dans les fiches détaillées en annexe. Les thématiques traitées ont été présentées et actées lors des réunions avec le comité technique.

## 6.3. L'analyse des enjeux à l'échelle régionale

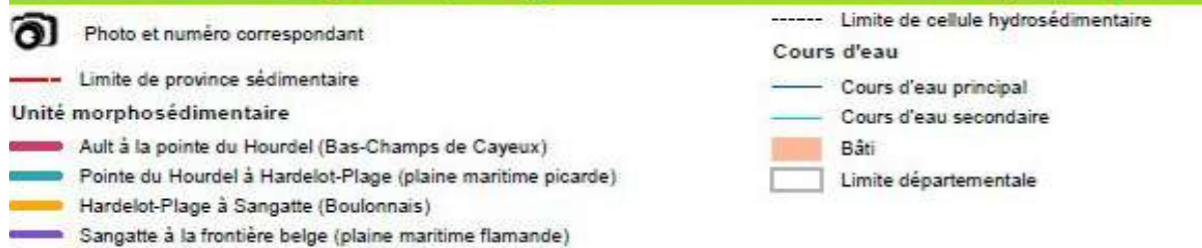
### 6.3.1. Géomorphologie et dynamiques d'aménagement du littoral

#### 6.3.1.1. Géomorphologie du littoral

Le littoral des Hauts-de-France s'étend sur 240 km entre la baie de Somme et la frontière belge avec une grande diversité morphologique intimement liée à la géologie du secteur.

Composé principalement de **deux façades maritimes à rivages sableux** (les plaines maritimes picarde et flamande), encadrant **un rivage rocheux à falaises** (le Boulonnais), lui-même **entrecoupé d'espaces dunaires** (dunes de la Slack ou de Wissant), le littoral s'organise ainsi autour de **trois grands ensembles** :

- la **plaine picarde** (de la baie de Somme jusqu'à Équihe-Plage -100 km) avec des altitudes proches du niveau de la mer dans les Bas-Champs. Entre la Somme et l'Authie, elle dispose d'un système dunaire protégeant les Bas-Champs. Elle est par ailleurs traversée par les estuaires de la Somme, de l'Authie et de la Canche ;
- Les **falaises du Boulonnais** (d'Équihe-Plage à Sangatte -47 km) présente une topographie très contrastée entre les baies et les falaises culminant à 50 m au niveau du cap Gris-Nez, et jusqu'à 133 m au niveau du cap Blanc-Nez.
- la **plaine flamande** (de Sangatte à la frontière belge -95 km) qui est installée sur l'ancien delta de l'Aa drainé et poldérisé au cours des siècles. Caractérisée par des altitudes faibles parfois même en dessous du niveau de la mer la plaine flamande est la plus basse des plaines du Nord. Elle dispose par ailleurs d'un système dunaire isolant de la mer une plaine submersible, et entrecoupé par l'estuaire de l'Aa ainsi que par les ports et villes de Calais et Dunkerque.

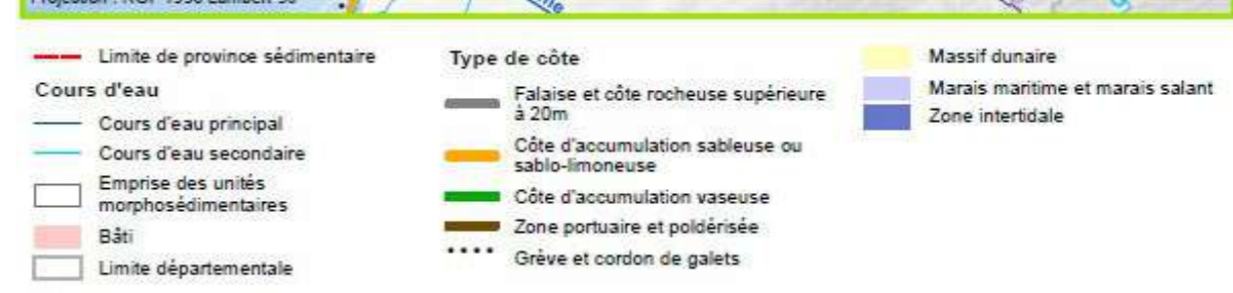


Pour en savoir plus : [www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr](http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr)

Source - Copyrights :  
Province sédimentaire, unité morphosédimentaire, cellule hydrosédimentaire - Cerema & MEEM  
Bathymétrie de métropole - Ifremer  
Pays limitrophes - EEA  
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012

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

Crédits photos :  
© Laurent Mignaux / MEEM



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

Source - Copyrights :  
Province sédimentaire, unité morphosédimentaire - Cerema & MEEM  
Géomorphologie du trait de côte - EEA & Cerema  
Estran, trait de côte - Cerema & MEEM  
Bathymétrie de métropole - Ifremer

Pays limitrophes - EEA  
GEOFLA® - ©IGN Paris - Reproduction interdite  
BD Alti® - ©IGN Paris - Reproduction interdite  
TC Historitt - ©SHOM - ©IGN Paris - Reproduction interdite  
Occupation du sol - Corine Land Cover 2012  
Cours d'eau - BD Carthage

Figure 39 : Unités morphosédimentaires et types de côte

Source : Dynamiques et évolution du littoral - Synthèse des connaissances de la frontière belge à la pointe du Hourdel – Cerema, 2017

### **6.3.1.2. Une occupation des sols liée à la géomorphologie du territoire**

La région Hauts-de-France possède un littoral caractérisé par une concentration d'activités industrialo-portuaires et agricoles et d'une forte densité de population notamment dans les agglomérations.

Cette occupation des sols du littoral est étroitement liée au type de côte et à la nature des sols rencontrés.

Ainsi, de la baie de Somme à Équihen-Plage, la côte est principalement constituée d'espaces dunaires nus ou légèrement boisés, entrecoupés des zones urbanisées. À l'arrière de cet espace dunaire, les prairies et bois sont prédominants.

D'Équihen-Plage à Sangatte, les sols sont assez fortement artificialisés, surtout dans la partie sud de ce secteur. Les cultures dominent les sols des paysages arrière-littoraux au niveau du site des Caps (60 % de culture) et s'équilibrent avec les prairies et les bois dans le Boulonnais.

De Sangatte à la frontière belge, l'occupation du sol est partagée entre le littoral dunaire plus étroit et une forte anthropisation (Calais, Gravelines, Dunkerque).

À l'arrière de ces zones, le sol est occupé par des cultures, entrecoupées par quelques zones de prairies naturelles permanentes (Calaisis).



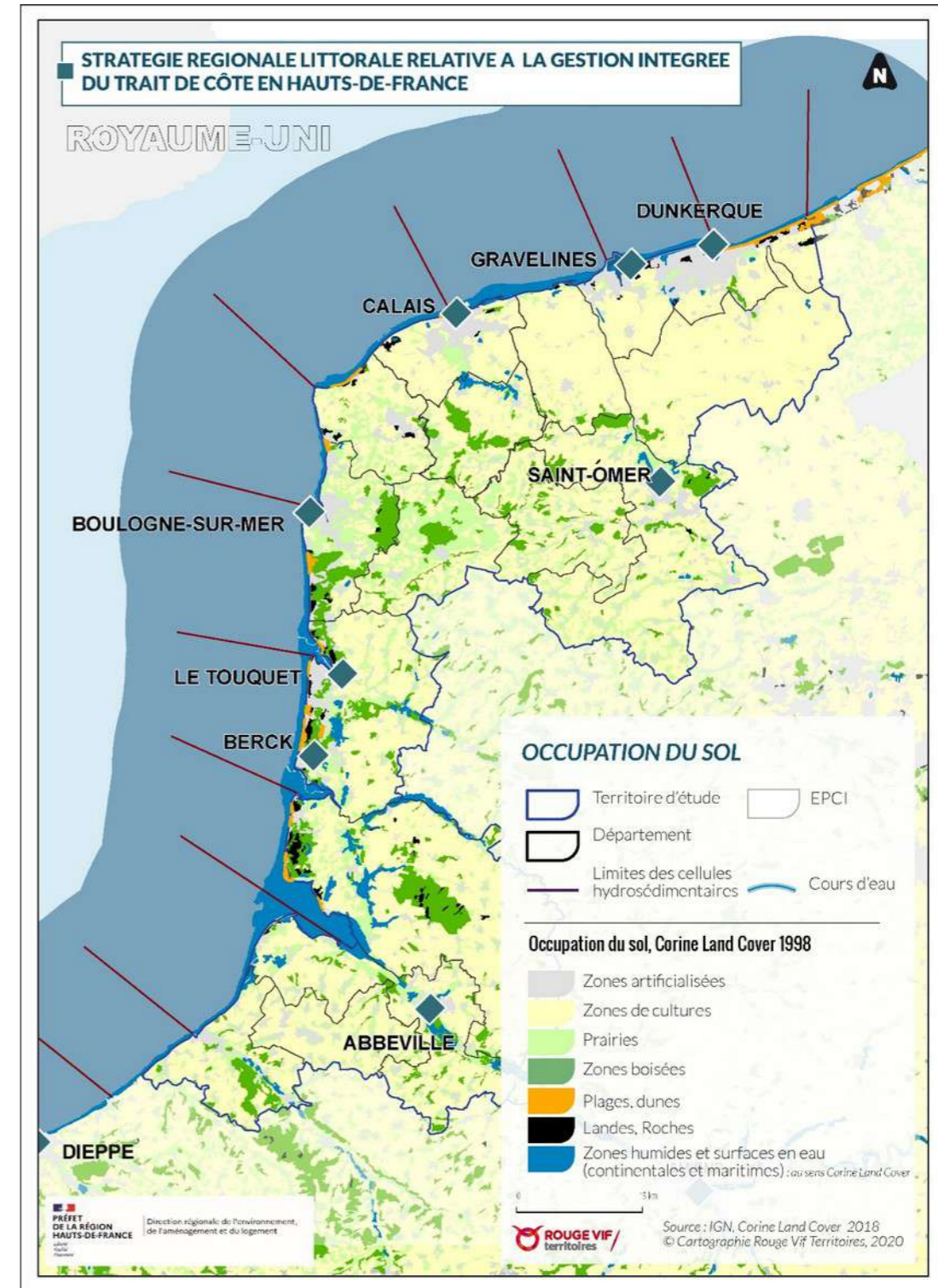


Figure 40 : Cartographie de l'occupation des sols

### 6.3.3. **Le patrimoine naturel**

Bien que relativement urbanisée, le littoral des Hauts-de-France dispose d'un patrimoine naturel et paysager remarquable (Baie de Somme, site des Caps, dunes de Flandres...). À l'interface de la terre et de la mer, le littoral se caractérise par la grande richesse de ses milieux naturels et par sa fragilité notamment liée aux changements climatiques. Sa protection constitue ainsi un enjeu majeur au regard des multiples pressions auxquelles il est soumis.

#### **Un territoire bien couvert par les politiques de gestion des espaces naturels**

Le territoire d'étude est couvert par un important réseau de sites Natura 2000 terrestres et maritimes au titre des directives européennes « Habitat » et « Oiseaux » : Bancs des Flandres, Cap Gris-Nez, Récifs Gris-Nez Blanc-Nez, Baie de Canche et couloir des trois estuaires, Ridens et dunes hydrauliques du détroit du Pas-de-Calais, ....

Les sites couverts par la directive « Oiseaux » sont d'une ampleur majeure compte-tenu du fait que le littoral des Hauts-de-France constitue un axe majeur de migration de l'avifaune d'Europe du Nord-Ouest. La libre circulation des espèces représente un enjeu primordial. Si l'on regarde la sous-trame littorale du SRADDET, le littoral picard est ainsi concerné par une continuité d'importance nationale liée aux voies de migration pour l'avifaune, par des vols pré-nuptiaux et post-nuptiaux. Les sites de la baie de Somme, du cap Gris-Nez, le platier d'Oye ou la jetée du Clipon sont notamment fréquentés par de très nombreux Limicoles, oiseaux marins, certains passereaux, oie cendrée, bernache cravant, etc. Les estuaires et larges plages du littoral constituent des zones de repos et d'alimentation pour les espèces en tant que lieux de haltes migratoire.

Au réseau des sites Natura 2000, s'ajoutent d'autres outils de protection et de préservation des espaces naturels :

- Plusieurs zones humides d'importance internationale inscrites sur la liste de la convention de Ramsar : la Baie de Somme ainsi que le Marais et tourbières des vallées de la Somme et de l'Avre et le Marais Audomarois dont une partie de leur périmètre se trouve sur notre territoire d'étude.
- 4 Réserves naturelles nationales (10 RNN en tout en Hauts-de-France) : la Baie de Somme, la Baie de Canche, le Platier d'Oye et la Dune Marchand. Plusieurs réserves naturelles régionales se trouvent également sur le territoire.
- 1 Parc Naturel National : Parc naturel marin des Estuaires picards et de la mer d'Opale
- 1 Parc Naturel Régional : PNR des Caps et marais d'Opale
- Plusieurs arrêtés de protection biotope : Pré communal d'Ambleteuse, le Fort Vert, Côteaux Calcaires du Boulonnais, Marais de Guines et d'Andres, etc.
- De nombreux sites sont protégés par le Conservatoire du littoral qui mène une politique ambitieuse d'acquisition de parcelles du littoral menacées par l'urbanisation ou dégradées.

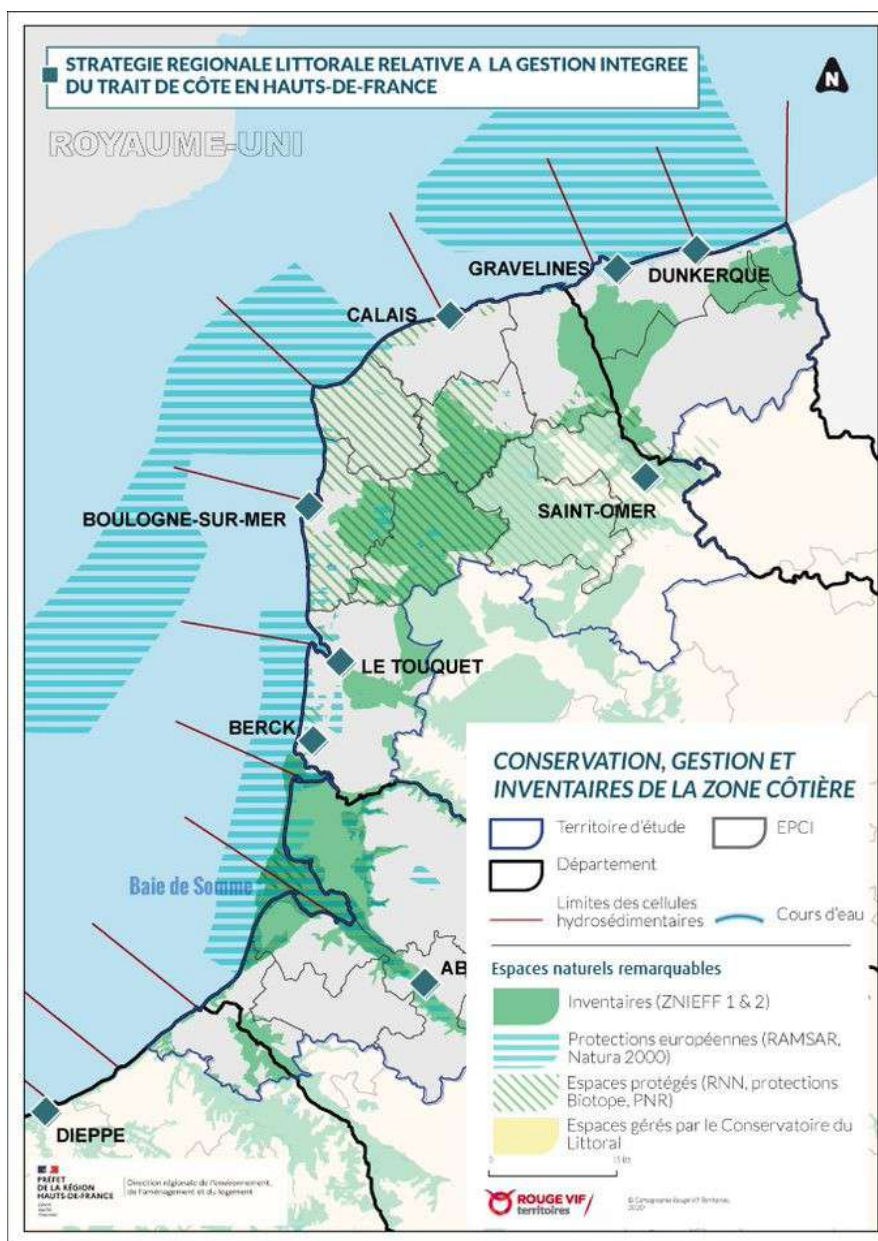


Figure 41: Cartographie des espaces naturels remarquables

### Un patrimoine naturel riche facteur de résilience et d'attractivité

Les écosystèmes du littoral des Hauts-de-France (dunes, falaises, estuaires, estrans, marais...) sont le siège de nombreux services.

La bonne fonctionnalité de ces écosystèmes est essentielle pour assurer de multiples services pour le territoire :

- habitats et corridors écologiques particulièrement importants et fonctionnels à l'échelle régionale, voire internationale,
- protection contre les risques naturels (rôle des dunes dans la gestion de l'érosion ou des zones humides dans la régulation de la submersion par exemple),
- production de ressources alimentaires (filières halieutiques et agricole par exemple),

- productions énergétiques (énergies marines renouvelables)
- activités touristiques et de loisirs (baignade, sports nautiques, pêche à pied, chasse à la hutte), etc.

Ces services écosystémiques parfois difficiles à évaluer renforcent la robustesse des territoires face aux perturbations écologiques et jouent notamment un rôle dans l'adaptation au changement climatique.

### Des pressions importantes sur les espaces littoraux

Différents phénomènes et pressions participent à la fragilité et la vulnérabilité du littoral et impactent les habitats et écosystèmes : recul du trait de côte, ensablement, surfréquentation touristique, banalisation des milieux liée à l'abandon de certaines pratiques agricoles, urbanisation non maîtrisée et étalement urbain, etc.

L'annexe 2 du SRADDET, le diagnostic et plan d'action stratégique biodiversité, dénombre plusieurs facteurs de perturbations du fonctionnement écologique des milieux : les aménagements hydrauliques, les pompages, les plantations massives de résineux ou de feuillus non indigènes (peupliers divers) ou envahissants (Érable sycomore).

L'estran et les milieux estuariens sont quant à eux très sensibles à la qualité de l'eau : les polluants chimiques déversés dans les rivières, sur le littoral et en mer affectent les écosystèmes côtiers et les déchets marins déposés régulièrement par les marées souillent les plages et peuvent contribuer à leur eutrophisation. Plus généralement, la problématique de la qualité des eaux est également mentionnée dans plusieurs SCOT qui couvrent le territoire étudié au regard des pollutions liées notamment aux activités industrialo-portuaires et agricoles.

## 6.3.4. Les enjeux humains et économiques

### 6.3.4.1. La population, le bâti et l'habitat

#### Un territoire dense, avec d'importants contrastes entre secteur littoral et territoires rétro-littoraux

Avec 909 795 habitants répartis sur 485 communes (15% de la population régionale), le périmètre d'étude est positionné au-dessus de la moyenne régionale pour sa densité de population avec 190 habitants par km<sup>2</sup>.

Au sein du périmètre d'étude, les EPCI littoraux se caractérisent par la présence de nombreux pôles urbains (Dunkerque, Calais, Boulogne-sur-Mer, Le Touquet, Berk, ...) au sein desquels se concentre la majeure partie de la population (606 154 habitants dans EPCI littoraux, soit plus de 66% de la population). Sur ces secteurs, la densité moyenne est de 225,76 hab./km<sup>2</sup> contre 134,73 hab./km<sup>2</sup> sur la partie rétro-littorale.

À une échelle plus fine, avec une moyenne de 576,68 hab./km<sup>2</sup> et 559,54 hab./km<sup>2</sup>, la communauté d'agglomération du Calais et la communauté d'agglomération du Boulonnais sont les EPCI les plus densément peuplées du périmètre d'étude. La communauté d'agglomération du Ponthieu-Marquenterre est quant à elle la moins densément peuplée avec 42 hab./km<sup>2</sup>. **D'une manière générale, ces données sont révélatrices d'une population inégalement répartie entre les territoires littoraux et rétro-littoraux, ainsi qu'entre les départements.**

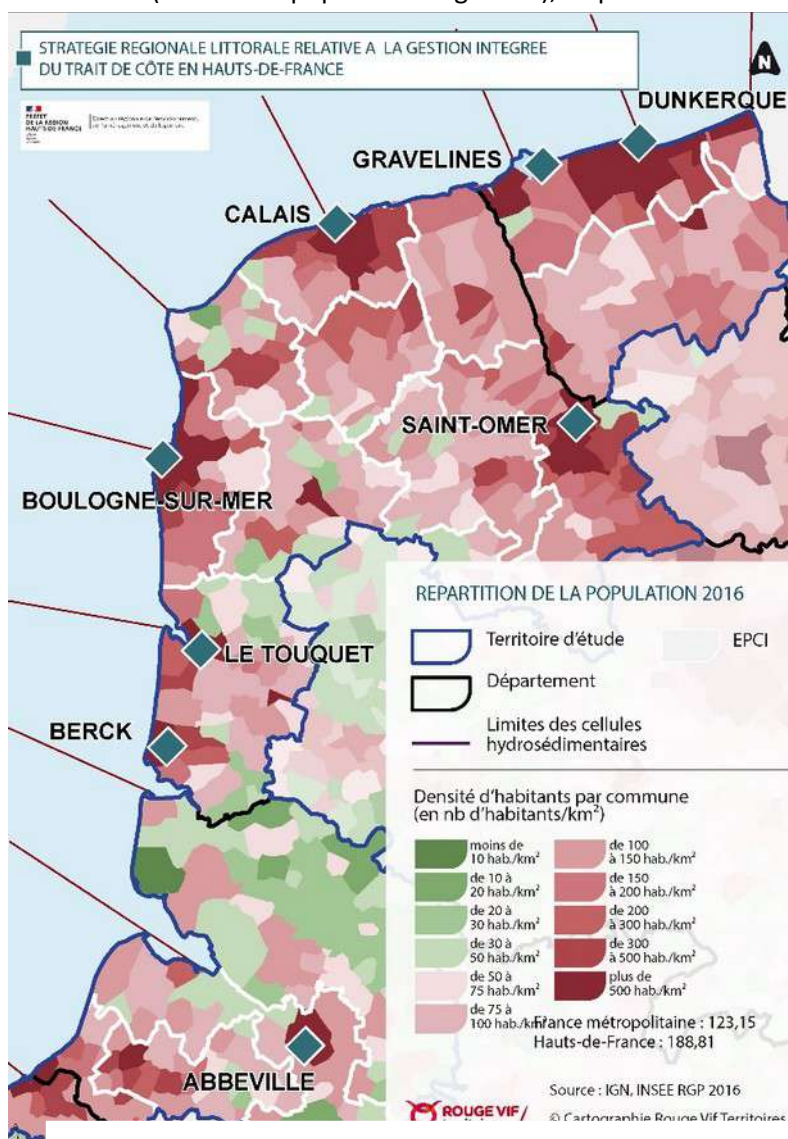


Figure 42 : Densité de population

Le périmètre d'étude affiche une faible croissance **démographique** les dix dernières années (**+0,03% entre 2006 et 2016**, soit une augmentation de près de 290 habitants). Cette croissance démographique est bien inférieure aux dynamiques de la France métropolitaine (+5%), des Hauts-de-France (+1,59 %) et des trois départements : +1,5% dans le Nord, +1,49% dans la Somme et +1,19% dans le Pas-de-Calais.

**Cette évolution démographique très modérée est la conséquence d'une faible dynamique sur le littoral alors que dans le même temps les communes rétro littorales affichent une forte croissance : +3,5% entre 2006 et 2016, soit une croissance de +10 283 habitants, dans les EPCI rétro littoraux contre -1,6% sur le littoral, soit une perte de 9 995 habitants.**

Si la dynamique démographique est mesurée, une progression forte des ménages est observée entre 2006 et 2016 (+9,7% sur le périmètre d'étude). Cette croissance est moins marquée sur le littoral (+8,5% contre +12,9% sur les secteurs rétro littoraux). En parallèle, on observe un desserrement de la taille des ménages lié notamment au phénomène de décohabitation.

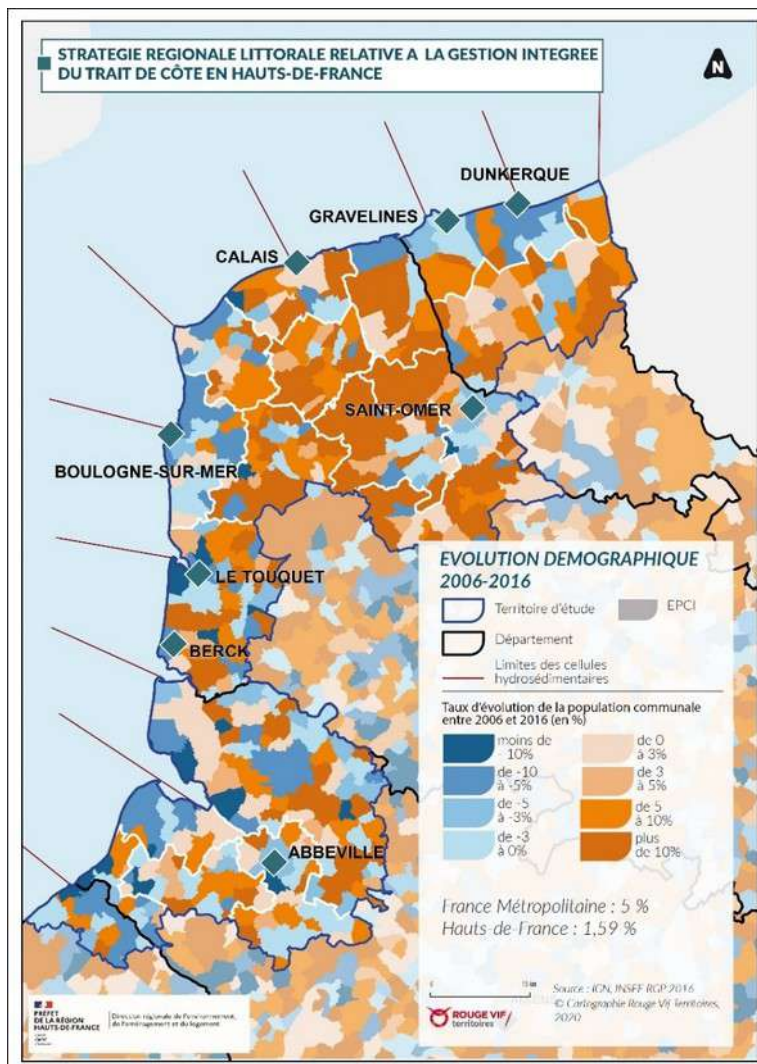


Figure 43: Taux d'évolution de la population

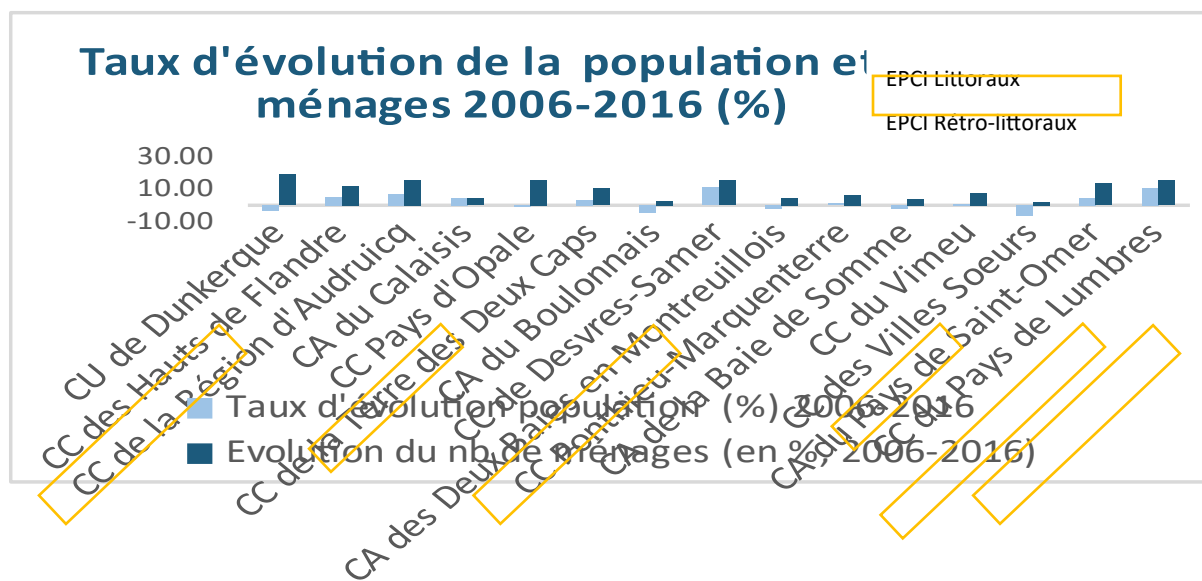


Figure 44 : Evolution de la population et des ménages (source : INSEE, RGP 2016)

### Une population littorale qui stagne en raison de rares migrations mais qui augmente fortement pendant la période estivale

Sur le périmètre d'étude, la croissance démographique est principalement portée par le solde naturel. Alors que le solde migratoire est souvent le facteur principal de la croissance démographique des territoires littoraux, il contribue peu à la dynamique démographique du littoral des Hauts-de-France

(-0,39%/an entre 2011 et 2016 pour le solde migratoire contre +0,23% de la croissance annuelle pour le solde naturel). A l'exception du Calaisis et de la communauté de commune Ponthieu-Marquenterre qui enregistrent un solde migratoire positif (respectivement +0,52% et +0,1%).

L'évolution de la démographie dans le secteur rétro-littoral repose sur un solde migratoire faible (+0,07%/an de la croissance) et un solde naturel positif (+0,35%/ an).

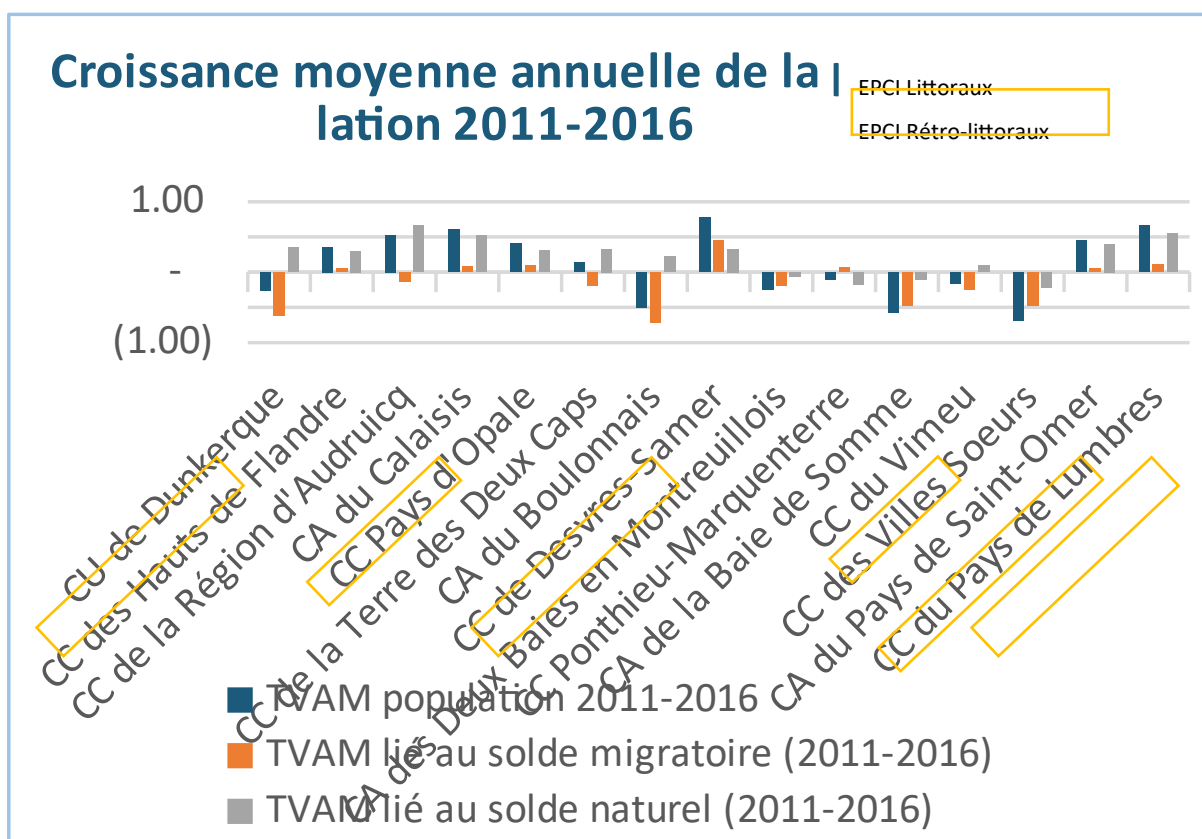


Figure 45 : Croissance moyenne annuelle de la population (source : INSEE, RGP 2016)



### Focus sur la population saisonnière

Comme l'ensemble des secteurs littoraux, le territoire d'étude est soumis à une importante variation de sa population en fonction de la saisonnalité. En 2014, la population saisonnière supplémentaire représentait environ 385 000 personnes ; soit plus de 40% d'augmentation par rapport à la population communale. Cette augmentation de la population est particulièrement sensible dans les EPCI littoraux (60% de l'accroissement saisonnier).

Les secteurs du Montreuillois et de Marquenterre concentrent l'essentiel de l'accroissement démographique saisonnier. La présence de stations balnéaires (Le Touquet, Berck, ...) et des équipements d'accueil touristiques associés expliquent cette singularité. Au niveau de l'accroissement généré ; ces deux EPCI se distinguent logiquement avec un accroissement d'environ 200% de la population. Les communautés de communes des Villes Sœurs et de la Terre des Deux Caps présentent également des niveaux d'augmentation importants avec respectivement +80% et + 70%.

Cette fluctuation saisonnière n'est pas sans conséquence sur les besoins en services (eau, déchets, voies de communication notamment) mais génère aussi activité économique forte entre l'hébergement et la restauration.

Ce scénario de forte augmentation de la population du territoire est aussi à prendre dans la gestion des risques naturels et en particulier les risques littoraux.

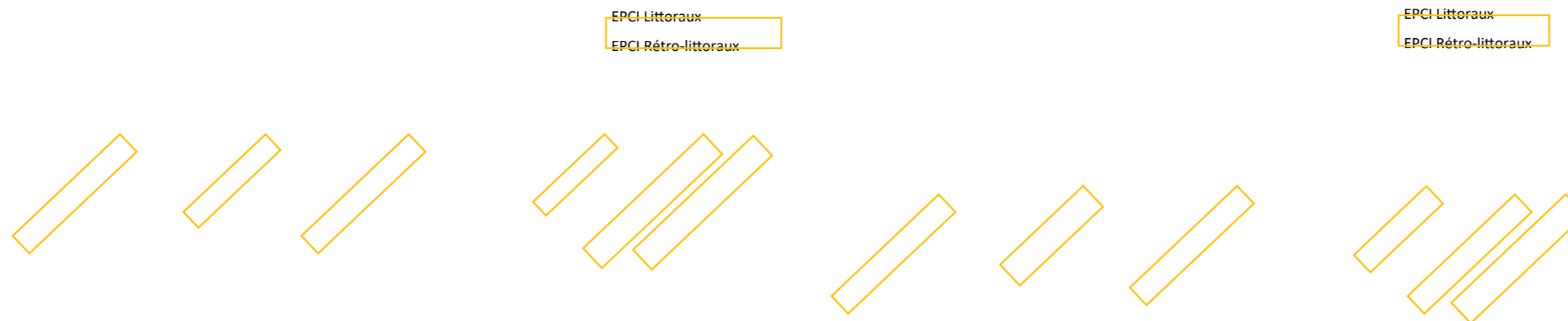


Figure 46 : Population saisonnière (Source : CEREMA 2018 à partir des données de l'INSEE)

\* Variation saisonnière théorique en 2014 = population 2014 + Nombre d'habitant saisonniers théorique / population 2014

## Un vieillissement qui continue de s'accroître sur le littoral

L'attractivité auprès des retraités ainsi que le vieillissement de la population sont des dynamiques à l'œuvre depuis plusieurs décennies dans les espaces littoraux français. Le littoral des Hauts-de-France n'échappe pas à ce phénomène global d'accroissement du vieillissement.

La **population est en effet plus âgée dans les communes littorales** (25,74% de +60ans en 2016 dans les EPCI littoraux) que sur les territoires rétro-littoraux (23,49% de +60ans en 2016).

Un vieillissement de la population s'observe sur le périmètre d'étude puisque la part des +60ans dans la population a progressé de 2,76% 2011 et 2016, avec des dynamiques similaires entre les EPCI littoraux (2,85%) et rétro littoraux (2,56%). Ce vieillissement de la population sur les dernières années est plus marqué en moyenne sur le territoire d'étude qu'aux niveaux national, régional et départementaux.

Par ailleurs, le littoral présente un indice de jeunesse plus bas (94,59 en 2016) que les EPCI rétro-littoraux (108,23 en 2016), sa population étant en moyenne plus âgée et connaissant un phénomène de vieillissement. Plus localement, des écarts importants s'observent entre EPCI : l'indice de jeunesse de la communauté de communes de Vimeu dans la Somme étant seulement de 41,62 contre 134,8 pour la communauté de communes de la Région d'Audruicq dans le Pas de Calais.

Ce phénomène de vieillissement de la population est particulièrement important dans le département de la Somme, territoire bénéficiant d'une forte attractivité auprès des séniors.

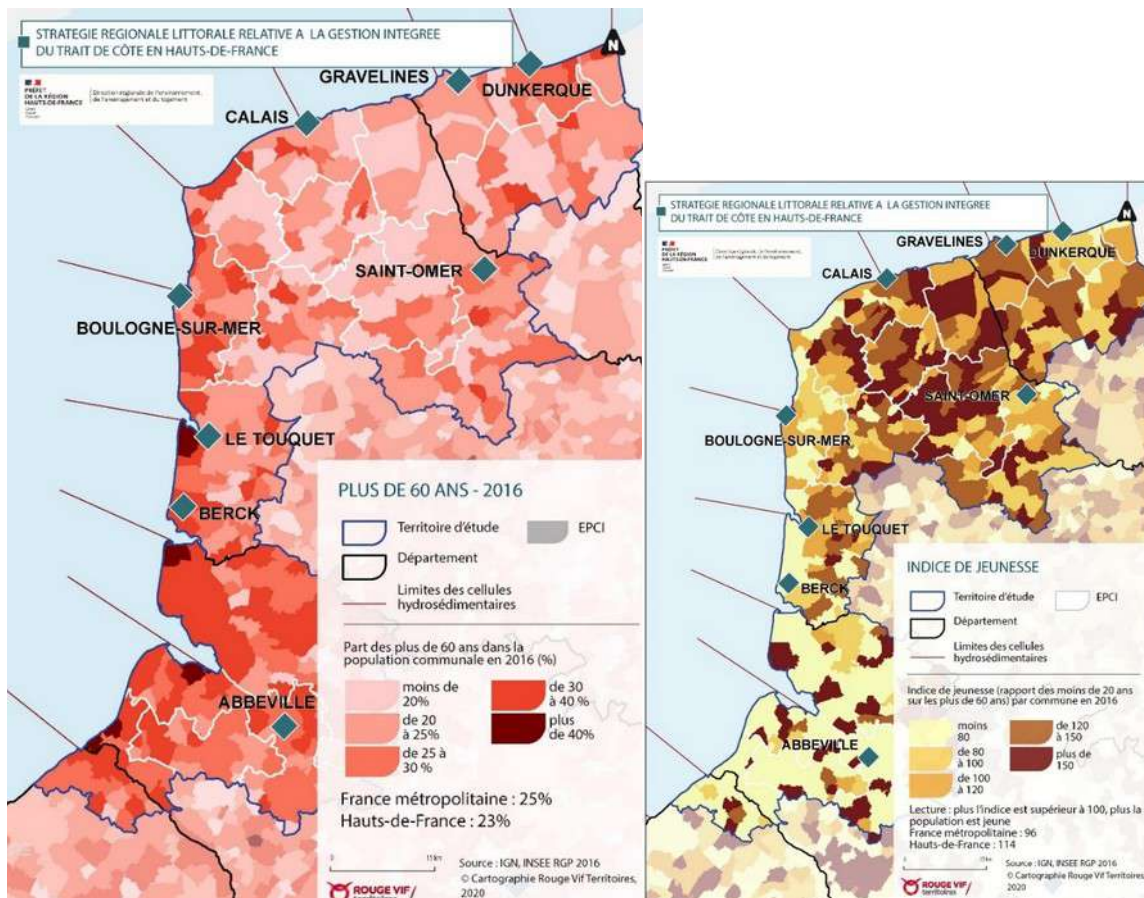


Figure 47 : Vieillissement de la population

### Des contrastes sociaux importants entre le littoral et l'arrière-pays

A l'instar des Hauts-de-France, le périmètre d'étude présente des taux de pauvreté et de chômage élevés traduisant une forte fragilité sociale (12,36% sur le périmètre d'étude contre 12,10% pour les Hauts-de-France et 10,07% pour la France Métropolitaine).

Le niveau de revenu médian annuel par unité de consommation est également faible : 20 030 euros pour le territoire d'étude contre 20 465 euros pour les Hauts-de-France et 20 560 euros pour la France Métropolitaine.

Des disparités sont observées entre le littoral et les territoires rétro-littoraux :

- Le niveau de revenu moyen est plus important sur le littoral que dans les secteurs rétro littoraux : 19 900 euros contre 19 520 euros dans le rétro-littoral. Ces trajectoires différenciées par rapport au revenu s'accroissent à l'échelle des EPCI. Ainsi, la crise économique a amplifié les difficultés sociales dans le Dunkerquois et le Calais, des territoires déjà fragiles. D'autres territoires, comme la communauté de communes du Vimeu, avec un profil très industrialisé (45% des emplois dans l'industrie en 2011) ont aussi été fortement impactés par la crise de 2008.
- En dehors du revenu moyen, le littoral se caractérise par une certaine fragilité sociale. La part des non-diplômés\* en 2016 est supérieure en moyenne dans les EPCI littoraux (36,90%) que rétro littoraux (33,65%). Cette proportion élevée des personnes non-diplômées est à mettre en relation avec le profil socio-professionnel des ménages et économique du territoire (près d'un habitant sur trois occupe un emploi d'ouvrier ou d'employé, une activité économique marquée par l'industrie et le tourisme sur le périmètre d'étude). Cela se traduit pour ces ménages par des difficultés d'accès à l'emploi qui accentuent leur vulnérabilité. En effet, certains territoires comme Dunkerque ou Calais sont perçus comme des espaces de plus grand renoncement au marché du travail pour les actifs sans diplôme et dans les zones d'emploi de Boulogne-sur-Mer par exemple, ce phénomène de renoncement peut encore s'accroître à court terme (source : SRADDET Hauts-de-France). La part des familles monoparentales (10,43%) et le taux de chômage (13,12%) sont également plus élevés sur le littoral alors que les espaces rétro littoraux présentent des indicateurs sociaux globalement positifs.

*\*La part des non diplômés représente la part de la population sans diplôme, c'est-à-dire la part de la population de 15 ans et plus non scolarisée et n'ayant obtenu ni CAP, ni BEP, ni diplômes de rang plus élevé.*

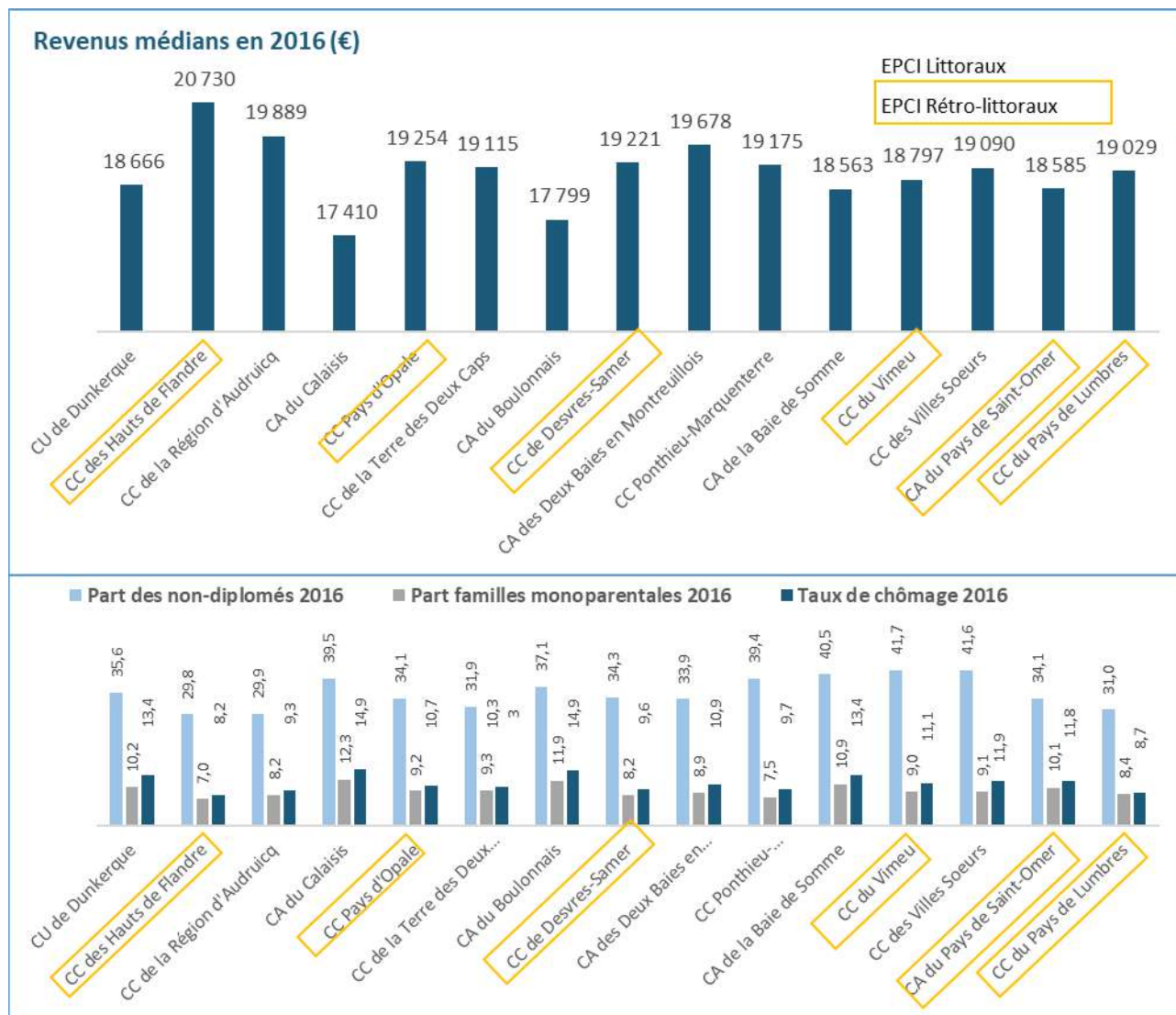
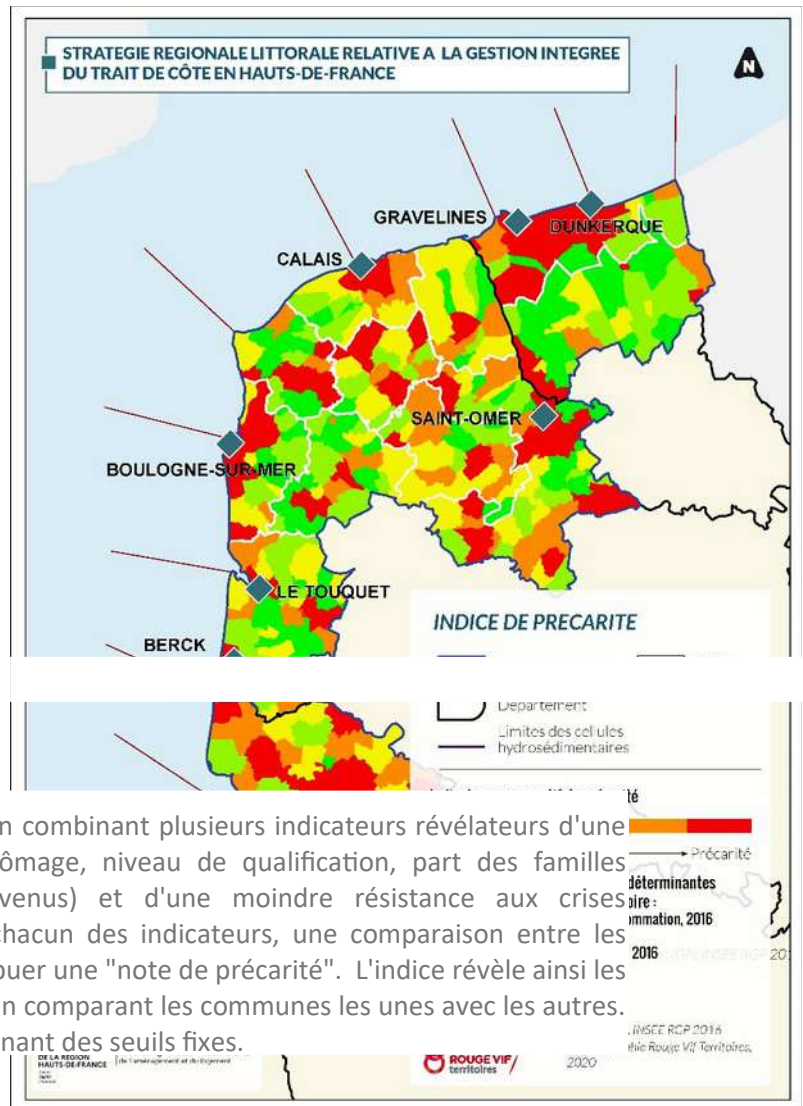


Figure 48 : Indicateurs socio-démographiques

L'indice de précarité qui met en lien différents indicateurs de fragilité sociale fait émerger les écarts importants entre les communes du périmètre d'étude :

- Une forte précarité dans les principales villes du territoire (Dunkerque, Calais, Boulogne-sur-Mer, Berck, ...) et dans une grande partie des communes du département de la Somme ;
- Une précarité moins importante dans certains territoires comme la communauté de communes des Hauts-de-Flandre, la communauté de communes de la Région d'Audruicq, la communauté d'agglomérations des deux Baies en Montreuillois, ...

Le SRADDET souligne que « La crise a



L'indice de précarité est réalisé en combinant plusieurs indicateurs révélateurs d'une fragilité territoriale (taux de chômage, niveau de qualification, part des familles monoparentales, niveau de revenus) et d'une moindre résistance aux crises notamment économique. Pour chacun des indicateurs, une comparaison entre les communes est réalisée pour attribuer une "note de précarité". L'indice révèle ainsi les disparités au sein d'un territoire en comparant les communes les unes avec les autres. Il ne s'agit pas d'un indice comprenant des seuils fixes.

*fortement touché les populations dont la situation sociale était déjà fragile. Les inégalités territoriales se sont alors renforcées : les espaces situés autour des grandes agglomérations et au sud de la région sont plus préservés, tandis que les difficultés se sont intensifiées dans les territoires les moins favorisés (nord de l'Aisne, agglomérations du littoral, bassin minier notamment). »*

Figure 49: Indice de précarité

### Un parc de logement ancien concentré majoritairement sur le littoral

Le territoire d'étude compte plus de 480 000 logements en 2016, répartis pour 77% sur le littoral. Avec une augmentation de près de 4,1% entre 2011 et 2016, ce sont plus de 19 000 logements qui ont été construits durant cette période (66% des nouveaux logements sont localisés sur le littoral).

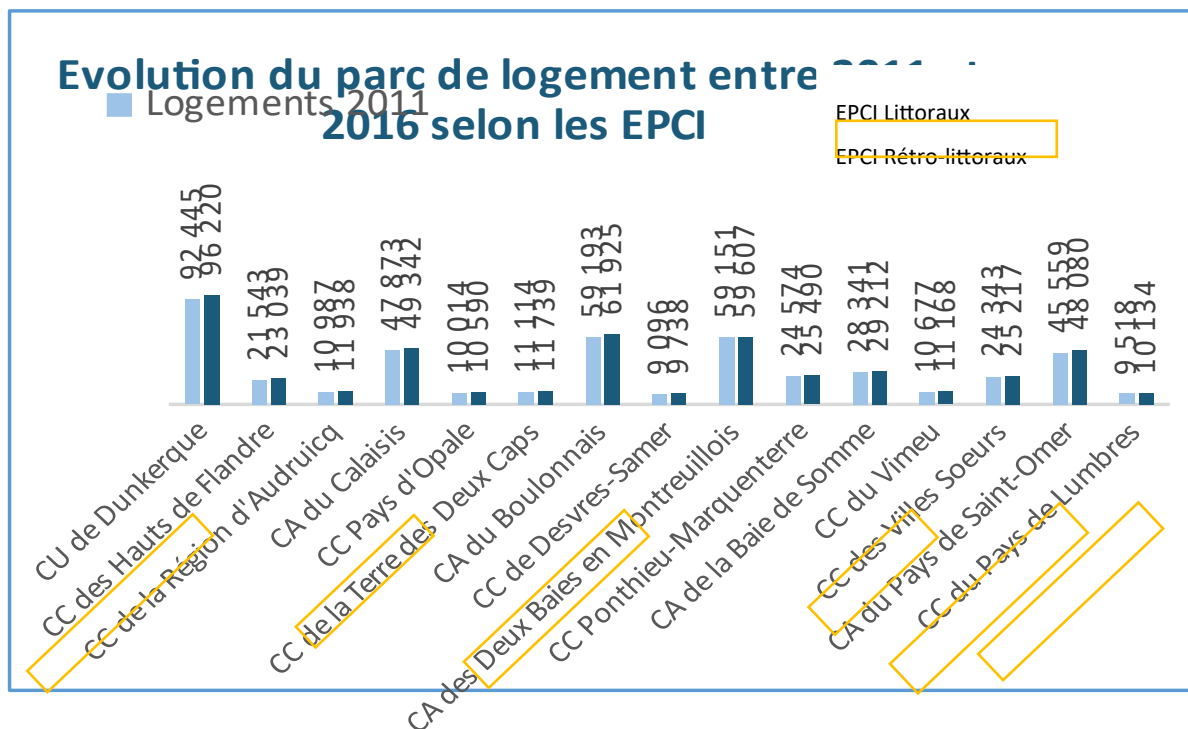


Figure 50 : Parc de logements (source : INSEE, 2016)

Cette évolution du parc du logement est décorrélée avec la croissance des ménages du territoire et en particulier sur le littoral. En effet, dans les EPCI littoraux, le parc de logement a augmenté de 3,5% entre 2011 et 2016 contre 1,65% pour les ménages. Cette décorrélation est à mettre en lien avec le phénomène de décohabitation des ménages et le profil touristique du littoral qui accueille de nombreuses résidences secondaires à destination des populations saisonnières.

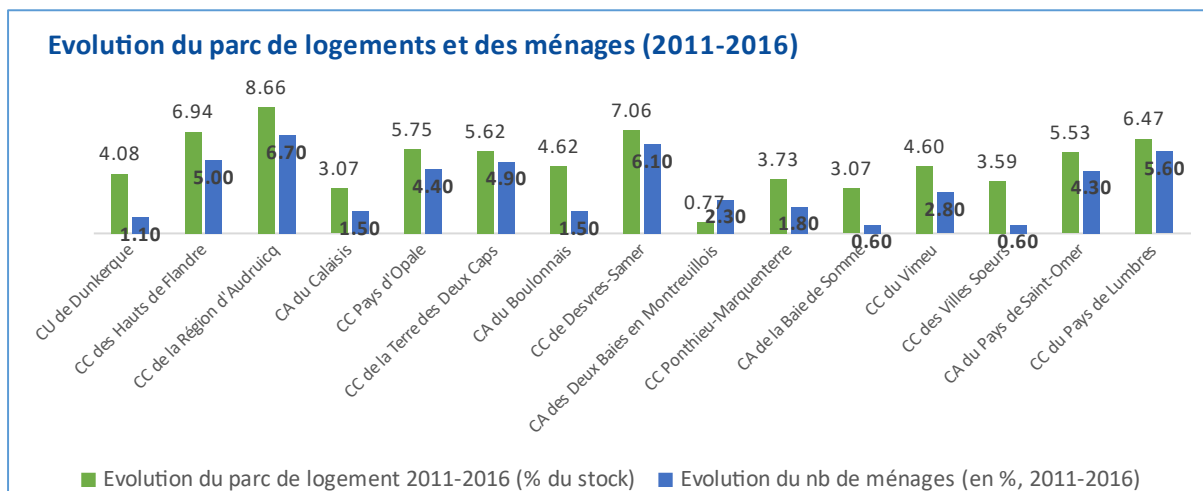
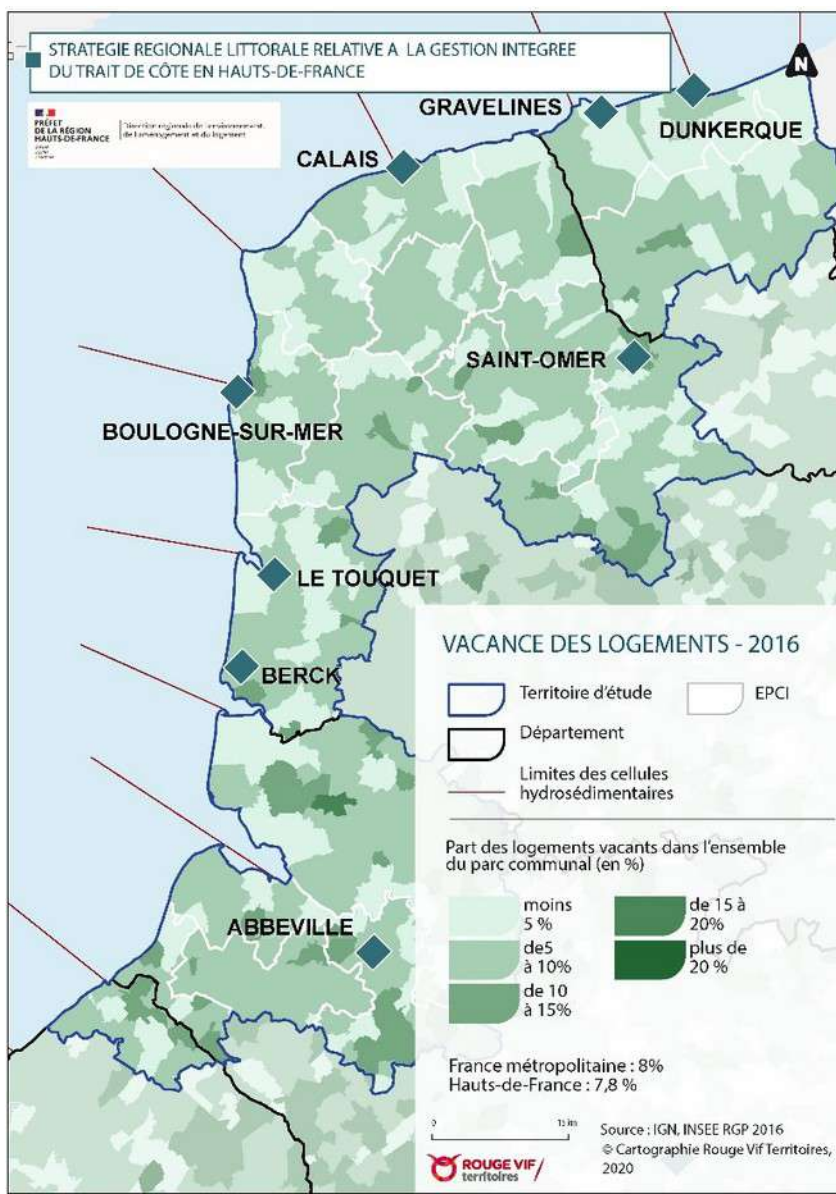


Figure 51 : Evolution des logements et des ménages (source : INSEE, RGP 2016)

Par ailleurs, le parc de logement est très ancien. En effet, sur le périmètre d'étude, près de deux logements sur cinq datent d'avant 1970, avant les premières réglementations énergétiques. Ce constat est très affirmé pour trois EPCI : CA du Calaisis, CA du Boulonnais, et la communauté de communes du Vimeu et la Somme où les problématiques de réhabilitation du parc sont de fait importantes (près de 45% des logements ont été construits avant 1970). L'ancienneté des logements et leur caractère énergivore n'est pas sans conséquence sur la vulnérabilité énergétique des ménages notamment ceux disposant de faibles niveaux de revenus.

### Une vacance des logements relativement faible mais en progression

Comparativement à d'autres régions, le littoral des Hauts de France ne présente pas de situation alarmante relative à la vacance. Le territoire d'étude est même légèrement moins touché que le reste de la région (6,9% contre 8% et 7,8% respectivement pour la France Métropolitaine et les Hauts-de-France). Il convient néanmoins de souligner que ce taux est en constante augmentation (+1 pts par rapport à 2011). Il peut également être révélateur d'un marché du logement relativement tendu, avec des possibilités de



mobilisation du bâti existant (réhabilitation en particulier) mesurée au regard des besoins et des enjeux de réduction de l'artificialisation.

Au niveau local, des disparités sont néanmoins à souligner. Les CA du Calais, du Boulonnais et les communautés de communes du Vimeu et des Villes Sœurs sont les plus touchées tandis que le phénomène est très peu présent sur le territoire de la Terre des Deux Caps (inférieur à 5%). Les communes retro-littorales sont légèrement plus touchées par la vacance : 7% de logements vacants contre 6,9% pour les communes littorales en moyenne.

**Figure 52: Vacance des logements**



### Une forte concentration des résidences secondaires sur littoral

Dans les territoires littoraux, le parc de logement est composé en moyenne de 16,8% de résidences secondaires. De fortes disparités s'observent entre les EPCI. Deux territoires se démarquent par l'importance de leur parc de résidences secondaires : la CA des Deux Baies en Montreuillois (44,5%) et communauté de communes Ponthieu-Marquenterre (39,1%), qui sont deux territoires très touristiques. Sur certaines communes de la communauté de communes de la Terre des Deux Caps (Audresselles et Audinghen), située au niveau du cap Gris-Nez, les taux de résidences secondaires atteignent également les 50%.

Le SRADDET des Hauts-de-France fait état de ce déséquilibre du parc de logement, avec une concentration des résidences secondaires sur certains secteurs littoraux. Cette situation entraîne une problématique d'adaptation de l'offre de logements aux besoins de la population résidente, des jeunes et des travailleurs saisonniers dans des secteurs de la Baie de Somme ou le sud de la Côte d'Opale rencontrent. Par ailleurs, cette spécialisation induit aussi de fortes tensions sur les marchés fonciers et immobiliers, comme dans le dunkerquois. Par ailleurs, la poursuite de ce phénomène peut entraîner une forme de gentrification du littoral avec une éviction progressive des résidents permanents et une accentuation de l'accès aux logements notamment pour les ménages les plus précaires.

Pour répondre à ces enjeux, le SRADDET intègre notamment dans son fascicule la règle suivante « *Les orientations des SCoT / PLU / PLUI des territoires littoraux permettent de répondre prioritairement aux besoins en logement des résidents permanents et des travailleurs saisonniers en produisant des logements diversifiés (règle n°11)* ».

Cette forte concentration des résidences secondaires, en lien avec la population saisonnière drainée, n'est pas sans conséquence sur la gestion des risques littoraux sur le territoire.

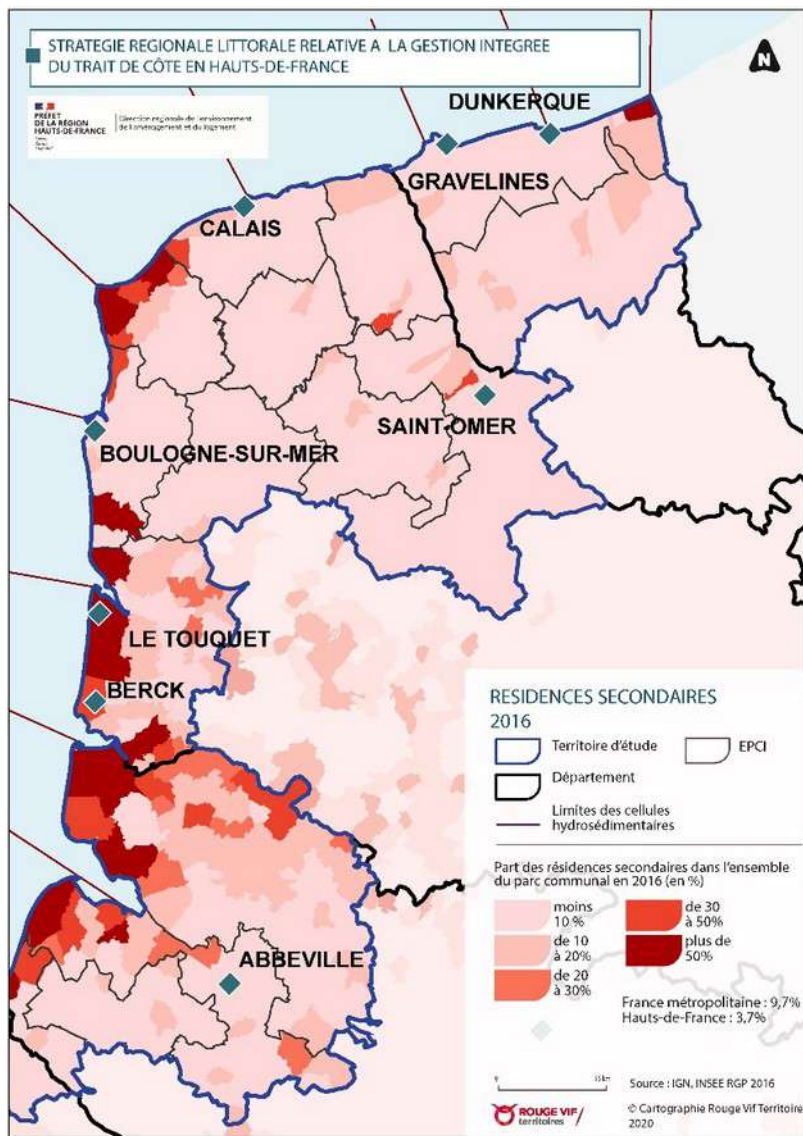


Figure 53 : Résidences secondaires



**Elaboration d'une stratégie régionale  
relative à la gestion intégrée du trait de  
côte en Hauts-de-France**  
Phase 1 : diagnostic du territoire

---

## Synthèse des enjeux relatifs à la population, le bâti et l'habitat

### Population

Un territoire dense, avec d'importants contrastes entre secteur littoral et territoires rétro-littoraux :

- De nombreux pôles urbains présents sur les EPCI littoraux
- 66% de la population du périmètre d'étude concentrée sur les EPCI littoraux
- Un écart de densité important : moyenne est de 225,76 hab./km<sup>2</sup> sur la partie littorale contre 134,73 hab./km<sup>2</sup> sur la partie rétro-littorale
- Une faible croissance démographique, inférieure aux dynamiques nationale, régionale et départementale
- Une forte progression des ménages
- Un desserrement de la taille des ménages

Une population littorale qui stagne en raison de rares migrations mais qui augmente fortement pendant la période estivale :

- Le solde naturel, principal facteur de croissance démographique
- De faibles migrations sur le littoral des Hauts-de-France, une dynamique opposée aux territoires littoraux de France métropolitaine
- Une importante variation de la population en fonction de la saisonnalité, notamment dans les EPCI littoraux

Un vieillissement qui continue de s'accélérer sur le littoral

- Un vieillissement de la population important en progression
- Une forte attractivité des territoires littoraux auprès des séniors, et plus particulièrement sur le département de la Somme

Des contrastes sociaux importants entre le littoral et l'arrière-pays

- Des taux de pauvreté et de chômage traduisant une forte fragilité sociale. Si le niveau de revenu moyen est plus important sur le littoral que dans les secteurs rétro littoraux, ces derniers présentent des indicateurs sociaux globalement plus positifs (part plus importante de diplômés, taux de chômage et part des familles monoparentales plus faibles).
- Un phénomène de précarité particulièrement fort dans les principales villes du territoire et dans une grande partie des communes de la Somme

### Bâti et habitat

Un parc de logement ancien concentré majoritairement sur le littoral

- 77% des logements du territoire d'étude concentrés sur le littoral (données 2016)
- 2/5 des logements construits avant 1970 et les premières réglementations énergétiques induisant des problématiques de réhabilitation

Une vacance des logements relativement faible mais en progression

- Un taux de vacance faible mais en constante progression
- Des possibilités de mobilisation du bâti existant mesurée au regard des besoins et des enjeux de réduction de l'artificialisation

Une forte concentration des résidences secondaires sur littoral

- Une concentration des résidences secondaires sur certains secteurs littoraux entraînant, pour certains territoires, une problématique d'adaptation de l'offre de logements aux besoins de la population résidente, des jeunes et des travailleurs saisonniers ainsi de fortes tensions sur les marchés fonciers et immobiliers

#### 6.3.4.2. Réseaux, services et infrastructures : des enjeux stratégiques à court terme, des enjeux en matière d'attractivité à long terme

Seuls les équipements et infrastructures sensibles ou jouant un rôle dans la gestion des risques ont été pris en compte dans le cadre des travaux.

#### Un territoire maillé par de nombreux pôles de service

Le territoire d'étude concentre 127 pôles locaux, 101 pôles de proximité, 49 pôles intermédiaires et 12 pôles de centralité (données BPE 2018). Si la Communauté urbaine de Dunkerque accueille 4 des 12 pôles de centralité, le territoire d'étude est maillé de pôles intermédiaires et de proximité.

En moyenne sur le périmètre de l'étude, 18% des ménages sont non-motorisés et 35,2% des ménages sont bi-motorisés (données 2016). Des disparités en matière de motorisation s'observent entre les EPCI, qui peuvent être liées à la desserte en transports collectifs ou des conséquences de faibles revenus des ménages. Ainsi, près de 20% des ménages des territoires littoraux sont non-motorisés contre 12,5% des ménages du rétro littoral. Par ailleurs, plusieurs EPCI davantage urbains où se concentrent des pôles de service enregistrent des faibles parts de ménages bi-motorisés : CA du Boulonnais (26,55%) CA du Calaisis (27,47%) CU de Dunkerque (29,93%). Ce sont également ces EPCI qui enregistrent les plus importantes par de ménages non motorisés.

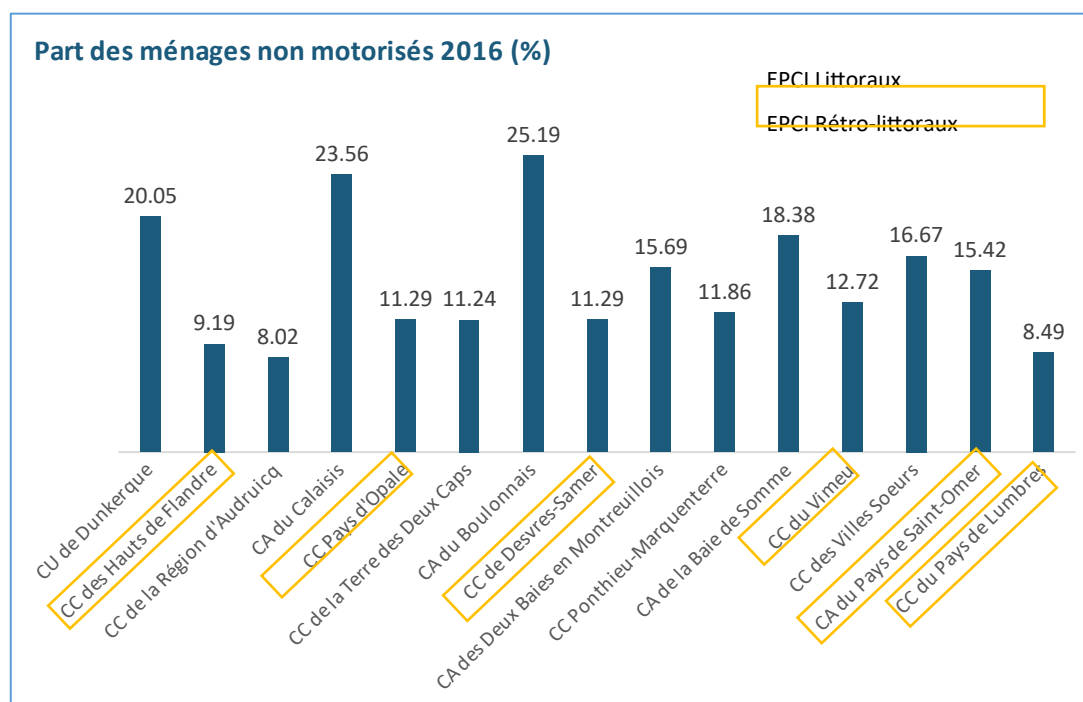


Figure 54: Motorisation des ménages

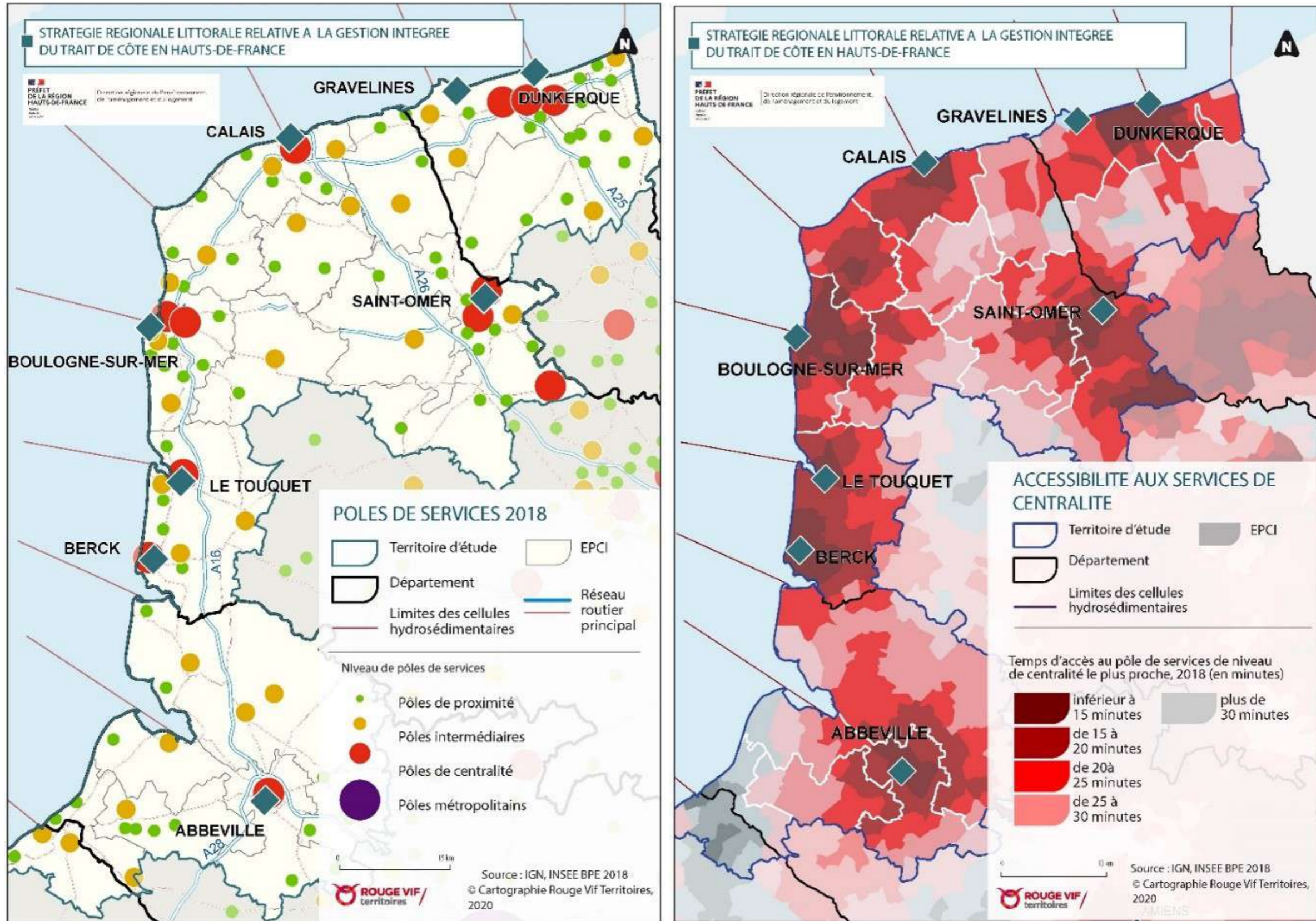


Figure 55 : Accessibilité des services et équipements

## Synthèse des enjeux relatifs aux réseaux, services et infrastructures

- Un territoire maillé par de nombreux pôles de service
- Une plus faible motorisation des ménages des territoires littoraux
- Des inégalités d'accès aux services de centralité entre les communes

### 6.3.4.3. L'économie et l'emploi

#### Une économie marquée par de profondes mutations

La Région Hauts-de-France a connu une transformation profonde de ses modes de production qui a eu et a toujours des conséquences importantes sur les dynamiques de création d'emplois. La région a vécu une forte désindustrialisation et des secteurs ont disparu ou se sont transformés, tels que les mines, le textile, la sidérurgie et la métallurgie, etc. Si des emplois se sont créés dans les services, ils n'ont pas la même qualité, sont généralement moins rémunérateurs et plus souvent à temps partiel ou à durée déterminée que les emplois industriels des dernières décennies. Ils sont par ailleurs davantage féminisés et moins qualifiés. Les prévisions prospectives des créations d'emplois dans les années à venir laissent transparaître une dualisation du marché du travail entre des emplois très qualifiés et des emplois de services peu-qualifiés (notamment des emplois saisonniers). En effet, les métiers de l'aide et du soin aux personnes devraient se développer du fait du vieillissement de la population, tendance très marquée sur le périmètre d'étude.

En 2016, le territoire d'étude compte plus de 325 200 emplois, dont 246 266(75,7%) répartis sur les EPCI littoraux et près de 78 951 (24,3%) sur les EPCI rétro-littoraux. L'évolution du nombre d'emplois est en baisse sur la période 2011-2016 (-2,59%), soit près d'environ 8 650 emplois perdus en cinq ans sur le territoire. Cette perte d'emplois est supérieure aux dynamiques enregistrées aux échelles régionales et départementales, excepté pour la Somme. Il existe par ailleurs une différence

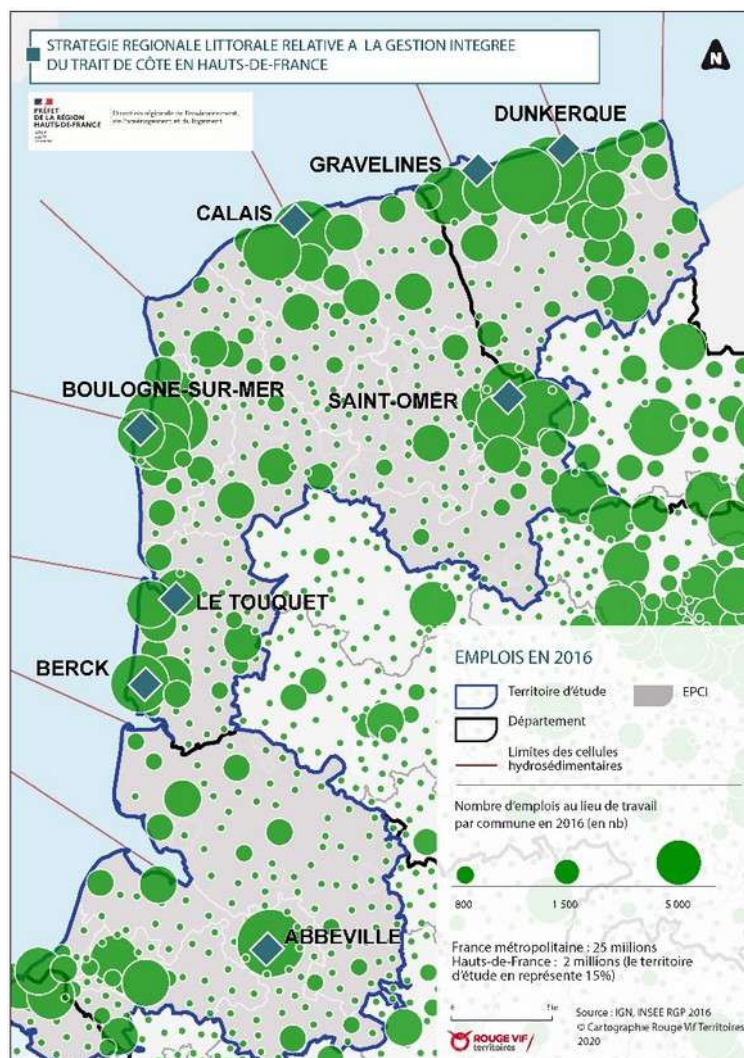


Figure 56 : Emplois en 2016

importante entre les EPCI littoraux qui enregistrent une perte d'emplois de -3,4% contre -0,02% pour les EPCI rétro-littoraux en moyenne entre 2011-2016.

Le périmètre d'étude compte 38 648 entreprises au 31 décembre 2017, dont 28 507 réparties sur les EPCI littoraux et 10 141 sur les EPCI rétro-littoraux. Plus de 32% des entreprises du périmètre d'étude sont localisés sur la CU de Dunkerque et la CA du Boulonnais (données 31 décembre 2017), qui comptent également près de 39% des emplois du territoire en 2016.

**LES 10 PREMIERES ENTREPRISES PAR CHIFFRE D'AFFAIRES DANS LES EPCI DU PERIMETRE D'ETUDE:**

<b>EPCI MARITIMES DU NORD</b>			
Communauté urbaine de Dunkerque	TS LNG	LOON PLAGÉ	666 718 117 €
	ALVANCE ALUMINIUM SERVICE	LOON PLAGÉ	571 445 935 €
	ASTRAZENECA DUNKERQUE PRODUCTION	DUNKERQUE	507 102 340 €
	DILLINGER FRANCE	GRANDE SYNTHÉ	416 078 397 €
	ASCOMETAL LES DUNES S.A.S	LEFFRINCKOUCKE	231 509 623 €
	SEALOGIS FREIGHT FORWARDING	DUNKERQUE	226 325 794 €
	DUNKERQUE LNG	DUNKERQUE	201 277 604 €
	POLYCHIM INDUSTRIE	DUNKERQUE	197 180 314 €
	NORD ESTER	DUNKERQUE	187 630 392 €
<b>EPCI DU PAS-DE-CALAIS</b>			
Communauté d'agglomération du Pays de Saint-Omer	ARC FRANCE	ARQUES	492 864 760 €
Communauté d'agglomération du Boulonnais	BRASSERIE DE SAINT-OMER	SAINT-OMER	238 646 223 €
	MOWI BOULOGNE	BOULOGNE SUR MER	204 418 527 €
Grand Calais Terres et Mers	VENATOR FRANCE	CALAIS	172 489 230 €
	GRAFTECH COMMERCIAL FRANCE S.N.C.	CALAIS	151 529 820 €
Communauté d'agglomération du Boulonnais	UNITED PETFOOD FRANCE-UPF	WIMILLE	131 311 244 €
	LIANOUDIS	OUTREAU	129 306 268 €
Communauté d'agglomération Grand Calais Terres et Mers	HABITAT HAUTS-DE-FRANCE ESH	COQUELLES	117 068 044 €
Communauté de communes de la terre des deux caps	CARRIERES DU BOULONNAIS	LEULINGHEN BERNES	107 125 935 €
Grand Calais Terres et Mers	SOCIETE D'EXPLOITATION DES PORTS DU TROIT (SEPD)	CALAIS	106 540 733 €
<b>EPCI DE LA SOMME</b>			
Communauté d'agglomération de la Baie de Somme	LACTINOV ABBEVILLE	ABBEVILLE	184 984 712 €
	LACT'UNION	ABBEVILLE	92 779 845 €
Communauté de communes Ponthieu-Marquenterre	PATISSERIE PASQUIER VRON	VRON	89 095 284 €
Communauté de communes du Vimeu	VKR FRANCE	FEUQUIERES EN VIMEU	76 473 416 €
	DECAYEUX S.T.I.	Nibas	57 641 660 €
Communauté d'agglomération de la Baie de Somme	SOCIETE COOPERATIVE AGRICOLE DU LITTORAL PICARDIE SOMME	ABBEVILLE	50 233 865 €
Communauté d'agglomération de la Baie de Somme	FAVI-LE LAITON INJECTE	HALLENCOURT	50 157 742 €
communauté de communes des Villes Sœurs	MILLANCOURT ET NICOLAS	GAMACHES	48 634 191 €
Communauté d'agglomération de la Baie de Somme	UNION COOPER AGRICOLES REGION ABBEVILLE	ABBEVILLE	47 677 474 €
	AKANI	ABBEVILLE	41 841 970 €

Source : Verif.com

**Figure 57: Les entreprises majeures par chiffre d'affaires**

### 6.3.4.3.1. L'activité industrielle

#### Des emplois industriels situés à proximité des trois principaux ports

Quatrième région industrielle française en termes d'emplois, les Hauts-de-France représentent, en 2016, 9,4% de l'emploi industriel national. La part de l'emploi industriel dans l'emploi total est plus importante dans le département de la Somme que dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais. Néanmoins, le département du Nord concentre 3,6 fois plus d'emplois industriels que la Somme.

Le périmètre étudié concentre plus de 18% des emplois industriels de la région avec 54 363 emplois en 2016. Ces emplois représentent 16,8% de l'emploi total sur la zone étudiée. En valeur absolue, l'emploi industriel est plus important sur la zone littorale que rétro-littorale avec 38 973 emplois en 2016 contre 15 390. Néanmoins, le poids de l'emploi industriel dans l'emploi total est plus important sur la zone rétro-littoral que sur la zone littorale. En effet, en 2016, il représente 19,7% de l'emploi total pour les EPCI rétro-littoraux contre 15,9% pour les EPCI littoraux.

**Les principaux viviers d'emplois industriels de la zone étudiée se situent essentiellement à proximité des trois grands ports de la région : Dunkerque, Calais et Boulogne.** La

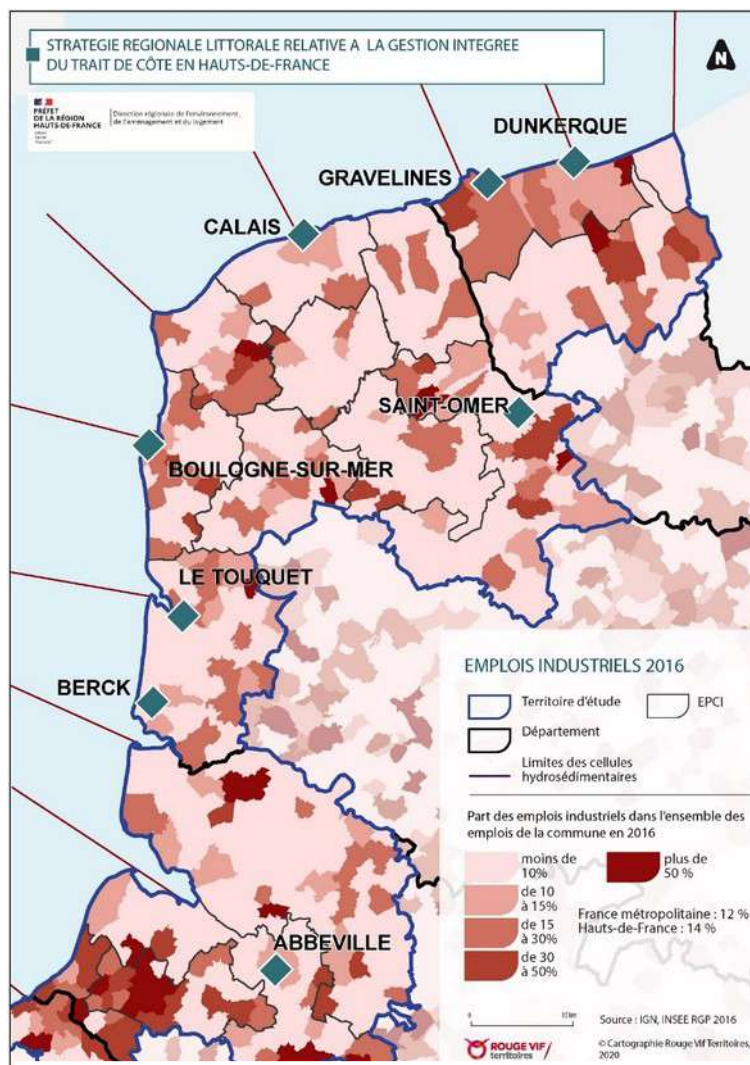


Figure 58: Cartographie de la part des emplois industriels par commune

Communauté Urbaine de Dunkerque accueille le plus grand nombre d'emplois industriels avec 16 684 emplois en 2016, soit 30,7% de l'emploi industriel de la zone étudiée. Cependant, la part de l'emploi industriel dans l'emploi total y est plus faible que dans les Communautés de Communes du Vimeu et des Villes Sœurs. En effet, sur la CU de Dunkerque, l'emploi industriel représente 20,06% de l'emploi total contre 43,61% sur la communauté de communes du Vimeu et 31,25% sur la communauté de communes des Villes Sœurs.



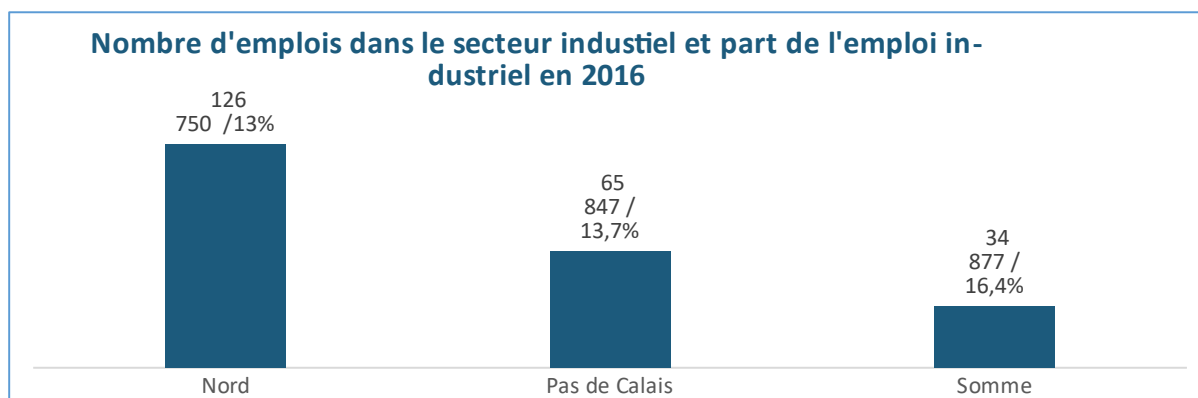


Figure 59 : Nombre et part des emplois industriels par département

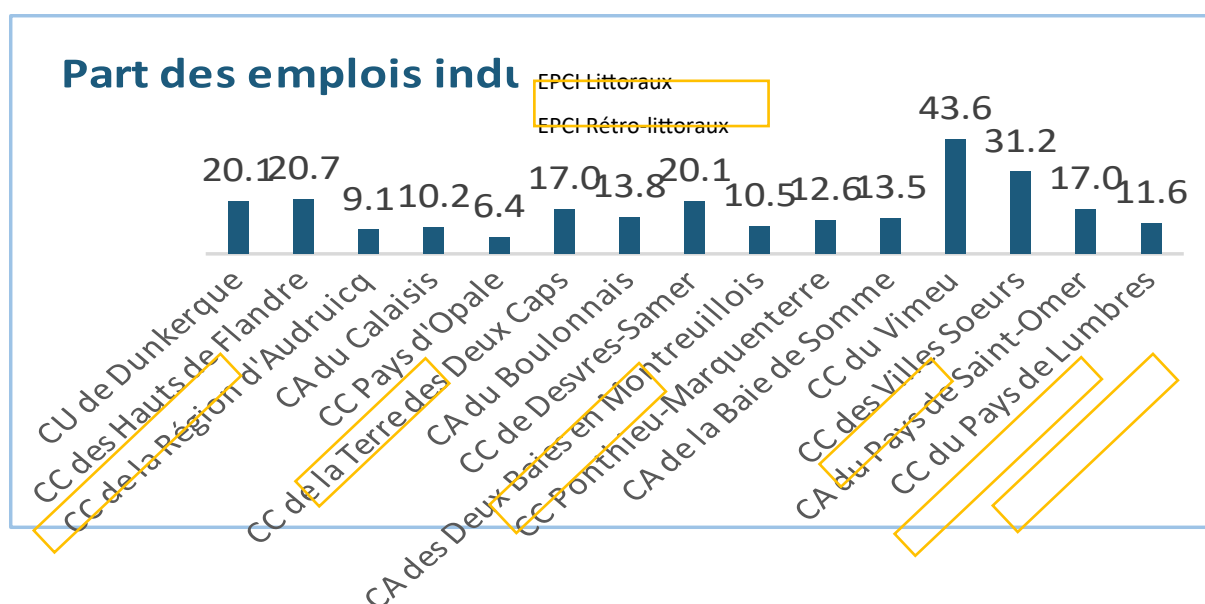


Figure 60 : Part des emplois industriels dans les EPCI

### Des entreprises industrielles concentrées sur le littoral

À l'image de l'implantation des usines ArcelorMittal sur le périmètre d'étude, qui accueille 3 des 7 usines françaises du groupe mondial (Dunkerque, Mardyck et Desvres), la zone étudiée est particulièrement tournée vers l'activité industrielle.

En 2019, le taux de création d'entreprises de la zone d'étude, tous secteurs d'activités confondus, était de 14,4 % et de 12,7% pour le secteur industriel. (Source : l'observatoire des territoires). La zone d'étude compte 2 685 entreprises industrielles qui représentent près de 7% des entreprises de la zone.

Ces entreprises se concentrent essentiellement sur la Communauté Urbaine de Dunkerque avec 471 entreprises au 31 décembre 2017, soit 17,5% des entreprises industrielles du périmètre d'étude. La Communauté d'Agglomération du Pays de Saint-Omer accueille également un nombre important d'entreprises industrielles avec 364 entreprises. Néanmoins, avec 150 entreprises industrielles sur un total de 902 entreprises, le poids des entreprises industrielles est plus important dans la

Communauté de Communes du Vimeu. En effet, les entreprises industrielles y représentent pratiquement 16,7% des entreprises au total, contre 6,3% pour la CU Dunkerque et 8% pour la CA du Pays de Saint-Omer.

Cette concentration littorale des entreprises industrielles présente des risques. En effet, 27 Installations Classées Pour l'Environnement (ICPE) Seveso dont 20 sont libellés Seveso haut et 7 Seveso bas sont recensées sur le territoire. 24 ICPE sont localisées dans des EPCI littoraux (2 dans la communauté d'agglomération du Grand-Calais Terres et Mers, 22 dans la communauté urbaine de Dunkerque).

### Focus sur l'industrie navale et nautique

Sur le littoral, une quinzaine d'établissement de construction et de réparation existent et se concentrent principalement sur Dunkerque, Boulogne-sur-Mer et Calais.

En 2014, le secteur de la construction-réparation navale et nautique représente environ 650 emplois. Ces emplois sont très peu nombreux dans la Somme.

Les établissements de réparation et de maintenance sont les plus nombreux, suivis par ceux de construction. Dans le Nord, l'activité se concentre sur la réparation et la maintenance navale et n'accueille pas d'activité de construction de navires civils et militaires. Dans le Pas-de-Calais, la construction de bateaux de plaisance n'est pas représentée.

### L'emploi dans la construction navale et nautique dans les EPCI littoraux et rétrolittoraux des Hauts-de-France en 2018

EPCI	Construction de navires civils et militaires	Construction de bateaux de plaisance	Réparation et maintenance navale	Effectif total
Communauté d'agglomérations du Boulonnais	200	1	29	130
Communauté d'agglomérations des deux baies en Montreuillois	6	1	11	18
Communauté d'agglomérations du Calaisis	0	0	50	50
Communauté de communes de la Terre des Deux Caps	0	0	1	1
Communauté de communes de la Région d'Audruicq	0	0	1	1
Communauté d'agglomérations du pays de St-Omer	0	0	1	1
Communauté d'agglomérations de la baie de Somme	200	0	15	215
Communauté de communes Ponthieu Marquenterre	0	0	4	4
Communauté urbaine de Dunkerque	6	6	224	236
<b>Total EPCI littoraux Hauts-de-France</b>	<b>312</b>	<b>8</b>	<b>336</b>	<b>656</b>

Source : Sirène INSEE, CCI Hauts-de-France 2018

Figure 61 : L'emploi dans la construction navale et nautique dans les EPCI littoraux et rétro-littoraux des Hauts-de-France en 2018

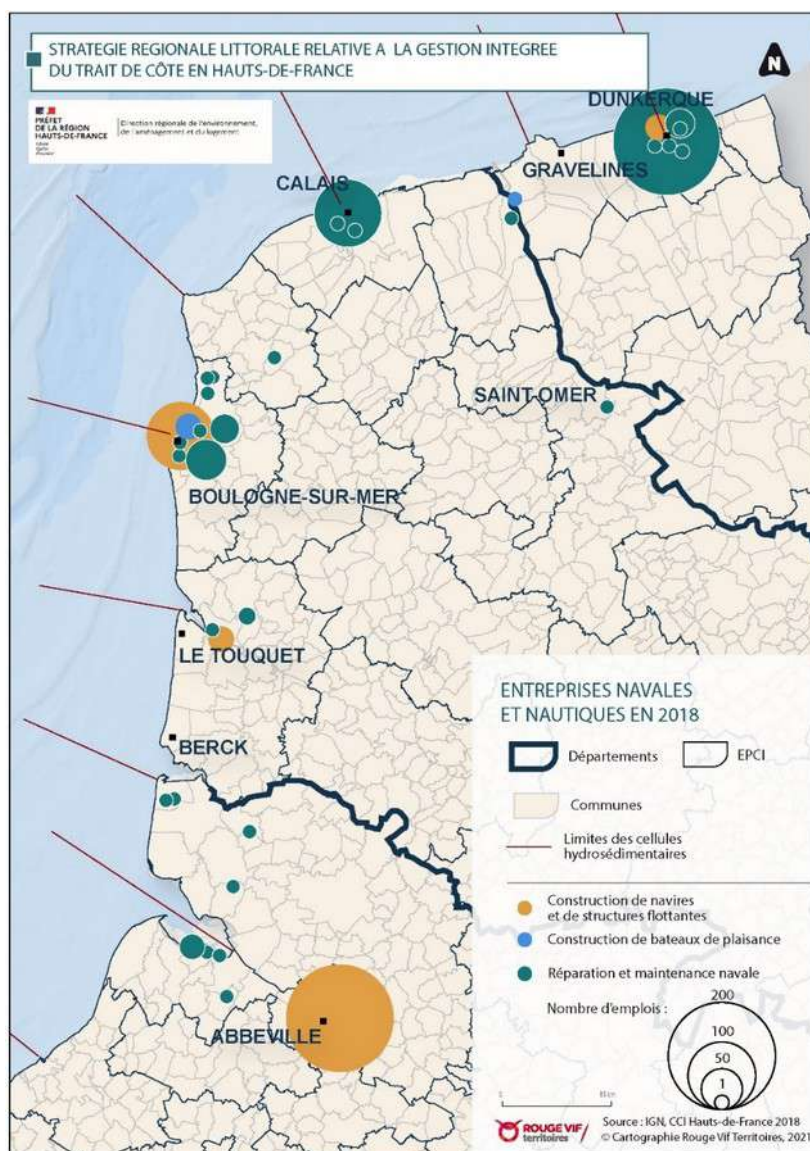


Figure 62: Cartographie des emplois dans l'industrie navale et nautique

#### 6.3.4.3.2. Les activités liées à la mer

##### Les activités liées à la mer, une filière stratégique à l'échelle régionale

Le SRADDET des Hauts-de-France attribue à notre périmètre d'étude l'enjeu de « Diffuser l'économie maritime » qui repose entre autres sur la construction d'une stratégie portuaire qui devra s'appuyer et se décliner sur les différents types d'activités : commerce, industrie, pêche, plaisance. L'ambition de la région étant de valoriser sa position géographique en confortant les ports et agglomérations portuaires comme relais de l'ouverture régionale.

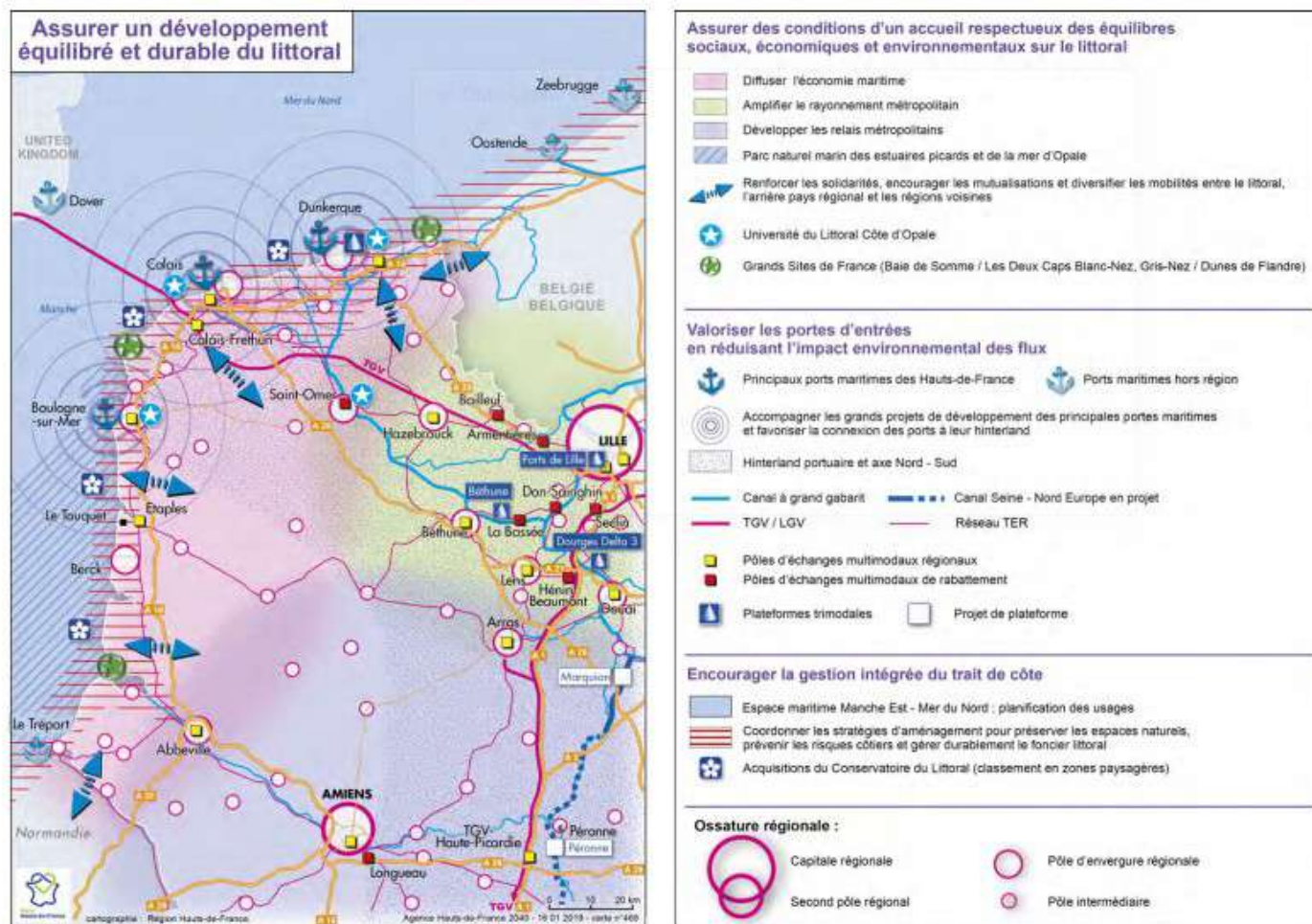


Figure 63 : Approche du développement du littoral dans le SRADDET Hauts-de-France (source : SRADDET Hauts-de-France)

### Une activité drainée par trois ports complémentaires

Le littoral des Hauts-de-France compte huit ports, dont trois ports d'envergure nationale voire internationale : Dunkerque, Calais et Boulogne-sur-Mer. Chacun de ces trois ports sont spécialisés dans différents domaines : le commerce de marchandises pour Dunkerque, le transport de voyageurs pour Calais et la pêche pour Boulogne-sur-Mer. La complémentarité de ces trois ports est un atout face à la concurrence internationale, et notamment celle des ports Nord européen. Elle s'illustre dans l'association « Ports Hauts-de-France » créée en 2016 et chargée de promouvoir les infrastructures portuaires.

Porte d'entrée maritime de l'axe Nord, le port de Dunkerque fait partie des onze « Grands Ports Maritimes » de France. Le port a une activité diversifiée : trafic de marchandises diverses, transport transmanche et trafic de conteneurs. En 2018, son trafic annuel de marchandise représente 51,6 Mt (mégatonnes) (rapport d'activité), soit une augmentation d'environ 10% par rapport à 2015. Le trafic roulier, de minerais et de charbon sont les principaux trafics du port avec respectivement 15,57, 14,85 et 6,48 Mt. Ce trafic annuel de marchandises le positionne à la troisième place des ports français, après Marseille et Le Havre, et à la septième sur la rangée nord-européenne, bien qu'il ne représente que 4% du trafic global des ports nord-européens. Contrairement à ses voisins du Benelux, le port de Dunkerque peut encore se développer car il dispose toujours d'importantes réserves foncières. Il est également le second port français pour le transport transmanche qui représente 29,6% de son activité et le troisième port français en ce qui concerne le trafic de conteneurs.

Le port de Calais se positionne, quant à lui, en quatrième position au niveau national et onzième sur la rangée nord-européenne, bien qu'il ne fasse pas partie des grands ports maritimes français. L'activité du port représente un chiffre d'affaires de 89,14 M€ en 2014 et est essentiellement tournée vers le transport transmanche. Avec 10,7 millions de voyageurs en 2014, le port de Calais est le premier port européen de voyageurs. Cependant, cette activité est actuellement concurrencée par le tunnel transmanche qui achemine chaque année 17 millions de passagers. Face à cette concurrence, le projet port de Calais 2015 (2015-2021) prévoit la création d'un nouveau bassin vers la mer qui permettra au port de doubler ses capacités et d'anticiper l'augmentation du trafic transmanche prévu à l'horizon 2020-2030. Le port est aussi un port de commerce avec un trafic d'environ 550 000 tonnes de marchandise annuelles entre 2011 et 2014. Les activités de pêche et de plaisance sont des activités plus secondaires pour le port qui compte une dizaine de fileyeurs.

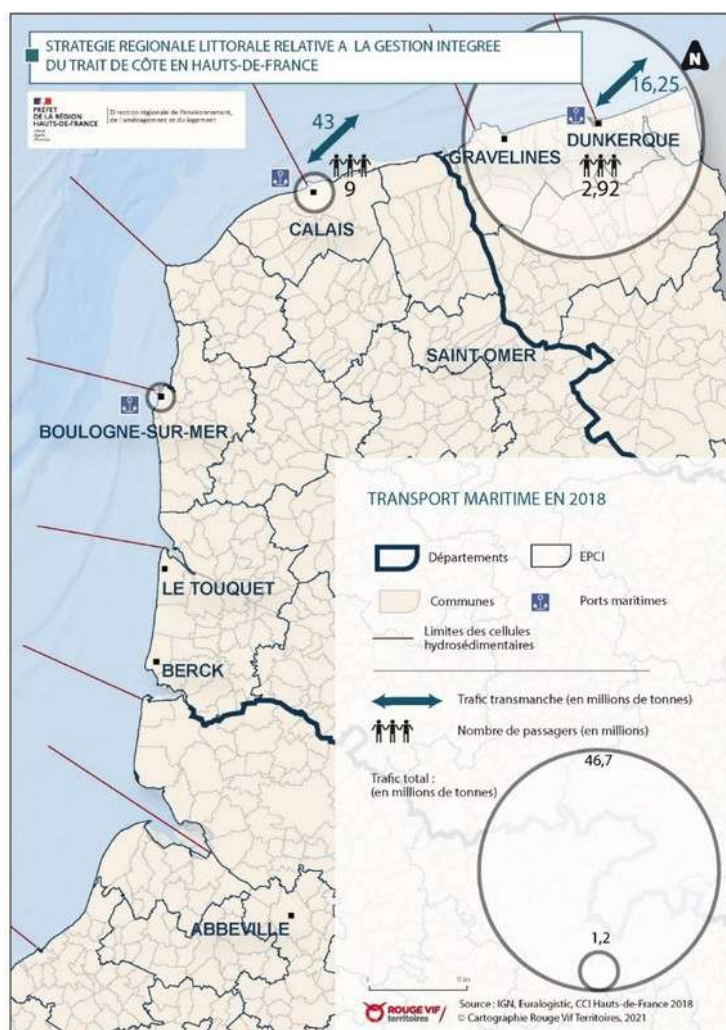


Figure 64: Cartographie de l'activité des maritimes des ports des Hauts-de-France

A l'inverse, le port de Boulogne-sur-Mer accueille 120 bateaux et 500 pêcheurs. Il est le premier port de pêche français avec 33 628 tonnes de poissons pêchés en 2016. Cette activité est renforcée par la présence sur le port du premier centre européen de transformation, de distribution et de commercialisation des produits de la mer. Tous les produits transformés au port ne sont pas nécessairement issus de la pêche locale mais sont aussi importés. Le port accueille également 140 entreprises dédiées aux produits de la mer. Ces éléments en font le leader européen des produits de la mer. Le port regroupe également un port de commerce, de plaisance et de transport transmanche dont l'activité est plus faible. En tout, il représente un chiffre d'affaires de 8,97 M€ en 2014, un chiffre en baisse par rapport à 2011 (10,09 M€).

Les ports départementaux du Crotoy, du Hourdel, de Saint-Valéry-sur-Somme, d'Etaples et de Gravelines-Grand-Fort-Philippe occupent une place moins importante dans l'économie littorale. Ces ports sont des ports de plaisance et de pêche, à l'exception des ports d'Etaples et de Saint-Valéry-sur-Somme qui ne peuvent plus accueillir de bateaux de pêche.

Au total, la flotte régionale concentre 18% des navires de France métropolitaine. Les ports de Dunkerque et Calais représentent ensemble le quart du trafic maritime national.

### La pêche professionnelle et de loisirs

La pêche, tant professionnelle que de loisir, est une activité majeure sur le littoral des Hauts-de-France qui accueille le premier port de pêche français. Elle représente en 2008 un chiffre d'affaires de 97 millions d'euros.

La pêche professionnelle se divise en deux catégories : la pêche en mer et la pêche à pied. Dans les Hauts-de-France, la pêche en mer bénéficie de la présence de 6 ports de pêche répartis sur le littoral (Le Hourdel, Le Crotoy, Boulogne-sur-Mer, Calais, Gravelines-Grand-Fort-Philippe et Dunkerque). Ces ports accueillent en tout 167 navires : 132 navires dédiés à la petite pêche ou pêche artisanale, 29 navires de pêche côtière et 6 navires de pêche au large, dont 3 chalutiers de pêche fraîche et 3 chalutiers congélateurs. Plus de la moitié de ces navires sont rattachés au port de Boulogne-sur-Mer. Parmi les techniques utilisées, la pêche aux arts traînants exerce une pression sur les milieux aquatiques, notamment au large des départements du Nord et de la Somme.

Activité traditionnelle sur le littoral des Hauts-de-France, la pêche à pied professionnelle demeure très développée sur le littoral. Elle représente un chiffre d'affaires annuel de plus de 3 millions d'euros et regroupe 400 pêcheurs, soit un cinquième des pêcheurs à pied professionnels de France métropolitaine. Elle est pratiquée dans les départements de la Somme et du Pas-de-Calais et est interdite dans le Nord. La Baie de Somme, premier gisement naturel de coques en France, concentre une grande partie de cette activité avec 3 000 à 5 000 tonnes de coques et de salicornes pêchées par an.

Cette activité de pêche induit de nombreux emplois en amont comme en aval de la filière, notamment dans le Boulonnais qui accueille des activités de transformation, de distribution et de commercialisation des produits de la mer.

Avec la première fédération de pêche française en nombre de membres actifs, la pêche de loisir est également ancrée sur le territoire d'étude.

### Une activité conchylicole dominée par la mytiliculture

La conchyliculture regroupe l'ensemble des méthodes d'élevage de coquillages comestibles : huîtres, moules, palourdes, coques, etc. Dans les Hauts-de-France, elle est dominée par la mytiliculture, et plus spécifiquement par la culture de moules sur bouchots.

En France, la conchyliculture représente une production moyenne de 200 000 tonnes de coquillages par an, pour un chiffre d'affaires de 774 millions d'euro. La production régionale représente entre 1,5 et 2% de cette production nationale avec 3 000 à 4 000 tonnes produites par an. Elle apparaît mineure en comparaison avec la production annuelle de sa voisine normande qui se situe à environ 17 500 tonnes par an (Comité régional conchylicole Normandie-Mer du Nord). Cette différence s'illustre également dans le nombre d'entreprises dédiées : 20 dans les Hauts-de-France pour 302 en Normandie en 2012 (recensement conchylicole). Au niveau régional, la conchyliculture de la Somme prédomine sur celle du Nord et du Pas-de-Calais, tant du point de vue de la production que de l'emploi.

En effet, dans la Somme, la production annuelle se situe entre 2 000 et 3 000 tonnes, pour un chiffre d'affaires d'environ 5 millions d'euro. La production s'étend sur 33 km, principalement au large des communes de Quend et de Saint-Quention en Tourmont. Elle comprend 14 entreprises qui emploient 83 personnes en 2012, dont 4 saisonniers. La moule y est cultivée sur bouchots depuis les années 1980. La présence d'un centre de traitement des produits issus de la conchyliculture au Crotoy illustre l'importance de l'activité dans la Somme.

Dans le Pas-de-Calais, la production annuelle est moindre avec 716 tonnes de coquillages en 2013. Deux techniques de culture sont utilisées : la culture à plat depuis les années 1950 et sur bouchots depuis les années 1980. La production sur bouchots s'étend sur 34,3 km au large des communes de Dannes, Oye-Plage, Audinghem-Tartinghem et Berck-sur-Mer. Elle représente une production de 590 tonnes en 2013, soit 82% de la production du Pas-de-Calais. La production à plat représente, quant à elle, 126 tonnes en 2013. Elle se situe au large des communes de Wimereux et d'Ambleteuse et s'étend sur 10 hectares.

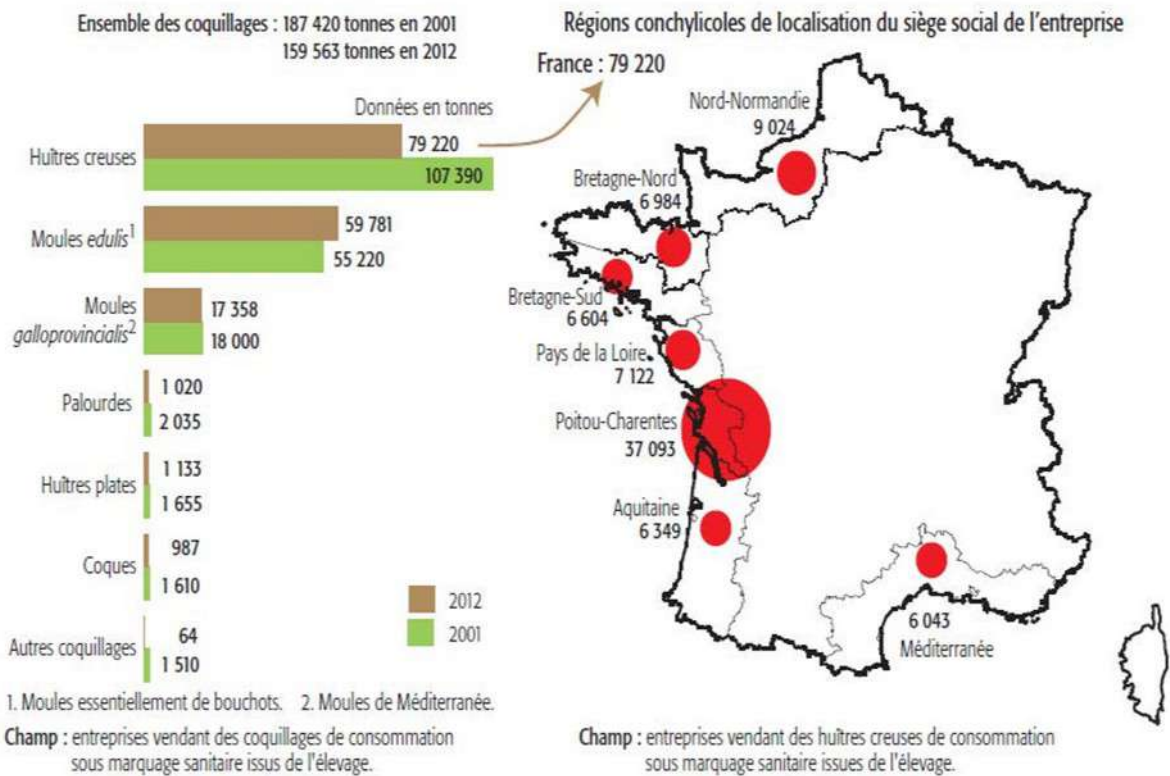
Dans le Nord, la culture de la moule est plus récente. Un élevage sur filières a été créé au large de Zuydcoote en 2006. Présent sur 300 hectares, cette production est encore mineure en comparaison avec celle de la Somme et du Pas-de-Calais avec 337 tonnes de coquillages entre juillet 2014 et juin 2015. La zone Nord-Pas-de-Calais emploie au total 33 personnes en 2012, dont 13 saisonniers.

Dans les trois départements, des gisements naturels de moules et de coques sont également exploités par des pêcheurs à pied professionnels.

L'ostréiculture n'est pas pratiquée sur le territoire. Néanmoins, une expérimentation de trois ans a été lancée en août 2019 au large d'Oye-Plage et de Zuydcoote afin de déterminer la possibilité de développer une filière huître sur le territoire. Cette expérimentation est née de l'observation d'une forte mortalité chez les moules du territoire<sup>1</sup> et de la volonté de diversifier la culture.

---

<sup>1</sup> « Au printemps 2019, un épisode de mortalités exceptionnel a affecté les gisements naturels du boulonnais et a eu pour conséquence de diminuer la ressource de façon importante. » Source : Évaluation de la qualité des zones de production conchylicole, IFREMER, 2020



## Une activité de transformation et de valorisation des produits de la mer difficile à appréhender

### Secteur du mareyage en Manche Est - mer du Nord (CA et VA en milliers d'euros).

Source : enquête FranceAgriMer. Données : 2015

	Classe 1 1 à 2 salariés	Classe 2 3 à 5 salariés	Classe 3 6 à 9 salariés	Classe 4 10 à 19 salariés	Classe 5 20 à 49 salariés	Classe 6 50 et + salariés	Total/ Moyenne
Nombres d'entreprises	5	12	15	18	21	4	75
Emploi total	9	47	118	262	710	370	1 516
Chiffres d'affaires total	3 309	29 522	36 897	73 500	305 911	225 173	674 312
CA/entreprises	662	2 460	2 460	4 083	14 567	56 293	8 991
Valeur ajoutée totale	1 129	6 982	9 184	10 552	49 667	17 550	95 064
VA/entreprise	226	582	612	586	2 365	4 387	1 268

En plus de créer des emplois dans le domaine de la pêche, la filière des produits de la mer emploie également beaucoup sur terre dans le cadre d'activités de transformation et de valorisation. A titre



d'exemple, sur la zone Manche Est – Mer du Nord, le secteur du mareyage compte 75 entreprises qui emploient au total 1 516 personnes pour un chiffre d'affaires de 674 312 euros en 2015.

Sur la zone d'étude, l'activité se concentre essentiellement sur le territoire du Boulonnais du fait de la présence du port de pêche de Boulogne-sur-Mer. Le port est la première plate-forme européenne de transformation, de distribution et de commercialisation des produits de la mer. Il accueille 140 entreprises dédiées et traite chaque année plus de 330 000 tonnes de produits issus de la mer, locaux comme importés.

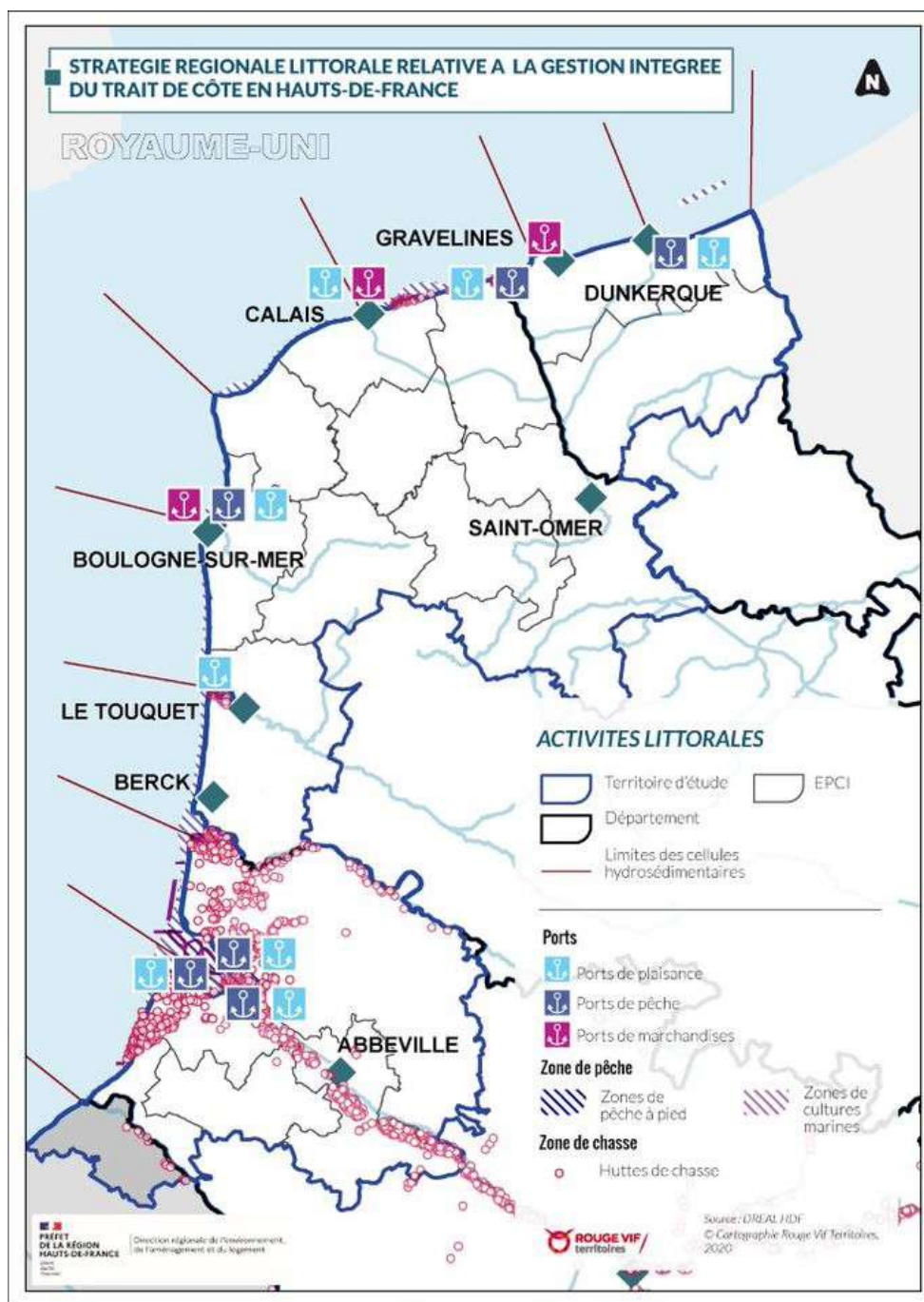


Figure 65: Cartographie de synthèse des activités liées à la mer

### 6.3.4.3.3. L'agriculture

#### Une surface agricole importante mais en recul

Avec une surface agricole exploitée de 309 105 en 2010, équivalant à 14,5% de la SAU régionale, la zone littorale et rétro-littorale des Hauts-de-France occupe une place non négligeable dans l'agriculture régionale. L'activité apparaît plus importante sur la zone littorale avec 175 508 hectares SAU, soit 56,8% des surfaces du périmètre. La zone rétro-littoral compte 133 597 hectares SAU en 2010. Un constat similaire est fait en ce qui concerne le nombre d'exploitations qui sont 4 694 à entretenir ces espaces et près de 49% sont situés sur les communes littorales.

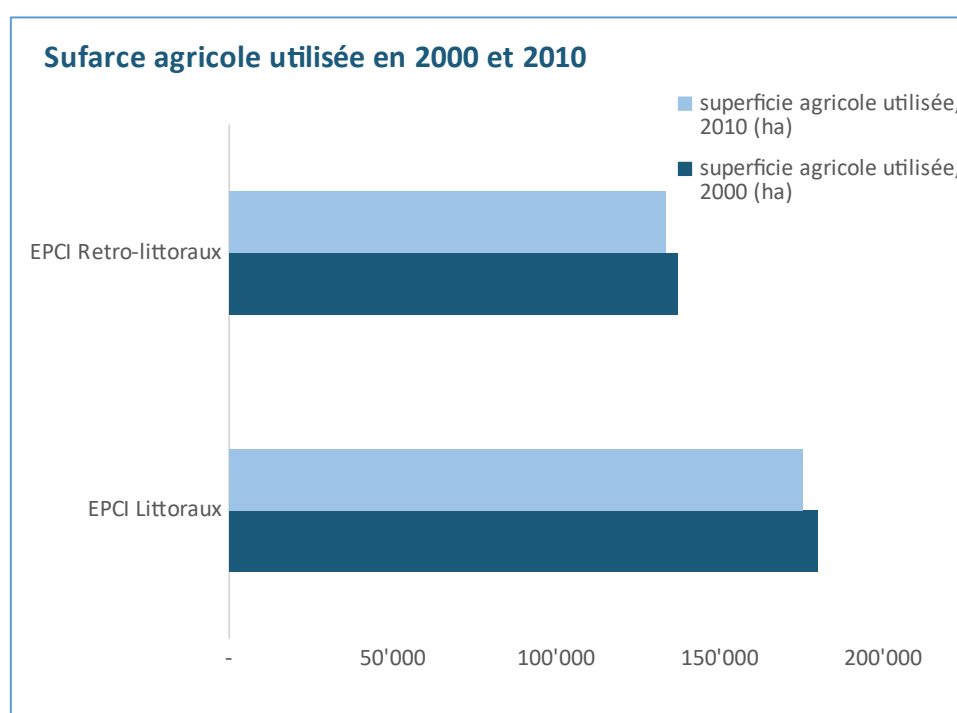


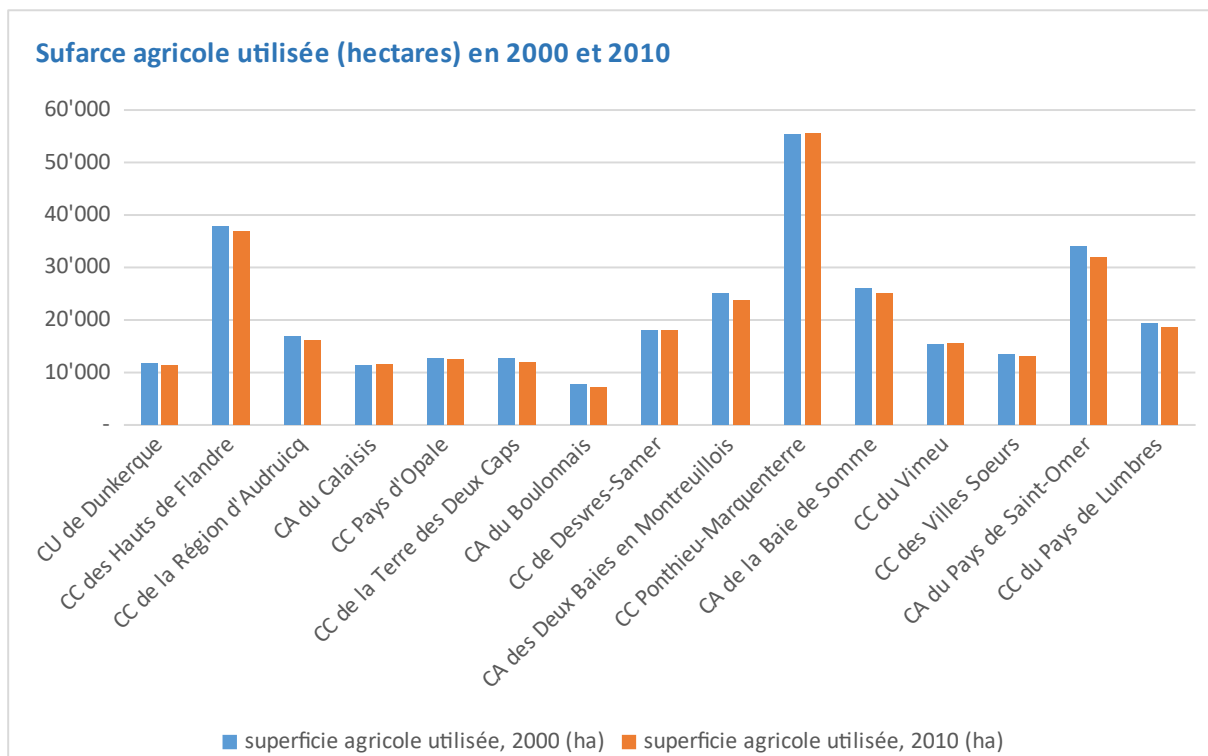
Figure 66 : Évolution de la surface agricole utile

Source : Recensement agricole, 2010

La Communauté de Communes de Ponthieu-Marquenterre se démarque avec une surface agricole qui concentre près de 18% de la SAU de la zone étudiée. Avec la Communauté de Communes du Vimeu et la Communauté d'Agglomération du Calaisis, elle fait figure d'exception face au constat d'une diminution généralisée des surfaces exploitées sur le reste de la zone d'étude. En effet, ces trois EPCI ont connu une augmentation de leur surface exploitée entre 2000 et 2010.

Source : Recensement agricole, 2010

EPCI Littoraux  
EPCI Rétro-littoraux



La diminution constatée de la surface agricole utilisée la zone d'étude est moindre qu'au niveau national mais plus importante qu'au niveau régional. En effet, la SAU du périmètre d'étude a diminué d'environ 2,5% entre 2000 et 2010. Au niveau national, ce recul s'élève à 3%.

Une baisse est également enregistrée en ce qui concerne le nombre d'exploitations qui est passé de 6 457 en 2000 à 4 694 en 2010 sur la zone d'étude, soit une baisse de 7%. Ce recul du nombre d'exploitations agricoles s'observe également au niveau national.

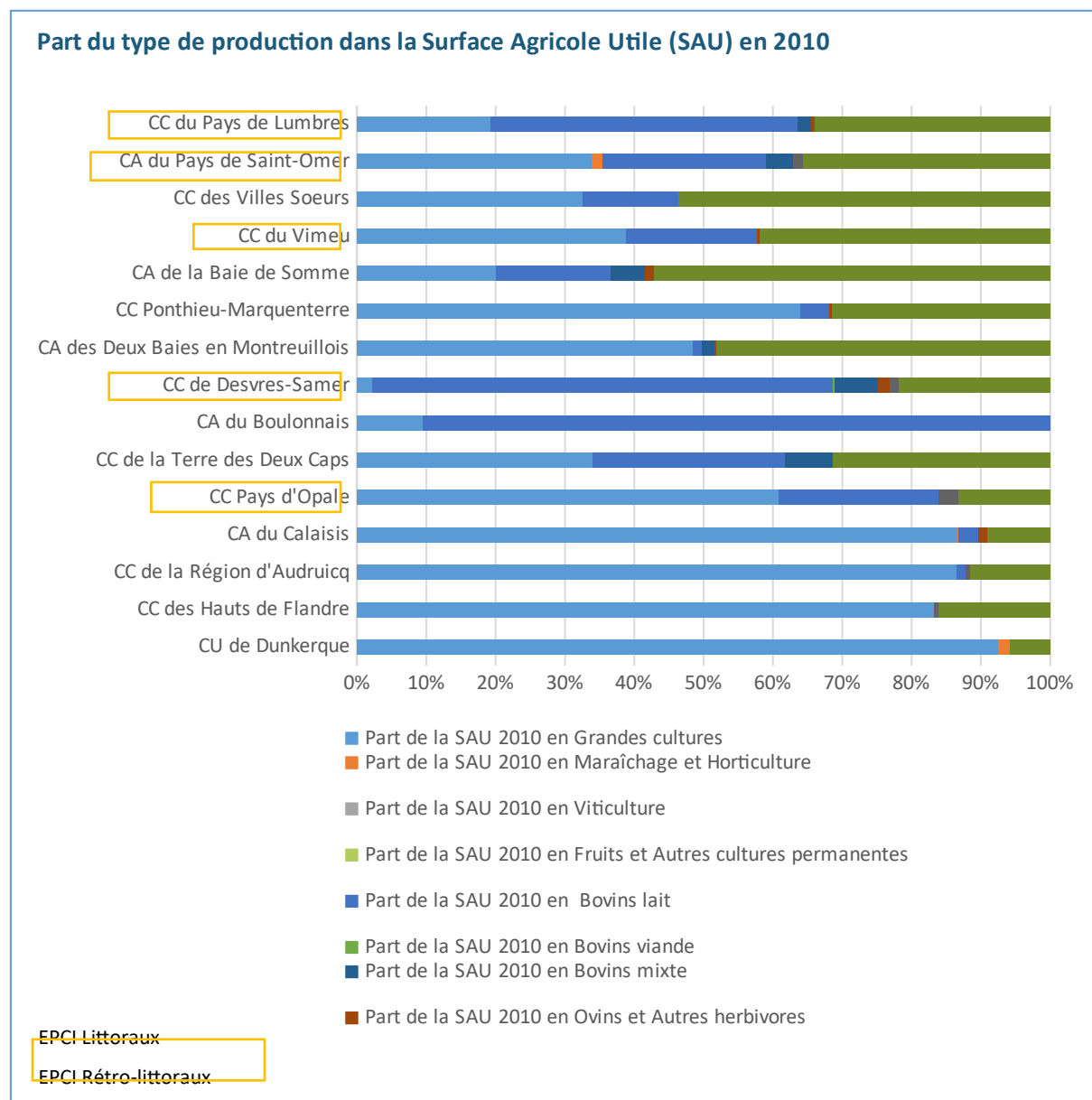
Au regard de ces tendances de diminution du nombre d'exploitation, le SCOT Flandre-Dunkerque cible comme enjeu le renouvellement des chefs d'exploitation et la transmission des exploitations. Le document identifie comme difficulté l'installation de jeunes agriculteurs, en raison de la cherté des terres agricoles et du peu de disponibilités foncières.

### Une agriculture dominée par les grandes cultures

Plus de la moitié (53,46%) de la surface exploitée est dédiée aux grandes cultures avec une répartition assez équilibrée entre le littoral (58%) et le rétro-littoral (49%). L'activité agricole de la Communauté Urbaine de Dunkerque semble spécialisée dans ce type de culture qui occupe 92,46% de sa SAU en 2010. A l'inverse, l'activité est très peu développée dans la Communauté d'Agglomération du Boulonnais (9,55% de la SAU) et la Communauté de Communes de Desvres-Samer (2,31% de la SAU). Ces deux territoires sont spécialisés dans l'élevage de vaches laitières avec respectivement 90,45% de la SAU du Boulonnais et 66,32% de la SAU de Desvres-Samer en 2010. L'agriculture de la communauté de communes du Pays de Lumbres est également peu portée sur les grandes cultures (19,34 % de la SAU) et spécialisée dans l'élevage de vaches laitières (44,22% de la SAU).

Au niveau de la zone d'étude, l'élevage de vaches laitières est le troisième type de production représenté avec 15,39% de la SAU en 2010. Sa présence est plus importante sur le rétro-littoral que sur le littoral. L'élevage de bovins destinés à la consommation de viande est, quant à lui, très peu

développé sur la zone et globalement dans la région (0,5% de la SAU des Hauts-de-France). La seule production existante se situe sur le rétro-littoral du Nord, au sein de la Communauté de Communes de Desvres-Samer. La production mixte est légèrement plus importante avec 1,54% de la SAU mais demeure très faible.



Source : Recensement agricole, 2010

La polyculture et le polyélevage constituent le second type de production présent sur le périmètre d'étude avec 28,5% de la SAU dédiée. Cette importance contraste avec la présence de ce type de production au niveau régional et départemental. En effet, il ne représente qu'1,14% de la SAU régionale. La polyculture représente une part importante des surfaces exploitées sur le littoral avec 30,6% en 2010.

Le maraîchage, l'horticulture, l'élevage d'ovins ainsi que les élevages hors sols sont moins développés sur le périmètre d'étude. La viticulture et la culture des fruits sont, quant à elles, absentes du périmètre.

#### 6.3.4.3.4. Le tourisme côtier

Avec des équipements touristiques phares comme Nausicaá, des sites naturels comme le parc du Marquenterre, des stations balnéaires comme Malo-les-Bains ou Le Touquet-Paris-Plage ainsi que des événements comme les rencontres internationales de cerfs-volants à Berck, le tourisme littoral des Hauts-de-France bénéficie d'un certain dynamisme. Le tourisme de bien-être est également très développé avec notamment Berck-sur-mer « la station du bien-être » et le centre de thalassothérapie du Touquet.

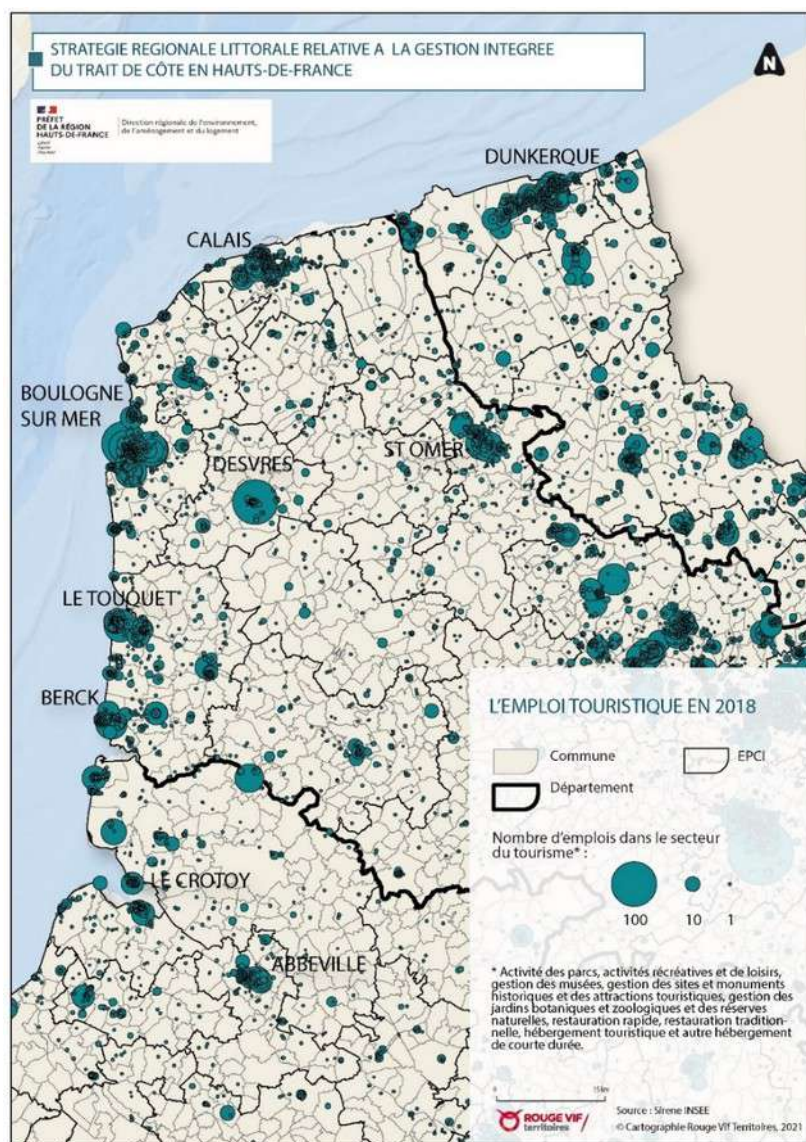
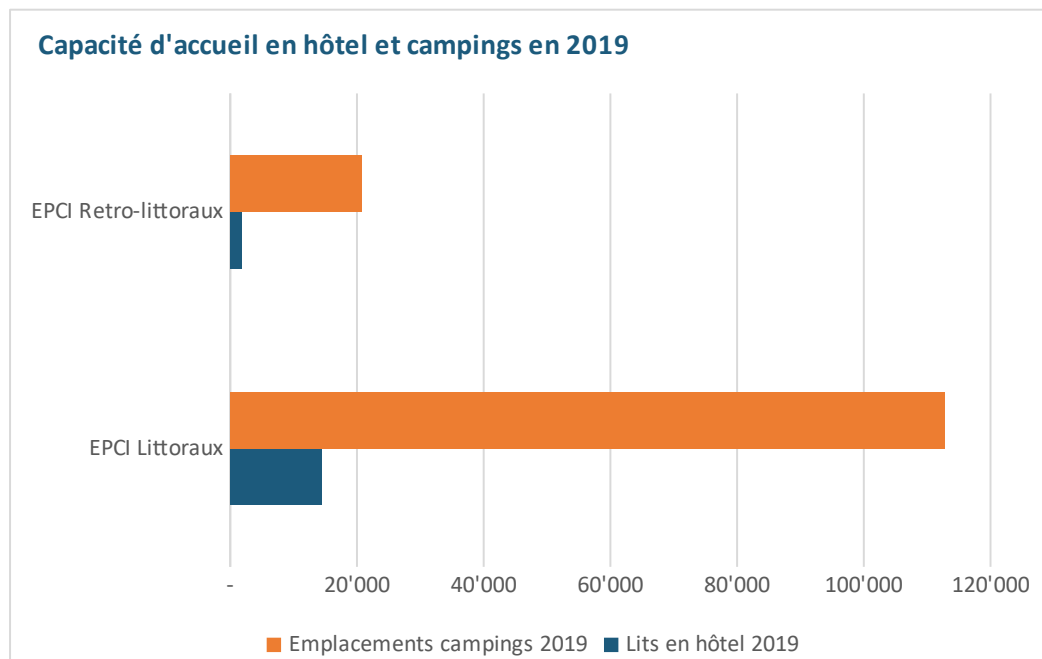


Figure 68: Cartographie des emplois touristiques

### Une capacité d'accueil conséquente essentiellement tournée vers le littoral

Les capacités d'accueil du secteur touristiques sont évaluées à près de 158 400 lits marchands issus pour plus de 80% des campings (290 établissements). 7 villages de vacances, 21 résidences de tourisme et 7 auberges de jeunesse sur le littoral viennent renforcer les capacités d'accueil du territoire.



Source : INSEE, BPE 2019

Figure 69: Capacité d'accueil touristique

Cette capacité d'accueil touristique se concentre en grande partie sur la Communauté d'Agglomération des Deux Baies en Montreuillois. En 2019, la Communauté d'Agglomération des Deux Baies en Montreuillois regroupe près de 24% des lits touristiques. Elle accueille également plus de la moitié des villages vacances de la zone. Cela peut s'expliquer par la présence de stations balnéaires comme Le Touquet-Paris-Plage, Berck-sur-Mer ou encore Stella Plage.

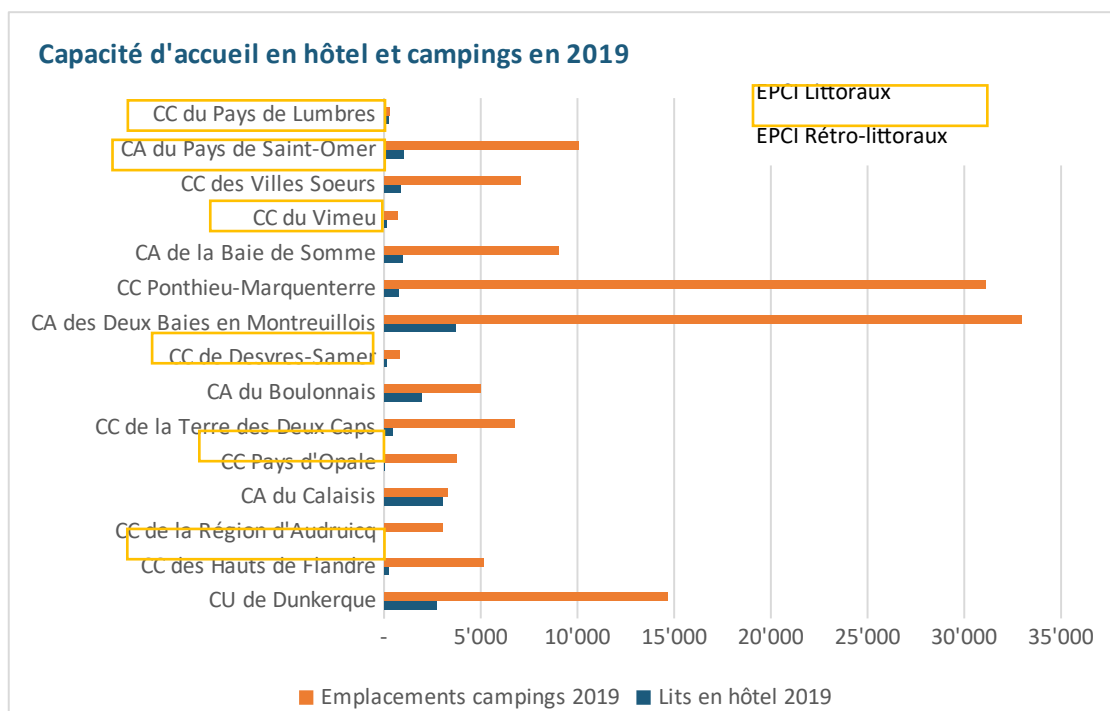


Figure 70 : Capacité d'accueil touristique par EPCI - Source : INSEE, BPE 2019

La Communauté de Communes Ponthieu-Marquenterre se distingue également près de 22% des lits touristiques du périmètre d'étude. La Communauté de Communes Ponthieu-Marquenterre se compose en effet plusieurs stations balnéaires comme Fort-Mahon-Plage ou Le Crotoy et accueille des sites naturels attractifs comme la réserve nationale naturelle de la Baie de Somme et le parc ornithologique du Marquenterre. Toutefois, le nombre d'hôtels est restreint en comparaison avec la capacité d'accueil de la communauté d'agglomérations des Deux Baies en Montreuillois, de la Communauté Urbaine de Dunkerque et la communauté d'agglomérations du Calaisis. Ces trois EPCI concentrent plus de 58% des lits d'hôtels du périmètre d'étude.

### Une offre d'accueil touristique auxquelles s'ajoutent les nombreuses résidences secondaires

Avec plus de 60 000 résidences secondaires répertoriées sur le territoire, c'est potentiellement 310 000 lits qui complètent l'offre d'hébergement du territoire. Le littoral rassemble près de 64% des lits potentiels des résidences secondaires (59 533 logements).

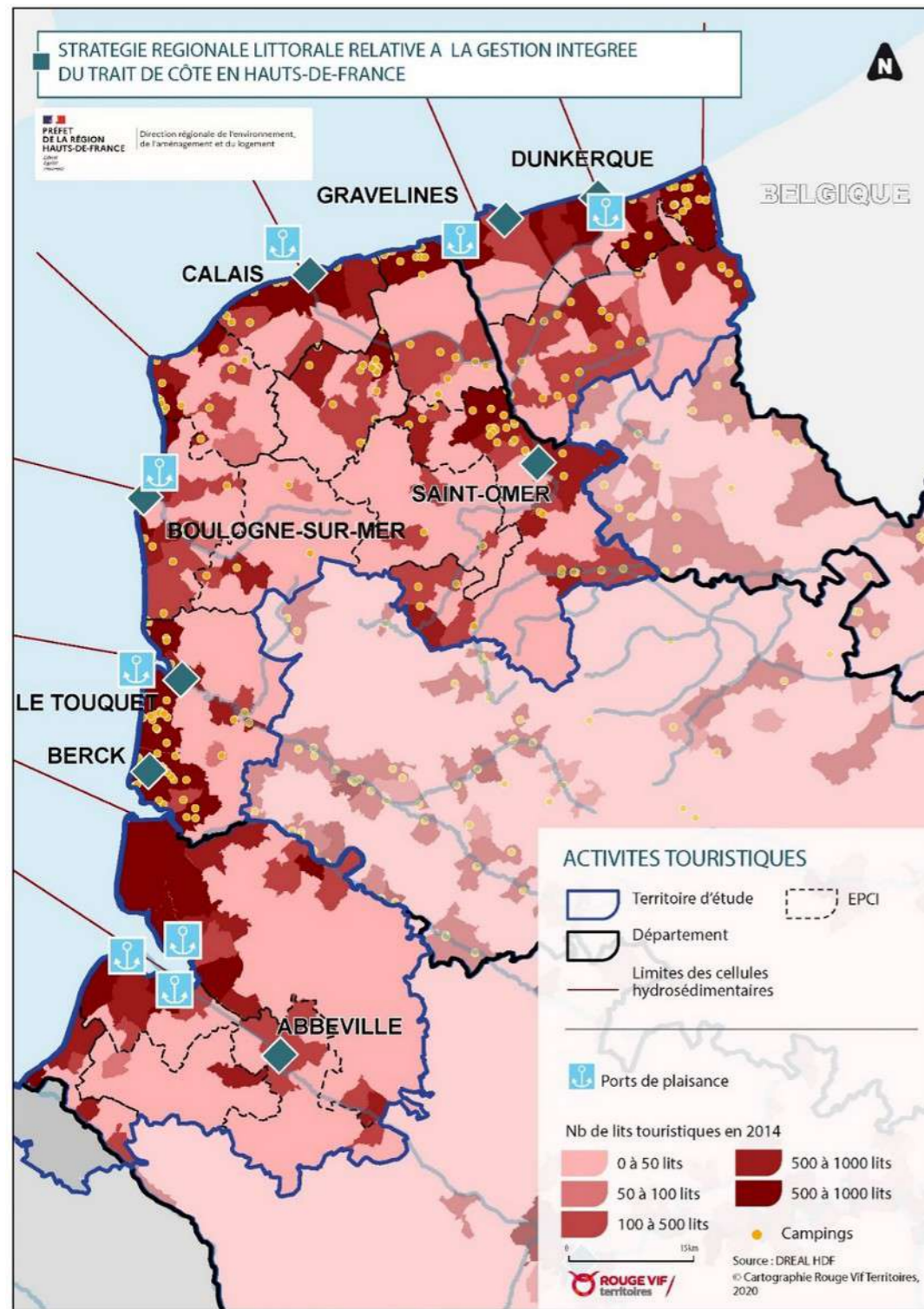


Figure 71 : Cartographie des lits touristiques



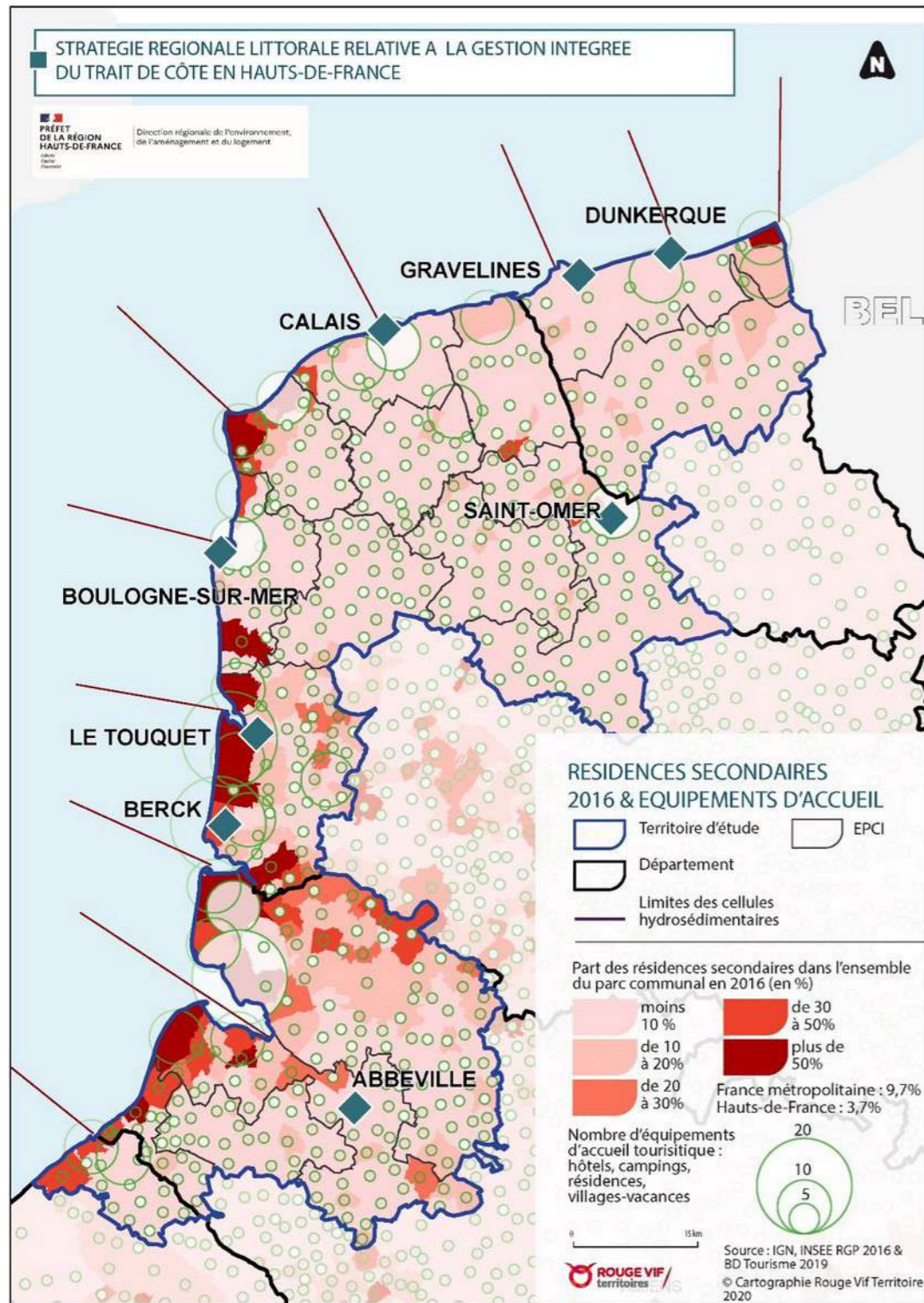


Figure 72 : Cartographie des résidences secondaires

Ainsi, le SRADDET pointe des déséquilibres entre les espaces littoraux et l'arrière-pays puisque l'essentiel des flux touristiques est concentré sur une étroite frange littorale où se situent les stations balnéaires mentionnées ci-dessus. Cette forte affluence touristique saisonnière ciblée sur certains secteurs entraîne des conflits d'usage du littoral et soulève des enjeux en matière de préservation du cadre de vie des populations résidentes et des espaces naturels du territoire. La surfréquentation saisonnière de certaines franges du littoral représente également des enjeux en matière de dimensionnement des équipements et infrastructures tels que les parkings et stations d'épuration. L'objectif du SRADDET « Assurer des conditions d'un accueil respectueux des équilibres sociaux, économiques et environnementaux sur le littoral » vise à répondre à ces problématiques et pointe le développement du tourisme vert comme opportunité de développement économique des territoires ruraux et littoraux moins anthropisés. Par ailleurs, l'ensemble des SCOT qui couvrent le périmètre d'étude soulignent des risques que représentent la surfréquentation touristique pour les milieux naturels et les ressources des territoires.

## Synthèse des enjeux relatifs à l'économie et l'emploi

### Une économie marquée par de profondes mutations

- Une forte désindustrialisation au cours des dernières décennies et un développement des emplois dans les services.
- Des prévisions prospectives laissant transparaître une dualisation du marché du travail entre des emplois très qualifiés et des emplois de services peu qualifiés (notamment des emplois saisonniers)
- Des pertes d'emplois importantes, notamment pour les EPCI littoraux, et une concentration des emplois et des entreprises sur la CU de Dunkerque et la communauté d'agglomération du Boulonnais.

### Activité industrielle

- Des emplois industriels situés à proximité des trois principaux ports, Dunkerque, Calais et Boulogne.
- Des risques technologiques importants au regard de la concentration des entreprises industrielles sur le littoral présentant des risques, avec 27 Installations Classées Pour l'Environnement (ICPE) Seveso
- Des tensions au niveau de l'accueil des activités du fait de la raréfaction du foncier.
- Des incidences importantes des activités industrialo-portuaire sur l'environnement : pollution des sols, de l'eau et de l'air.

### Activités liées à la mer

- L'économie maritime, une filière stratégique pour la Région qui porte l'ambition de conforter les ports et les agglomérations portuaires, en s'appuyant sur la complémentarité entre les trois principaux ports.
- La pêche professionnelle et de loisirs, des activités majeures sur le littoral régional au cœur de l'identité et de l'économie des territoires, qui soulèvent des enjeux de maîtrise des pressions des pratiques sur les milieux naturels et aquatiques et de gestion des conflits d'usages.
- Des enjeux de développement de l'aquaculture, de consolidation des approvisionnements en ressource par la pêche, de transformation d'espèces sous-exploitées et diversification des apports par des activités d'élevage.

## Agriculture

- L'agriculture, une activité majeure du territoire d'étude au cœur de son identité.
- Des enjeux de renouvellement des chefs d'exploitation et la transmission des exploitations pour répondre à la tendance de diminution du nombre d'exploitation.
- Des difficultés d'installation de jeunes agriculteurs, en raison de la cherté des terres agricoles et du peu de disponibilités foncières
- Face à la prépondérance des grandes cultures, des enjeux de diversification des exploitations agricoles et d'évolution des pratiques agricoles vers plus de durabilité en raison des menaces de ces activités pour les milieux naturels et de la nécessaire adaptation des exploitations face aux conséquences du changement climatique.
- Une valorisation de la production et consommation locales à renforcer.

## Tourisme côtier

- Le tourisme littoral et de bien-être sont développés et dynamiques sur le territoire d'étude, avec des capacités d'accueil importantes et concentrées sur la frange littoral, auxquelles s'ajoutent de nombreuses résidences secondaires.
- Une affluence saisonnière concentrée sur certains secteurs entraînant des conflits d'usage du littoral, des enjeux de préservation du cadre de vie des population résidentes et des milieux et ressources du territoire face aux risques de dégradation.
- Des équipements insuffisamment dimensionnés face à l'afflux saisonniers (parkings, stations d'épuration, etc.)

### 6.3.5. Synthèse des enjeux à l'échelle régionale

Les effets conjugués des mutations économiques, sociales, territoriales et des risques littoraux font peser des enjeux majeurs sur le littoral des Hauts-de-France.

Face à ces défis, de nombreuses stratégies sont déjà à l'œuvre à différentes échelles sur le littoral et les zones rétro-littorales pour permettre de mieux intégrer la submersion marine et l'évolution du trait de côte dans le développement des territoires :

- Les documents de planification (SRADDET, SCOT, PLUI, ...)
- Les stratégies, plans et programmes relatifs à la gestion des risques et du littoral (stratégie littoral de la Région, du conservatoire du littoral, document stratégique de façade, PPRL, PPRN et PAPI)

Si ces stratégies ont permis de limiter les conséquences sociales, économiques et environnementales des risques littoraux selon les territoires, elles doivent aujourd'hui intégrer les nouveaux défis posés par le changement climatique qui déstabilisent le littoral et son écosystème (augmentation des phénomènes de submersion, accélération de l'érosion dans certains secteurs, problématique de relocalisation des espaces urbanisés, ...).

## 6.4. L'analyse des enjeux à l'échelle des cellules hydro-sédimentaires et les secteurs d'aléas

L'analyse des enjeux à l'échelle des cellules hydrosédimentaires est présentée dans les fiches détaillées en annexe.



## 7. Présentation du fonctionnement du littoral

Ce chapitre présente le fonctionnement hydrosédimentaire du littoral de la zone d'étude. Il n'est basé que sur des documents existants, notamment la synthèse des connaissances réalisée par le CEREMA (2017).

### 7.1. Sous-cellule nord de la cellule 10 - Jetée du Tréport à la pointe du Hourdel



Figure 73 : Localisation de la sous-cellule 10

Au droit de la sous-cellule, la dérive littorale se produit du Sud vers le Nord et génère un transit important de galets et de sable. L'érosion des falaises à l'échelle de la cellule qui démarre au Cap d'Antifer au Sud, alimente ce transit en galets. Ce dernier est largement modifié par les ouvrages portuaires et de protection du trait de côte réalisée par l'homme. Des actions anthropiques de type rechargement ou by-pass influencent également le transit.

A l'extrême sud de la cellule, La Bresle se jette dans la mer au droit du Tréport et de Mers-les-Bains, à la limite des deux départements de la Seine-Maritime et de la Somme. Son estuaire, encadré par deux secteurs de falaises crayeuses, est composé :

- D'un estran rocheux sur lequel s'appuie un cordon de galets. La partie du littoral objet de la présente étude est celle d'environ 1,3 km à l'Est du débouché de la Bresle et des jetées du

port du Tréport, dont 750 m environ sont au droit de la commune de Mers-les-Bains. Elle est orientée Sud-Ouest/Nord-Est ;

- Des zones terrestres de basses altitudes au débouché de la vallée de la Bresle, accueillant les aménagements urbains de la station.

La vallée de la Bresle, d'une largeur d'1 km environ, se poursuit en mer par un large chenal sableux (environ 2 km) entre les platiers rocheux prolongeant les falaises du Tréport au Sud-Ouest et de Mers-les-Bains au Nord-Est sur 300 à 400 m de large.

Du fait de la présence de la jetée Ouest du Tréport, limite Sud de la sous-cellule qui intercepte une grande partie du transit sédimentaire, le trait de côte à l'Est de cette jetée présente une tendance à l'érosion (déficit chronique de galets et de sédiments). Ainsi, le développement et la protection de la station balnéaire de Mers-les-Bains ont nécessité la protection anthropique du trait de côte avec la réalisation de 9 épis (perpendiculaires au trait de côte) et d'un perré maçonné longitudinal, ainsi que des actions de rechargement en galets de la plage. Sur les 350 m à l'Est immédiat de la jetée Est du Tréport, le perré est protégé par un talus amortisseur en enrochements construits en 2004 après la tempête de 1990 qui avait complètement fait s'effondrer la protection en galets à cet endroit. En accompagnement du talus, le parapet du perré a été rehaussé.

La fixation du trait de côte a démarré à la fin du XIXème siècle. Il est relevé une phase importante d'aménagement (notamment les épis et rechargements) de 1950 à 1995 avant la réalisation des enrochements au début des années 2000.

L'entretien des aménagements et les actions de protections sont actifs, avec les dernières interventions menées par la Communauté de Communes des Villes Sœurs début 2020 : réparation des épis et rechargements en galets.

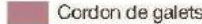

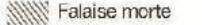
Ce secteur a connu deux évènements de submersion majeurs, en novembre 1977 et février 1990. Ce dernier a été provoqué par des franchissements de la protection longitudinale, suite à une érosion du cordon de galets.




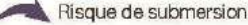
Figure 74 : Vue générale du littoral de Mers-les-Bains avec les ouvrages du port du Tréport en premier plan (source : Ricardo BOIMARE, 2006)

## Secteur du Tréport / Mers-les-Bains

### Profil de côte


-  Cordon de galets
-  Falaise vive
-  Falaise morte

### Phénomènes naturels

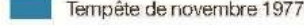
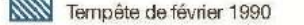
-  Érosion
-  Risque de submersion

### Dynamique sédimentaire




-  Cours d'eau
-  Transit littoral

 Limite départementale

### Événements marquants

- Inondations / zones touchées par une submersion
-  Tempête de novembre 1977
-  Tempête de février 1990

### Dispositif de protection

-  Épis
-  Jetées
-  Protection longitudinale (parapets / enrochement)

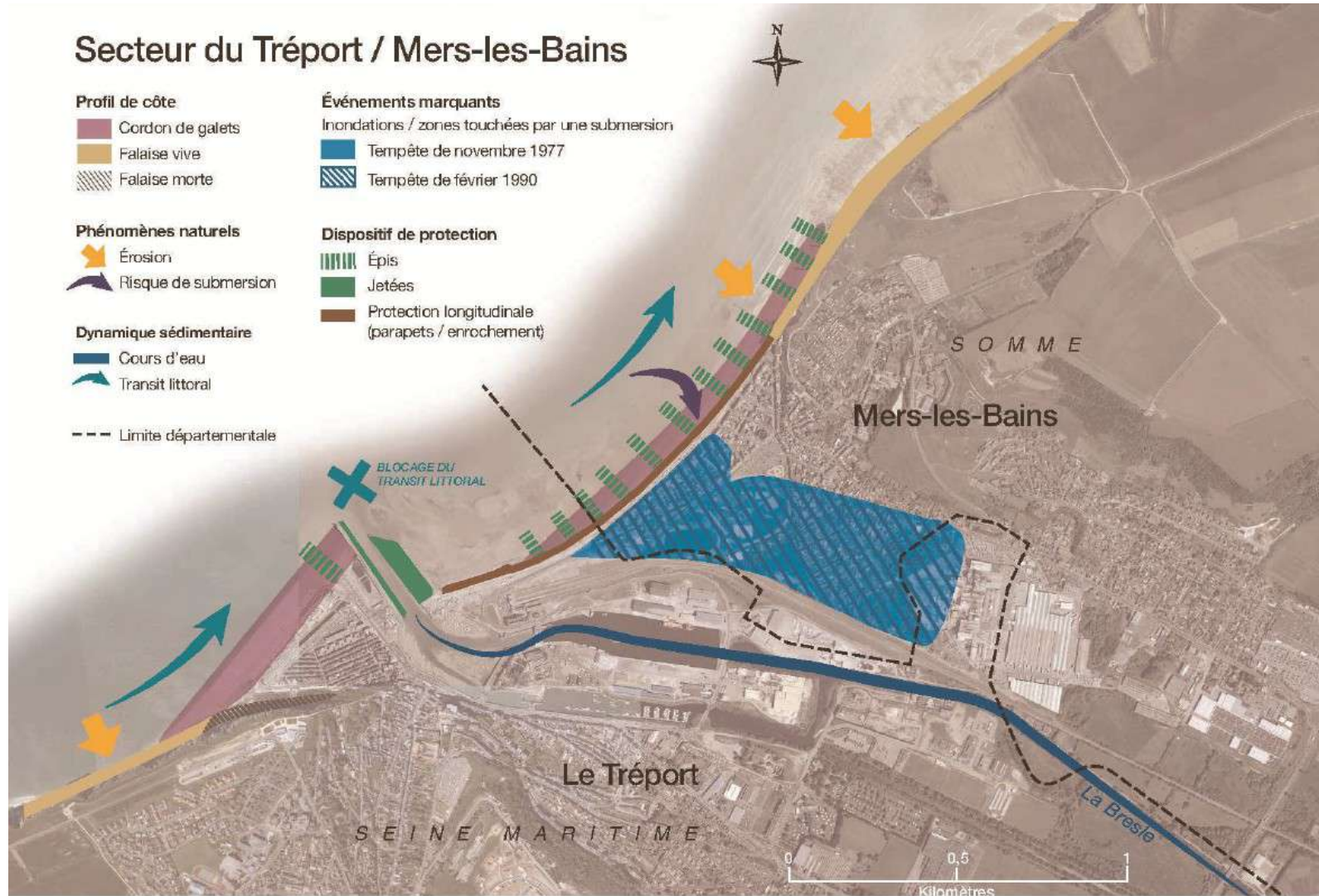


Figure 75 : Synthèse du fonctionnement du littoral au droit de Mers-les-Bains (source : diagnostic du PAPI BSA, 2015, annexe N)



Au nord de l'estuaire de la Bresle, le sud de la cellule entre Mers-les-Bains et Ault présente une falaise crayeuse vive en front de mer d'une hauteur importante. Elle est globalement affectée par une fracturation marquée, des sous-cavages parfois profonds, ainsi que des racines d'altération. A sa base, elle possède un cordon de galets à géométrie variable recouvrant un platier rocheux. En l'absence de cordon, le pied de falaise et le platier peuvent être directement attaqués par la houle. Ce littoral à falaise est également caractérisé par des valleuses perpendiculaires à la falaise, et des éléments de protection sur le platier en pied de falaise et sur la falaise. Les valleuses, callées sur des discontinuités importantes (failles), ont des hauteurs plus faibles, mais sont sujettes à une forte altération.



Figure 76 : Vue d'ensemble de la côte à falaises de Mers-les-Bains à Ault (source : copyright©Jean-Michel Goulard)

Au droit de Mers-les-Bains, la falaise fait 3 km de long, 70 à 80 m de hauteur, et a une direction N030 sur 400 m environ depuis la plage de Mers puis N055. Elle recule plus régulièrement qu'au Tréport et dans son ensemble, avec des événements ponctuels de tailles moins importantes qu'au Tréport. L'érosion de cette falaise est un phénomène plutôt lent et principalement lié aux facteurs continentaux même si la mer, qui atteint le pied de falaise, joue un rôle important.

De Mers-les-Bains à Ault, la falaise garde une hauteur importante sur les premiers 1600 m puis cette hauteur diminue progressivement vers Ault et la limite des Bas-Champs. Elle a alors une direction N040 à N045 en moyenne.

Des épis et des protections longitudinales ont été réalisés au droit de certains secteurs pour protéger des attaques directes de la mer, et pour maintenir un cordon de galets en protection sur le haut estran. Ces protections anthropiques et l'état du cordon de galets sont présentés ci-après. Les épis ont été parmi les premières protections à être mises en place, dès le 18<sup>ème</sup> siècle. Sur Ault Bourg, un recensement de 1955 faisait état de 23 épis présents, construits entre 1920 et 1939. Plusieurs épis sont ensuite reconstruits ou construits en 1947, 1969 et 1974.

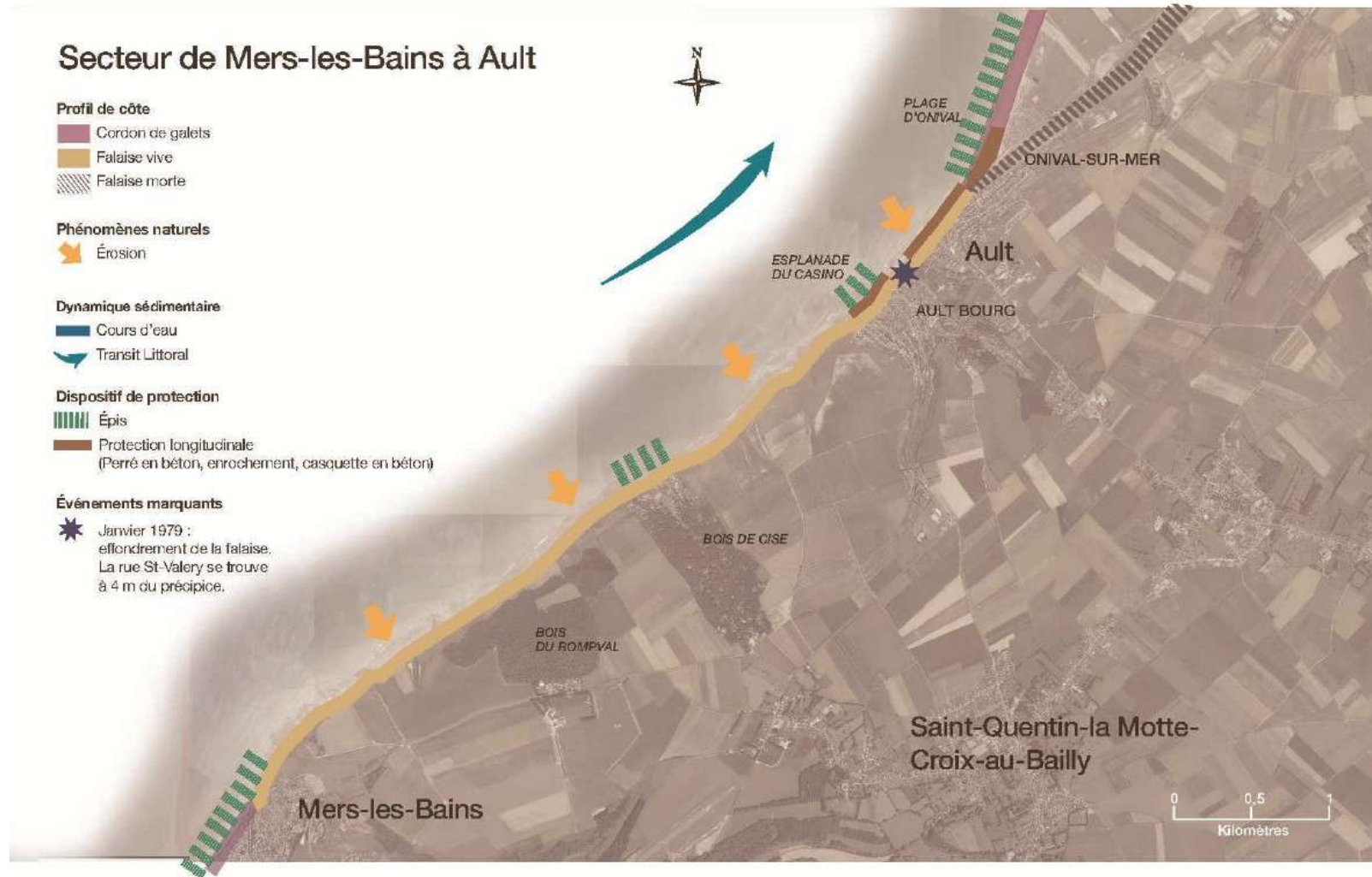


Figure 77 : Synthèse du fonctionnement du littoral de Mers-les-Bains à Aults-Onival (source : diagnostic du PAPI BSA, juin 2015)

Plus au nord, les Bas Champs du Vimeu forment une vaste zone d'accumulation sédimentaire majoritairement gagnée sur la mer par les actions de l'homme (polders) pour l'agriculture essentiellement. Cette zone est délimitée dans les terres par la falaise morte entre Ault et Saint-Valéry-sur-Somme. Elle est de faible altimétrie, nettement sous les niveaux marins extrêmes de pleine-mer, et est protégée de la mer par un cordon de galets qui forme une digue du Nord d'Ault au Hourdel, à l'entrée de la Baie de Somme, où on trouve un poulier (accumulation de galets). La configuration du cordon de galets dépend du transit sédimentaire vers le Nord et d'actions anthropiques.

Au droit de Cayeux-sur-Mer, le front de mer est en partie urbanisé. Au Nord du bourg de Cayeux jusqu'à la pointe du Hourdel, la protection est complétée par un cordon dunaire en arrière du cordon de galets.

Le littoral sur ce secteur s'étend sur 15,5 km d'Ault/Onival à la pointe du Hourdel.

Du fait notamment des nombreux ouvrages anthropiques en amont du transit sédimentaire interrompant ce dernier, le cordon de galets n'est pas suffisamment alimenté en partie Sud des Bas-champs et subit une forte érosion depuis un siècle. Depuis le milieu des années 1960, de nombreux épis perpendiculaires à la côte ont donc été réalisés entre Ault/Onival et Cayeux-sur-Mer pour lutter contre cette érosion et protéger la digue de galets, et des rechargements massifs ont été pratiqués. En 1990, on dénombrait 50 épis. 4 supplémentaires ont été construits de 1990 à 1994. 420 000 m<sup>3</sup> de galets ont été apportés entre 1973 et 1990 et un rechargement massif de 660 000 m<sup>3</sup> a été réalisé de 1990 à 1994. 450 000 m<sup>3</sup> de ce dernier sont partis en trois ans de 1990 à 1993.

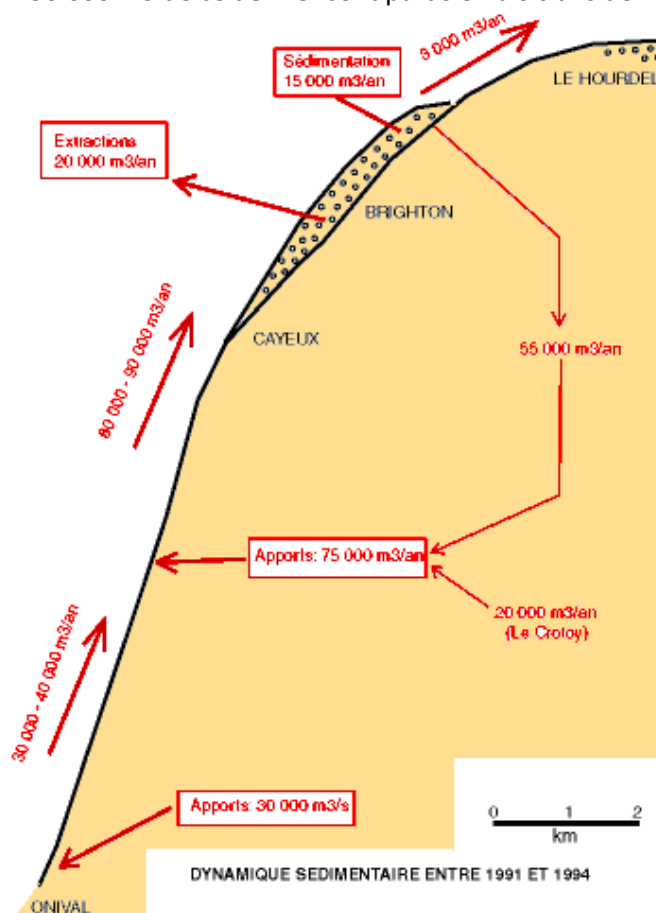


Figure 78 : Transit sédimentaire et extraction au droit des Bas-champs (source : SOGREAH, 1994)

De 1997 à 2002, des travaux importants ont consisté à reprendre les anciens épis et en construire de nouveaux, et à effectuer un rechargement massif en galets entre les épis (500 000 tonnes). On dénombrait 80 épis en béton de Ault à l'Amer Sud. 24 épis supplémentaires en béton ont été construits récemment en 2014/2015, avec un apport de 220 000 m<sup>3</sup> de galets. A ce jour, le littoral est ainsi aménagé de la limite Nord de Ault à la limite Nord de la zone urbanisée de Cayeux-sur-Mer.

Des opérations de rechargement en galets sont menées régulièrement par les carriers (gratuitement dans le cadre d'un accord avec l'Etat pour l'extraction de matériaux ailleurs) pour alimenter artificiellement les casiers formés par les épis, pour élargir le cordon de galets. En cas d'avis de tempête, des interventions ont lieu avant, pendant et après la tempête pour renforcer/rehausser la protection. La gestion de la protection est donc dynamique, en fonction des contraintes maritimes.

La tempête de février 1990 est l'évènement majeur d'érosion/submersion récent pour ce secteur, qui a provoqué l'ouverture de larges brèches dans la digue et son écrêtage, et une submersion très importante des Bas-champs jusqu'à 3 km à l'intérieur des terres (3000 hectares touchés).

Les tempêtes récentes de janvier 2018 (Eleanor) et février 2020 (Ciara) ont provoqué une submersion par franchissements avec des inondations moins importantes dans la ville de Cayeux-sur-Mer (quelques rues en 2020 uniquement). Les franchissements ont été limités par les interventions de renforcement du cordon de galets. Néanmoins, le recul de la largeur en crête de la digue a été localement très important en février 2020, de l'ordre de 12 m. En janvier 2017 (Egon), des franchissements ont eu également eu lieu au droit de Cayeux-sur-Mer avec une emprise et des hauteurs plus grandes qu'en 2018 et 2020, avec une pénétration jusqu'à la place du marché et 40 à 60 cm au maximum relevés. A chaque fois, le reflux de l'eau vers la mer est rapide.

Avant 1990, plusieurs submersions ont eu lieu en novembre en 1972, 1977 et 1984 avec une gravité entre celles très récentes et celle de 1990. A chaque fois, des brèches dans le cordon de galets et des franchissements se produisant de Woignarue à Cayeux-sur-Mer sont à l'origine des submersions. En 1972, la hauteur d'eau moyenne de la submersion est de 15 cm sur 750 ha.

En mars 2008, septembre 2019, février 2020 et octobre 2021 le tronçon de la route Blanche entre Cayeux-sur-Mer et le Hourdel au droit de la carrière a été attaqué par la mer, après érosion du cordon de galets. Ce secteur est sensible. Des rechargements importants en galets en novembre 2019 et tout début 2020 (25 à 30 000 tonnes en tout) n'ont pas suffi à éviter l'érosion du cordon de galets et du cordon dunaire et l'endommagement de la route (sur 50 à 100 m en 2019), avec des courants parallèles à la côte à ce niveau.

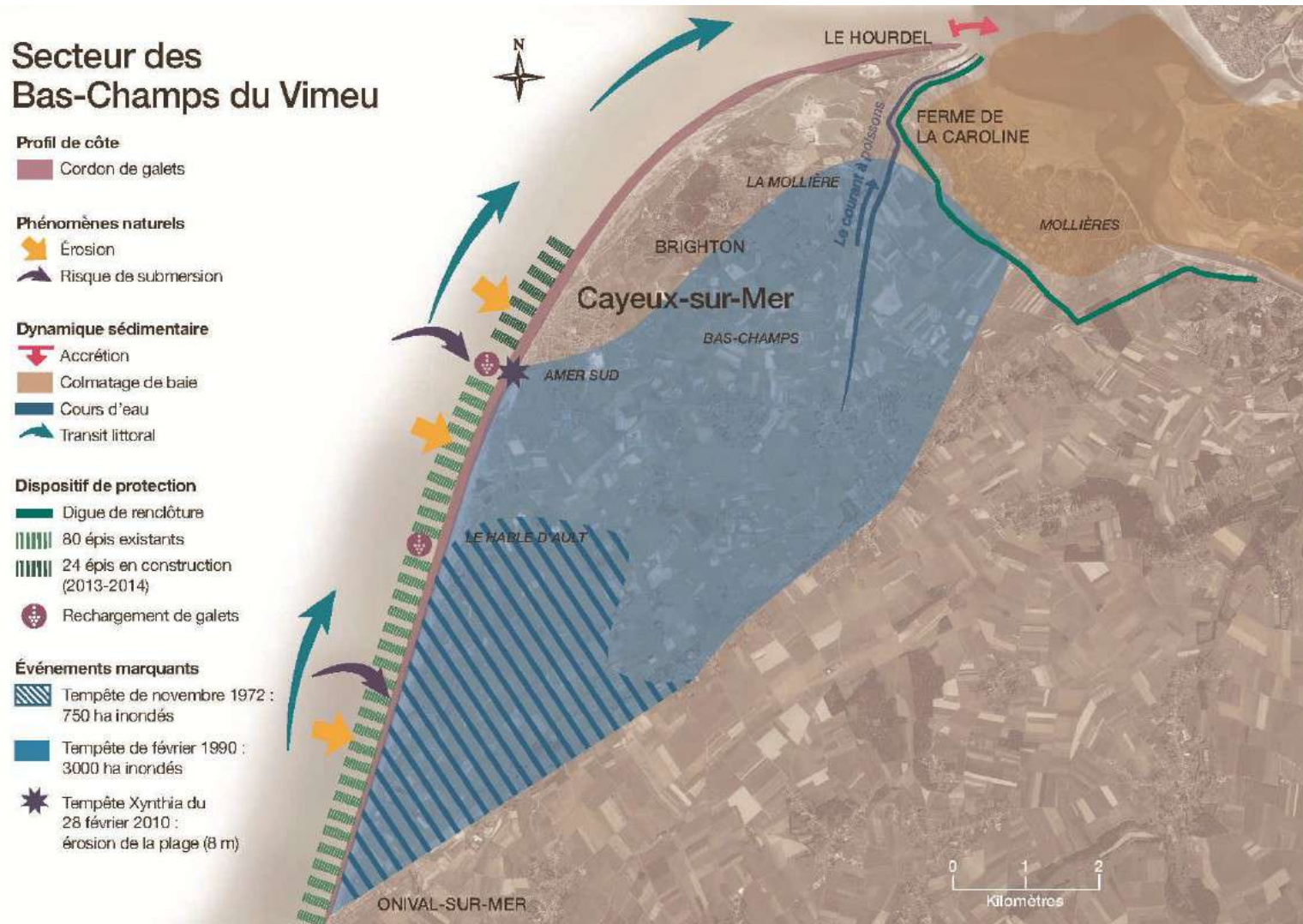


Figure 79 : Synthèse du fonctionnement du littoral d'Ault Onival au Hourdel (source : diagnostic du PAPI BSA, juin 2015)

Ainsi, le littoral des Bas-champs du Vimeu peut être découpé en trois grands secteurs en termes de protection anthropique et/ou naturelle et de fonctionnement général :

- D'Ault/Onival au Nord du bourg de Cayeux-sur-Mer, sur 9,5 km environ : tronçon protégé par le cordon de galets entretenu par des rechargements et par 80 épis récents (5-6 ans) ou construits/remis en état il y a 20 ans environ. Le système à 104 épis nécessiterait un rechargement annuel en galets de 30 000 m<sup>3</sup> (à vérifier) contre 80 000 m<sup>3</sup> avant. Ce secteur exposé aux houles est historiquement celui qui subit une érosion importante et où se sont produites les entrées d'eau qui ont mené à une submersion des terres en arrière (franchissements/rupture du cordon de galets).

Le maintien et la gestion dynamique en périodes de tempête du cordon sont indispensables à la protection. Ces interventions sur le cordon ont évité des ruptures du cordon depuis 1990, en particulier au cours des récentes tempêtes. Pour rappel à ce sujet, les études antérieures ont défini pour le système à 80 épis la nécessité d'avoir un cordon avec une crête de 20 m de large à la cote 10 m IGN69. En 2011, 52% du linéaire du cordon entre Ault et Cayeux présentaient une crête au-dessus de 10 m IGN69. D'autre part, il faut noter que ce système de défense a été dimensionné pour un niveau d'eau extrême de 6,40 m IGN69.

Au droit du bourg de Cayeux-sur-Mer, la crête du cordon est plus basse (8,50 m IGN69 environ). Le petit muret présent actuellement entre le boulevard en front de mer et la digue de galets a un rôle important pour limiter les franchissements par paquets de mer. Un projet de nouveau boulevard maritime devra intégrer des collecteurs pour absorber une part des franchissements et limiter l'inondation de la ville.

- Du Nord de Cayeux à La Mollière, sur 4 km environ : tronçon avec un cordon dunaire de largeur importante en arrière du cordon de galets, large également et formé d'une juxtaposition de cordons et de crochons successifs. L'ensemble forme une barrière littorale large et complexe. La crête dunaire augmente vers le nord et dépasse 10 m IGN69 sauf sur les 500 m depuis le bourg de Cayeux. Ce tronçon est marqué par les extractions de galets (exploitation par les carriers) et une érosion qui pourrait affecter l'extrémité côté Cayeux par report de l'érosion du fait de la présence des épis au Sud.

D'autre part, du sable s'accumule en grande quantité le long du cordon de galets côté mer à l'extrémité du secteur. Cette accumulation de sable peut stopper l'avancée des galets et favoriser l'érosion en aval du transit. En 2007, on voit que les galets n'étaient pas bloqués tandis qu'en 2015 et 2017, le sable empêche leur propagation vers l'aval : cf. photos ci-après.

Au droit de ce secteur, les bancs-sableux dissipent les houles et limitent les possibilités de franchissement.



Figure 80 : Photographies aériennes de la transition en aval de la Mollière en décembre 2007, juin 2015 et mars 2017 (source : GoogleEarth)

- De la Mollière au Hourdel, sur 2 km : tronçon avec un cordon de galets étroit jusqu'au poulcier, étroitesse en partie liée au phénomène actuel de blocage des galets en amont (précédemment décrit), et un cordon dunaire moins large en arrière. La crête de ce dernier diminue progressivement à 10 m IGN69 vers le Nord, jusqu'en limite de la carrière, puis varie

entre 8 et 10 m IGN69 avant la pointe du Hourdel. Sur ce tronçon, la route Blanche longe le cordon de galets au droit de la carrière, puis s'enfonce dans le cordon dunaire jusqu'au Hourdel.

Au droit de la carrière, le cordon dunaire s'est érodé depuis 10 ans sur la zone Sud et les galets ne progressent plus depuis le Sud (cf. photographies aériennes ci-avant). Ce secteur s'érode avec la route Blanche exposée qui peut être attaquée directement par la mer, comme en 2008, 2019 et 2020. On observe néanmoins en 2015 et 2017 qu'une accumulation de sable se reforme sur la zone Sud, reportant les problèmes d'érosion et d'attaque de la route plus au Nord vers le blockhaus. Une étude va être menée pour l'aménagement d'une protection pour ce secteur.



Figure 81 : Erosion et attaque de la route blanche en septembre 2019 (source : SMBS-GLP)

Outre l'alimentation en galets, l'évolution de ce secteur est également fortement liée au positionnement du chenal du fleuve Somme qui, selon les périodes est plus ou moins proche du littoral. La présence de ce chenal en bordure de cordon, comme en 2007 et 2017 (cf. photos aériennes ci-avant) engendre des courants importants engendrant une érosion plus prononcée. En mars 2017, le chenal était ainsi collé au cordon à partir du blockhaus, tandis qu'il était éloigné du trait de côte en juin 2015.

Dans la baie de Somme, les infrastructures portuaires du Hourdel et des digues protègent le littoral, dont la digue de la Gaieté, ou digue des Mollières, jusque Saint-Valéry-sur-Somme. Ce secteur est peu soumis aux franchissements. Néanmoins, cette digue présente des points bas sous le niveau extrême centennal en entrée de baie de 6,5 m IGN69. Des débordements pourraient intervenir, notamment du fait du réchauffement climatique. Le PAPI BSA prévoit son rehaussement à 7,50 m IGN69 du Hourdel à Saint-Valéry-sur-Somme.



## 7.2. Cellule 11 : Pointe du Hourdel à la pointe de Routhiauville (dune blanche)

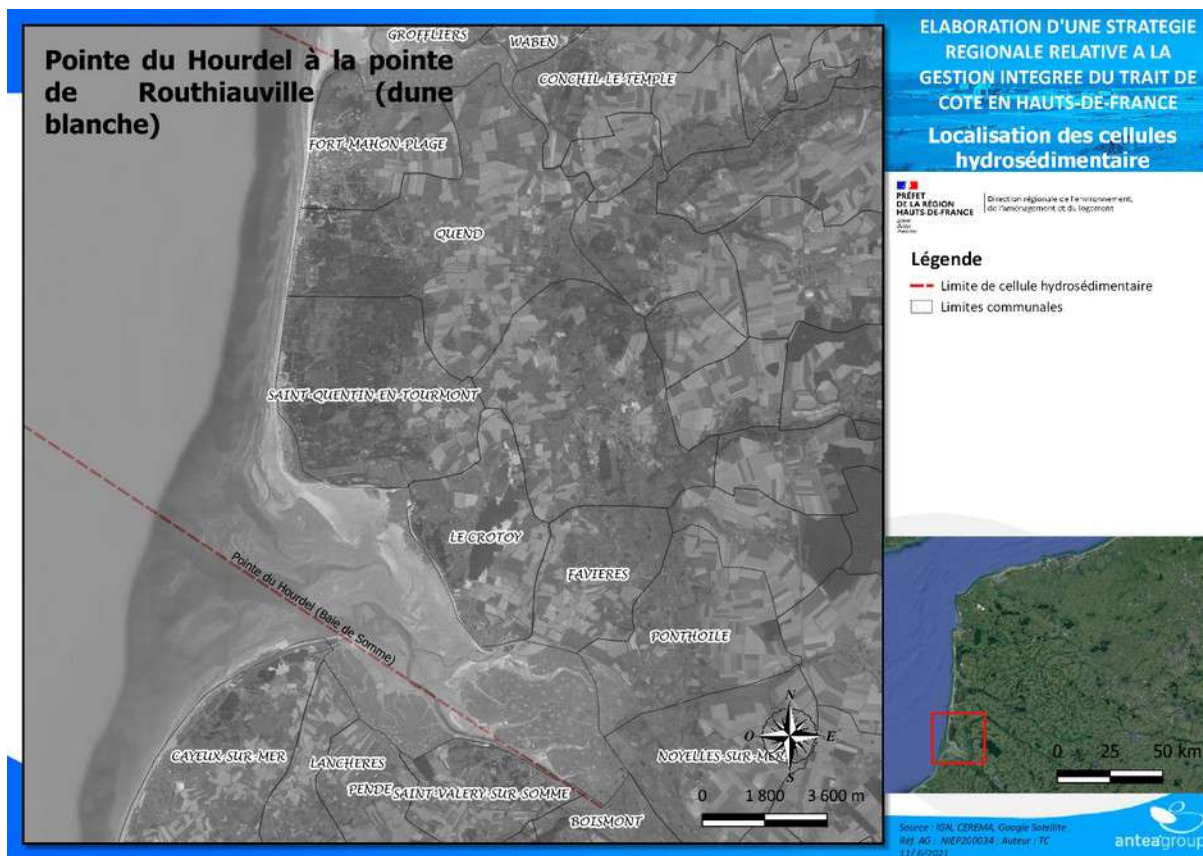




Figure 82 : Localisation de la cellule 11

### 7.2.1. Baie de Somme



Dans la baie de Somme, le littoral est protégé par des ouvrages longitudinaux au droit des zones urbanisées, et par des digues de renclôture au droit des terrains agricoles en arrière des Mollières (prés salés propres à la baie de Somme) ou des constructions en bord de mer.

## Secteur de la Baie de Somme

### Profil de côte

-  Cordon de galets
-  Cordon dunaire

### Phénomènes naturels

-  Érosion
-  Risque de submersion

### Dynamique sédimentaire

-  Accrétion
-  Colmatage de baie
-  Transit littoral
-  Cours d'eau

### Dispositif de protection

-  Digue de clôture
-  Protections longitudinales (perré en béton, enrochement, rondins de bois, quais,...)
-  Ganivelles, oyats, rechargement de sable
-  Épis existants
-  Épis en construction (2013-2014)

### Événements marquants

-  Tempête de 1984 :
  - submersion du Cap Hornu avant la création de la plage,
  - submersion des quais Blavet et Jeanne d'Arc
-  Tempête de mars 2001 :
  - détérioration du perré du Crotoy
-  Printemps 2001 :
  - crues de la Somme
-  Tempête Xynthia, 28 février 2010 :
  - forte érosion avec localement création de zones basses dans le cordon

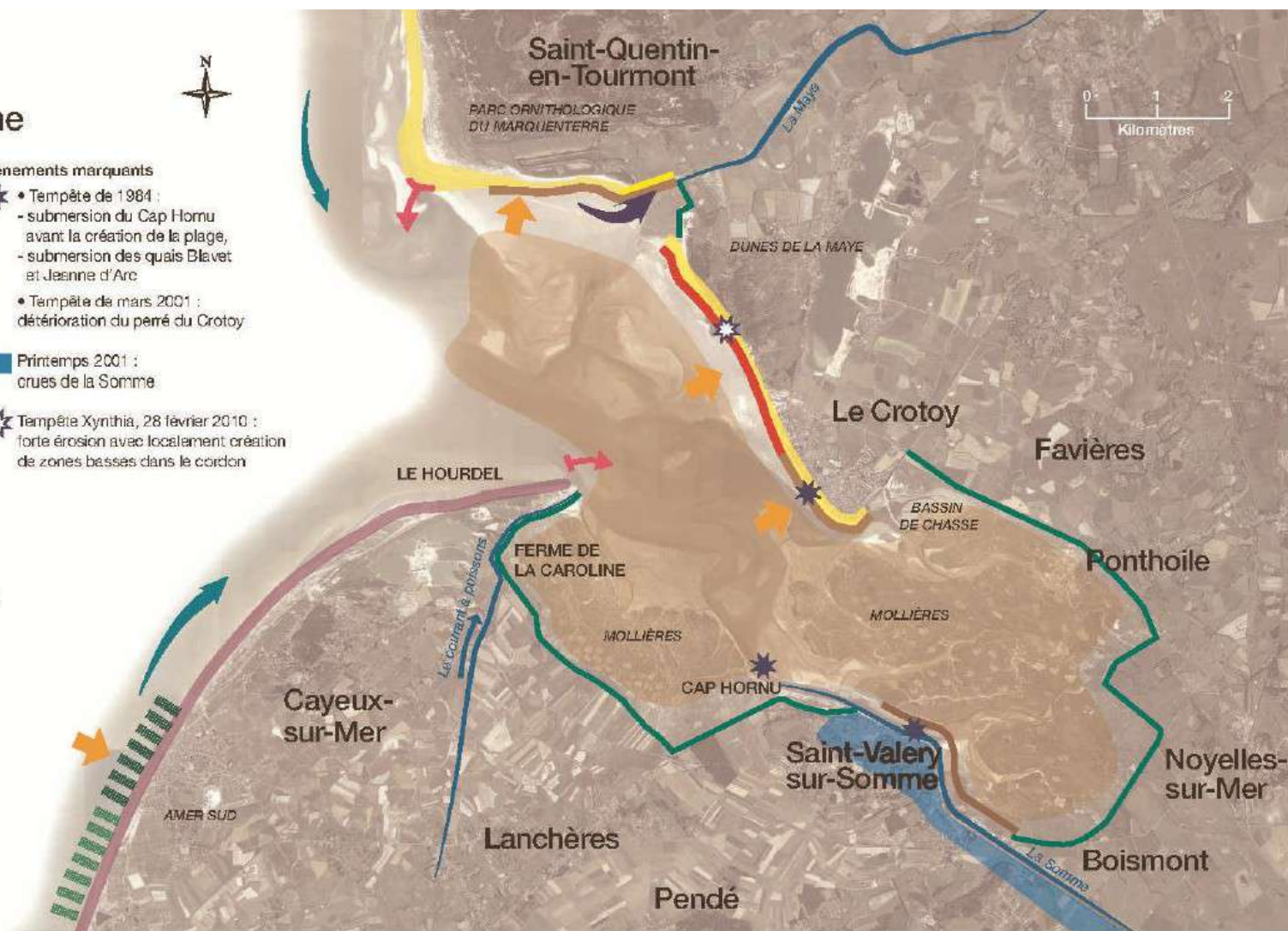


Figure 83 : Synthèse du fonctionnement du littoral au droit de la Baie de Somme (source : diagnostic du PAPI BSA, juin 2015)

La baie de Somme est un estuaire en comblement : la moyenne d'accumulation sableuse a été calculée à presque 1,5 Mm<sup>3</sup>/an (hors schorre et chenaux) pour une élévation moyenne des fonds de 4 cm/an sur la période 2011-2013 (Michel, 2016).

Il s'agit d'un estuaire de type « picard » : la rive sud, en accrétion, forme un poulie et la rive nord, en érosion, forme le musoir (Dobroniak, 1999a). La pointe du Hourdel constitue le poulie en rive sud de la baie de Somme et la pointe de Saint-Quentin, en rive nord de la baie, constitue le musoir. Cet estuaire présente une grande diversité d'environnements morphosédimentaires : la slikke, le schorre (ou mollière), un massif dunaire développé sur les rives et une plate-forme sableuse correspondant à un delta mixte de flot et de jusant qui comble l'estuaire. Il joue le rôle « d'épi hydraulique » déviant vers le large ou vers l'intérieur de la baie les apports provenant du sud (Latteux, 2001) : la conjugaison d'une importante surface marnée et d'une marée particulièrement forte se traduit par un prisme de marée très volumineux dans l'estuaire et donc des débits de remplissage et de vidange très importants. Les fortes vitesses induites arasent le débouché, les apports solides en provenance du sud sont entraînés vers l'intérieur de l'estuaire durant son remplissage et vers le large pendant sa vidange.

La réduction de surface exondable a réduit le prisme de marée : l'écoulement amoindri de vidange ne permet plus un effet de chasse et les sédiments sont repoussés moins loin au large et avec moins de vigueur (Latteux, 2001), favorisant ainsi l'exhaussement des fonds dans l'estuaire externe.

Les points les plus bas (chenaux) qui interrompent le plus efficacement le transit côtier se sont significativement relevés et la sous-alimentation du littoral situé au nord de l'estuaire s'est trouvée moins sévère, ce qui a contribué à limiter progressivement l'érosion de la pointe de Saint-Quentin (nord de la baie de Somme) (Latteux, 2001).

Une quantification des flux sédimentaires par charriage et par suspension a été conduite par Michel (2016) au droit de la pointe du Hourdel, sur la période du 27 janvier au 9 février 2014, où se sont succédé plusieurs coups de vent. Les flux intégrés sur le cycle de marée semi-diurne montrent une direction vers l'est, c'est-à-dire vers le fond de la baie qui souligne le phénomène de comblement qui l'anime, à l'exception des périodes où des vents de terre s'établissent et induisent une inversion des flux résiduels.

### 7.2.2. Marquenterre

Le littoral du Marquenterre s'étend sur environ 12 km de la pointe de Saint-Quentin au Sud, à la pointe de Routhiauville au Nord, entre la baie de Somme et la baie d'Authie.

Il est essentiellement composé d'un large cordon dunaire boisé de 3 à 4 km, divisé en deux sous-ensembles séparés par une dépression médiane humide (« panne humide ») et dont les lignes de crête sont espacées de 600 à 800 m. Le premier, en arrière de l'estran, est le plus haut avec un point culminant à 36 m IGN69. Le second n'excède pas 15 m IGN69 en altitude.

Le transit sédimentaire le long de ce littoral étant partagé vers le Nord et vers le Sud, deux flèches sableuses progressent aux extrémités du cordon dunaire :

- Celle de Saint-Quentin au Sud, qui a progressé de plus de 400 m vers le sud-ouest depuis 1955 (état 2014). La terminaison de la flèche s'allonge progressivement vers le SE en recouvrant les sables plus fins du bas estran de la rive nord de la baie de Somme ;
- Celle de Routhiauville au Nord, qui s'est élargi sur plus de 400 m depuis 1935 vers le nord-ouest (état 2014). Elle tend ainsi à protéger des houles les mollières de la rive sud de l'Authie.

L'estran sableux devant le cordon dunaire est haut et large, de 10 à 30 m, lorsque la côte est restée à l'état naturel.

Deux secteurs urbanisés de bord de mer, celui de Quend-Plage et celui de Fort-Mahon-Plage, ont été protégés par des ouvrages longitudinaux de type perré. La commune de Quend-Plage possède également un dispositif écoplage afin de limiter l'érosion de son haut de plage.

De nombreuses digues de renclôtures sont présentes au nord de la Baie de Somme. L'une d'entre elles, la dune artificielle « Jeanson » (mis en place en 1961) a permis l'ouverture du parc du Marquenterre.

En arrière littoral, la plaine du Marquenterre est une zone basse et humide, souvent située sous le niveau des plus hautes mers en altimétrie, occupée par de nombreux plans d'eau et parcourue par un réseau hydrographique dense assurant le drainage des terres. Les éléments les plus importants de ce réseau hydrographique sont la Maye au Sud, qui se jette dans la baie de Somme, et l'Authie au Nord se jetant dans la baie du même nom.

L'aléa « migration dunaire » a été un problème historique sensible. Il n'est plus considéré aujourd'hui comme pouvant engendrer un risque majeur même si la dynamique des sables, sous l'influence des vents de sud-ouest dominants, oblige les communes à procéder régulièrement au déblaiement de la voirie.

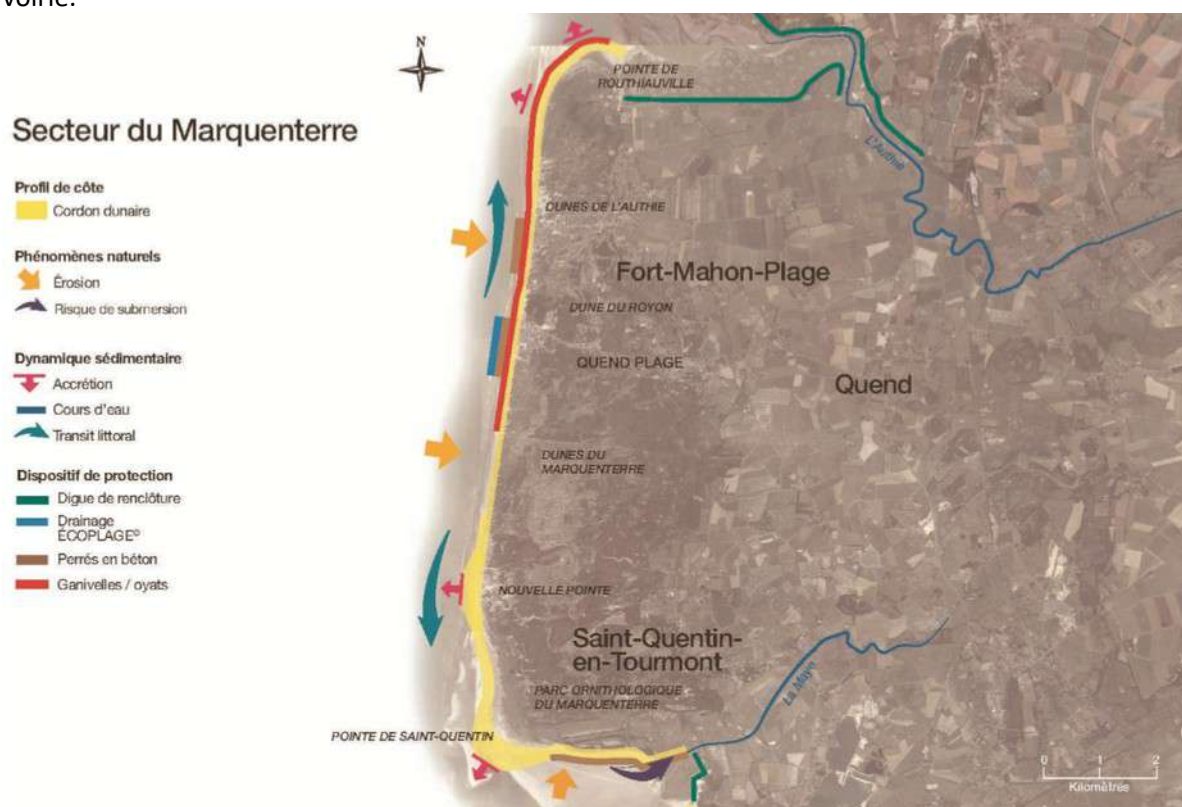


Figure 84 : Synthèse du fonctionnement du littoral dans le secteur du Marquenterre (source : diagnostic du PAPI BSA, juin 2015)

### 7.3. Cellule 12 : Pointe de Routhiauville (dune blanche) à la pointe du Touquet



Figure 85 : Localisation de la cellule 12

#### 7.3.1. Baie d'Authie

L'estuaire de l'Authie est un estuaire en comblement de type « picard » (Deloffre, 2005 ; d'après Briquet, 1930), comme la baie de Somme : la rive sud, en accrétion, forme un poulier et la rive nord, en érosion, forme le musoir. Étant par contre beaucoup plus petit que l'estuaire de la Somme, son inertie vis-à-vis des phénomènes sédimentaires est bien plus faible et son déplacement rapide vers le nord en est la conséquence. De plus, le delta se réduit également en emprise longitudinale, à mesure que le débouché du chenal, par lequel s'effectue la plus grande part de l'évacuation des sédiments perd sa tendance à la migration (Latteux, 2001).

L'estuaire de l'Authie présente une grande diversité d'environnements morfo-sédimentaires : la slikke, le schorre (ou mollière), un massif dunaire développé sur les rives et une plate-forme sableuse correspondant à un delta mixte de flot et de jusant qui comble l'estuaire. Dans le cas de l'Authie, cette plate-forme sableuse est alimentée d'une part par les apports marins de la dérive littorale, et d'autre part par l'érosion des dunes du nord de l'estuaire (Anthony, Dobroniak, 1998). La zone d'érosion au nord de l'estuaire présente des sous-cellules sédimentaires (Figure 86) : entre 1989 et 2009, la rive nord, entre la Grande Dune et le sud du Bois de Sapins, s'érode de 10 000 à 15 000 m<sup>3</sup>/an et la zone de l'anse des Sternes s'érode de 20 000 m<sup>3</sup>/an (Sogreah, 2009). Cela représente donc un volume sableux d'environ 30 000 à 50 000 m<sup>3</sup>/an qui transite devant la rive nord vers l'intérieur de la baie et participe à son colmatage (Sogreah, 2009). Ces sables en transit forment une seconde flèche sableuse interne appelée « contre poulier » constituée de petits champs de dunes vives embryonnaires transitoires (Dobroniak, 2000) : c'est le « Bec du Perroquet », qui s'engraisse de 15 000 à 20 000 m<sup>3</sup> de sédiments par an (Figure 86) voire plus de 24 000 m<sup>3</sup>/an (Dobroniak, 2000).

Néanmoins, ce « contre poulie » a été érodé et a maintenant disparu, la dénomination du lieu reste sur les cartes « Bec de Perroquet » et sera donc conservée ainsi pour décrire ce site.

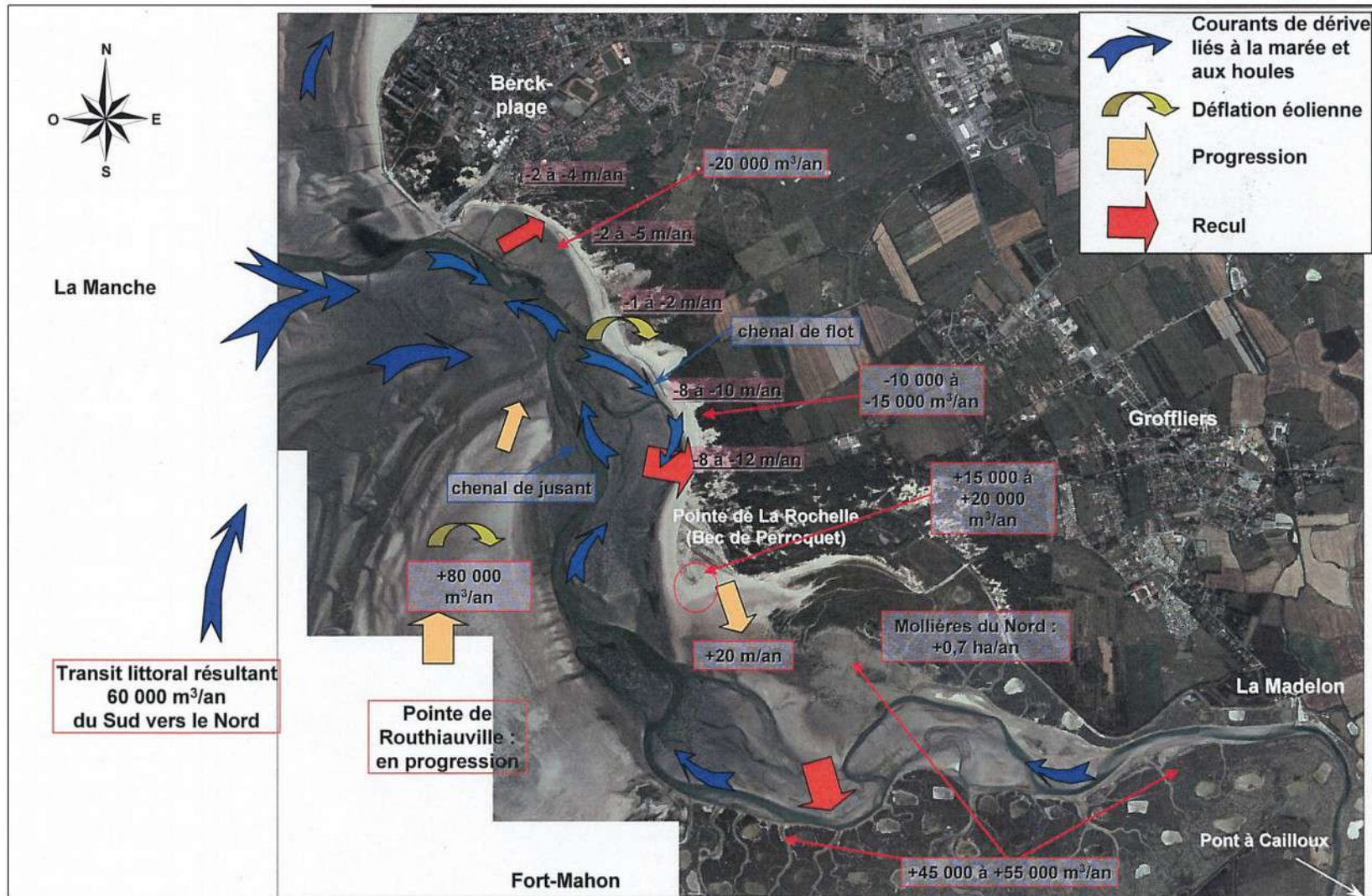


Figure 86 : Schéma du fonctionnement hydrosédimentaire de la baie d'Authie entre 1989 et 2009 (Sogreah, 2009)

### 7.3.2. Secteur entre Berck-sur-mer et le Touquet

Entre Berck-sur-Mer et le Touquet-Paris-Plage, les vents dominants d'ouest, perpendiculaires au trait de côte, alimentent les cordons dunaires en sable si une bande de sable sec suffisamment large est disponible. Les cordons dunaires en retour constituent un stock de sable qui va permettre de rééquilibrer les pertes subies au niveau de l'estran pendant les tempêtes en alimentant les barres qui vont alors jouer le rôle de brise-lames naturels (Egis Ports, ULCO, 2014). Seules les tempêtes survenant pendant des marées de pleine mer de vive-eau peuvent atteindre le pied de la dune et l'éroder (Battiau-Queney, 2014).

A proximité de Berck, en raison du prisme sédimentaire présent, la réfraction des houles est orientée nord-ouest / sud-est. Le transit sédimentaire est momentanément perturbé sur ce secteur (Figure 87). La relative stabilité sur ce secteur s'explique donc par ce phénomène.

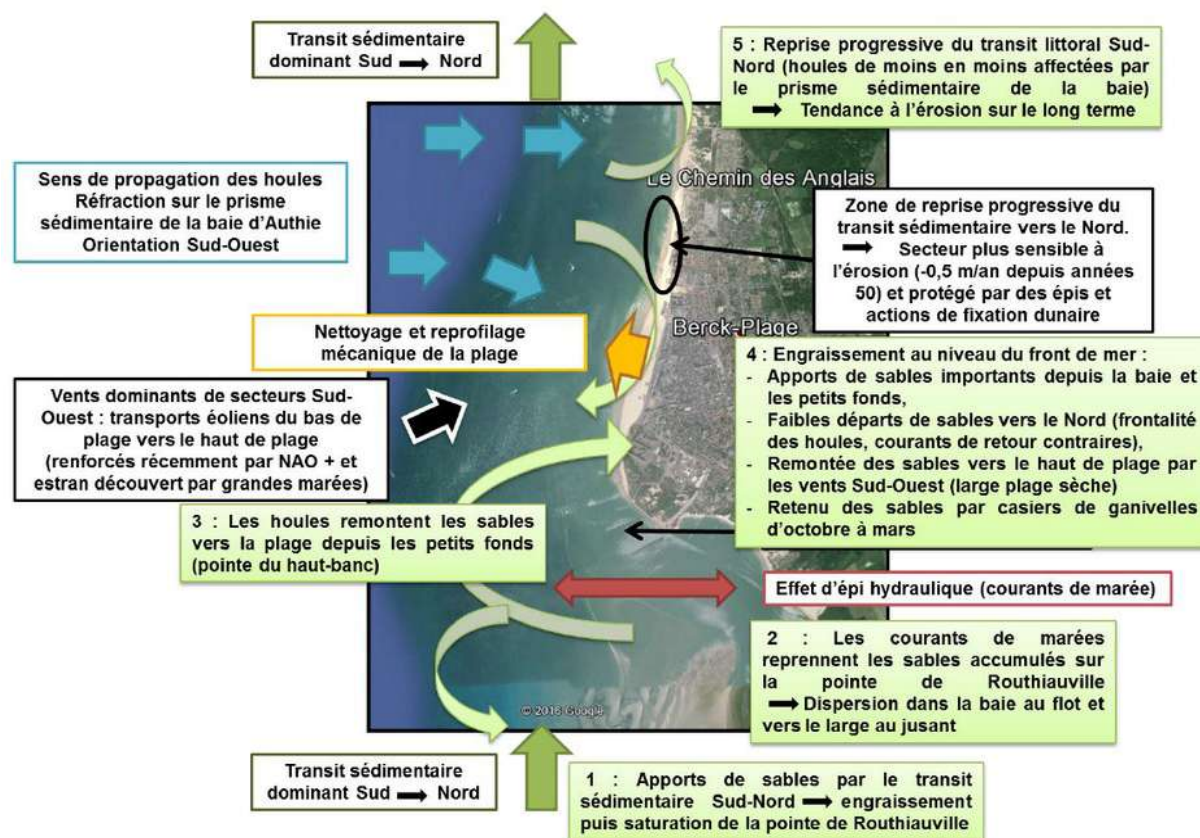


Figure 87 : Bilan hydrosédimentaire de Berck-sur-Mer (In. Etude sur la gestion du trait de côte, des cordons dunaires et de l'optimisation du stock sédimentaire sur le littoral de Berck à Camiers - Artelia, 2017)

La côte se présente sous la forme d'un vaste estran sableux marqué par un système barres-bâches dans les parties centrales et inférieures de l'espace intertidal (Egis Ports, ULCO, 2014 ; d'après Anthony et al., 2004). Par l'important marnage existant sur ce secteur, l'espace intertidal au droit de Merlimont atteint 800 m. Au cours d'un seul cycle de marée, les zones de déferlement (ou « surf zone », de jet de rive (ou « swash zone ») et de déflation éolienne se déplacent régulièrement sur cette frange côtière (Figure 88).



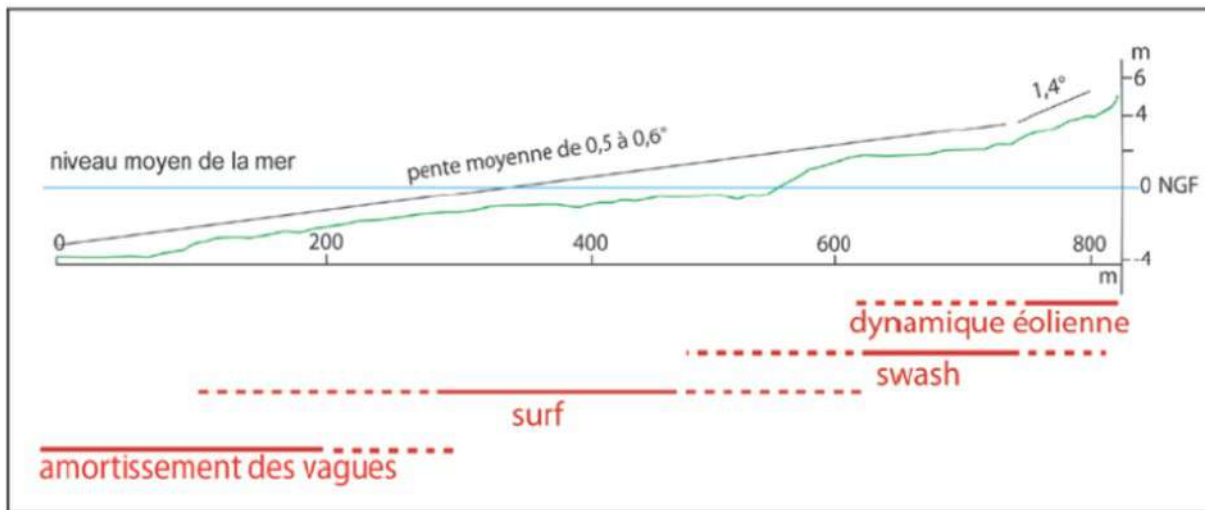


Figure 88 : Migration des zones de déferlement (« surf zone »), de jet de rive (« swash zone ») et de déflation éolienne pendant un cycle de marée, sur l'espace intertidal des plages de la côte d'Opale ; exemple de Merlimont (Battiau-Queney, 2014)

## 7.4. Cellule 13 : Pointe du Touquet à la jetée du port de Boulogne-sur-Mer

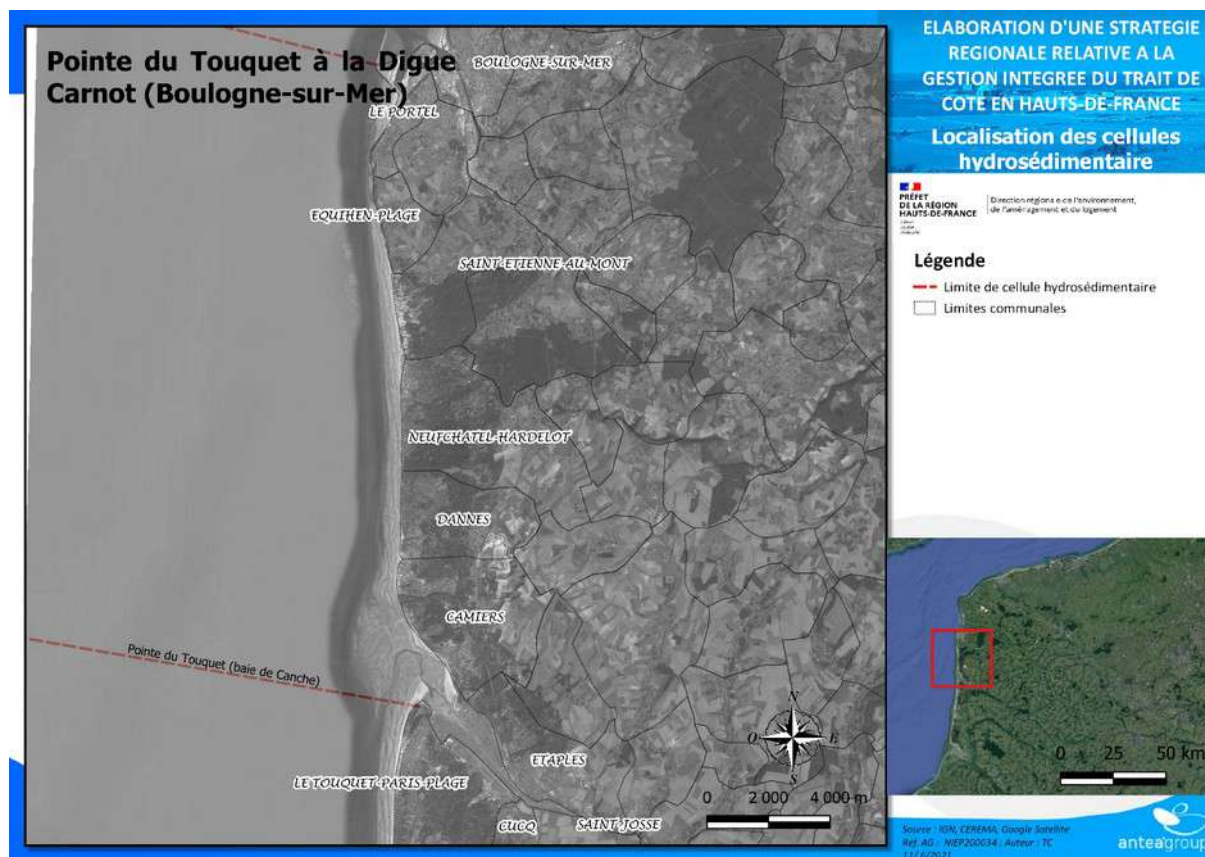


Figure 89 : Localisation de la cellule 13

### 7.4.1. Baie de Canche

Comme l'estuaire de la Somme et de l'Authie, la baie de Canche est un estuaire dit « picard » avec un engraissement de la rive sud et un amaigrissement de la rive nord. Cet estuaire s'est progressivement comblé et s'est décalé vers le nord, ce qui a réduit les influences marines et a limité la navigation. Depuis 1990, des travaux sur la digue submersible en rive droite ont permis une ouverture de l'estuaire permettant une plus grande entrée des eaux marines et une érosion sensible du rivage dunaire au droit du Feu de Camiers, modifiant le fonctionnement du système estuarien (Picouet, 1993).

La dérive littorale vers le nord transporte une grande quantité de sable qui s'accumule en amont du barrage hydraulique formé par la Canche, en donnant un poulcier : le banc du Pilori, flèche à pointe libre enracinée à la rive sud, dans les dunes du Touquet, qui tend à fermer l'estuaire (Figure 90).

Dans le domaine intertidal, le courant de jusant emporte au large des sédiments sablo-argileux qui, en se déposant en éventail, forment un delta de jusant. Le courant de flot transporte des quantités importantes de sables (non quantifiées) dont une grande partie se dépose en arrière du banc du Pilori en formant une flèche interne appelée « contre poulcier », parfois présente au sud du Feu de Camiers. La partie aval de l'estuaire présente des sables en rive droite et de la vase en rive gauche où se développent des mollières (schorres) (d'après Battiau-Queney, Théroutanne, 2010). Cette situation est cependant variable, car des schorres se sont développés localement en rive droite entre 2000 et 2013 (Gosset, 2015).

Le vent permet un déplacement des sédiments à marée basse qui engendre l'engraissement des dunes de la rive sud de la baie de Canche à partir de sables prélevés sur l'estran (Le Coadou, 2011). Un phénomène particulier existe : les houles du flot sont diffractées à l'arrière du banc du Pilori et arrivent donc perpendiculairement au rivage nord de la pointe du Touquet, puis génèrent des courants et des vagues qui érodent le littoral et engraisent l'estuaire par la suite (Le Coadou, 2011 ; d'après Thérouanne, 2001 ; Thérouanne et al., 2002). La dynamique sédimentaire au nord de l'estuaire de la Canche résulte de la position du banc du Pilori qui canalise les courants marins et le chenal de la Canche vers le nord

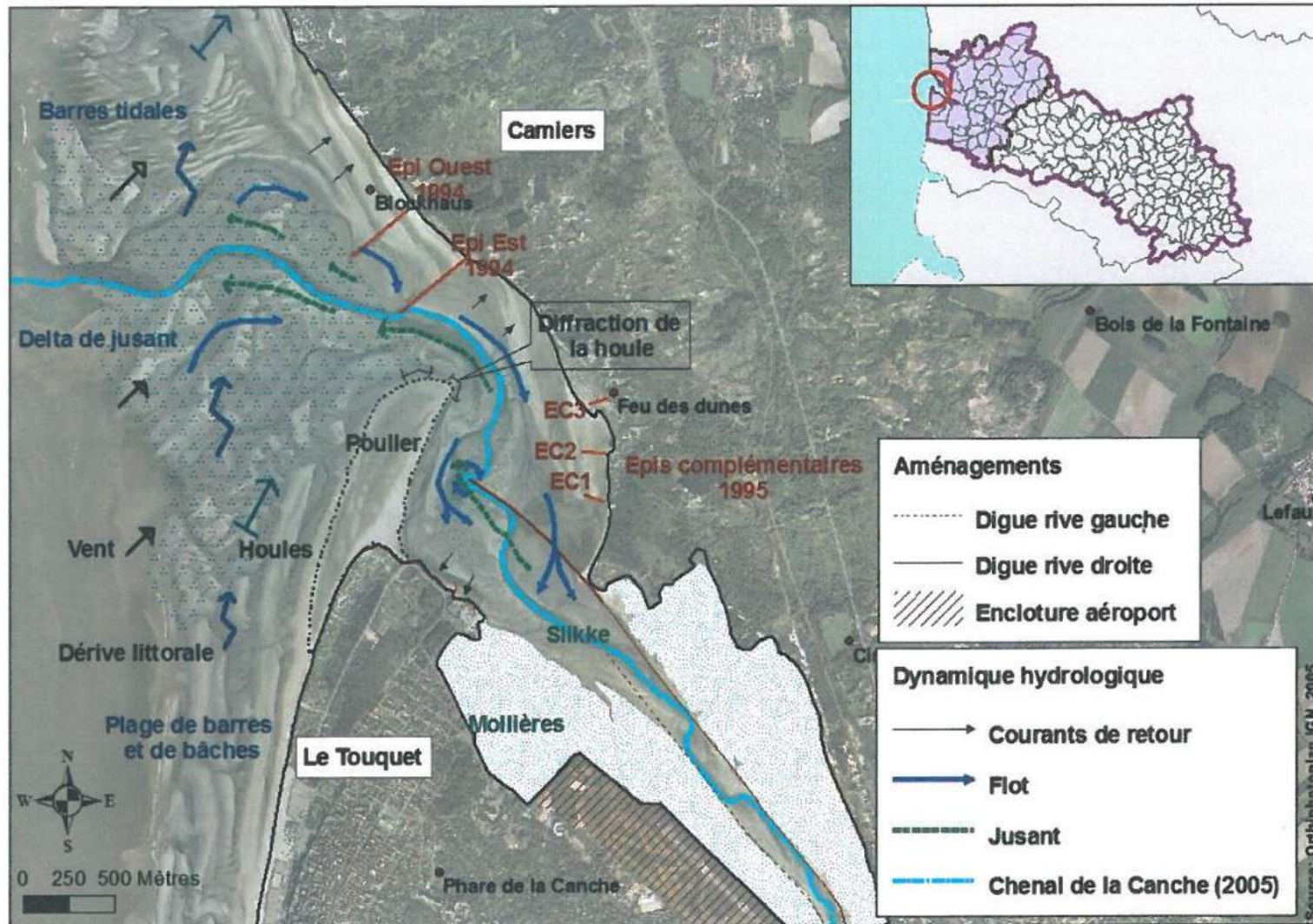


Figure 90 : Morphologie et fonctionnement de l'estuaire de la Canche (Le Coadou, 2011)

#### 7.4.2. Secteur entre Camiers et Equihen-Plage

La dérive littorale est orientée du sud vers le nord sur le secteur de Camiers à Équihen-Plage. Peu d'informations sont existantes pour définir la dynamique sédimentaire sur la zone d'Équihen-Plage à Boulogne-sur-Mer. Il peut être envisagé une certaine continuité par rapport aux secteurs plus au sud, avec une dérive littorale dirigée vers le nord et un transport sédimentaire résiduel vers le nord (Egis Ports, ULCO, 2014).

Cette hypothèse est appuyée par les travaux d'expertise et les résultats de modélisation hydro-sédimentaire qui montrent que les sédiments issus de l'érosion de la rive nord de la Canche sont transportés jusqu'au nord immédiat de Boulogne-sur-Mer : une partie de ces sédiments, stoppée par la digue Carnot, digue sud du port de Boulogne-sur-Mer, s'accumule sur la plage d'Hoverport (SMCO, 2003).

Au nord d'Hardelot-Plage, la configuration de l'estran permet aux vents dominants d'alimenter les cordons dunaires en sable si une bande de sable sec suffisamment large est disponible. Le cordon dunaire constitue alors un stock de sable qui va permettre de rééquilibrer les pertes subies au niveau de l'estran pendant les tempêtes d'hiver. Durant ces tempêtes, le sable du haut de plage et du cordon dunaire est emporté dans la partie inférieure de l'estran et va alimenter les barres intertidales, qui vont en retour jouer le rôle de brise-lames naturels. Comme pour les mouvements longitudinaux, peu d'informations existent pour définir la dynamique sédimentaire sur la zone d'Équihen-Plage à Boulogne-sur-Mer. Il peut aussi être envisagé une certaine continuité par rapport aux secteurs plus au sud avec une action des agents marins sur le pied de falaise et le transport de matériaux érodés.

Sur la commune de Saint-Étienne-au-Mont, la présence d'une dune bordière (la dune d'Écaut) présente une grande capacité de résilience. La dune stocke le sable que le vent prélève sur la plage à marée basse et en rend une partie à la mer lorsque les vagues de tempête sapent son pied.

## 7.5. Cellule 14 : Digue Carnot (Boulogne-sur-Mer) au cap Gris-Nez

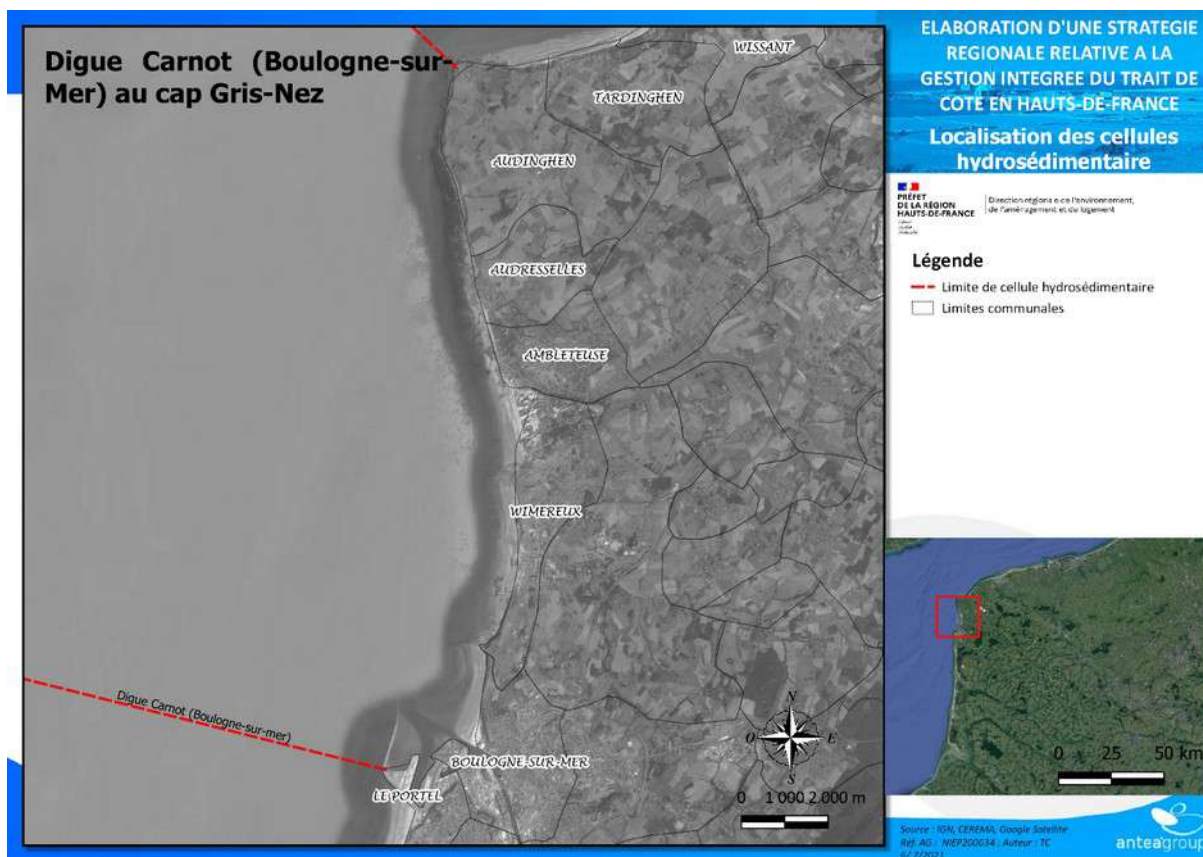


Figure 91 : Localisation de la cellule 14

Une partie des sédiments issus de l'érosion de la rive nord de la baie de Canche est « réfléchi » par la digue Carnot et alimente un banc sableux situé au nord du port de Boulogne-sur-Mer (SMCO, 2003).

Du nord de Boulogne-sur-Mer jusqu'à Gravelines, le transit sédimentaire est très important (mais difficilement quantifiable), du fait des fortes valeurs de courants dans le détroit du Pas de Calais (Figure 92) (SMCO, 2003).

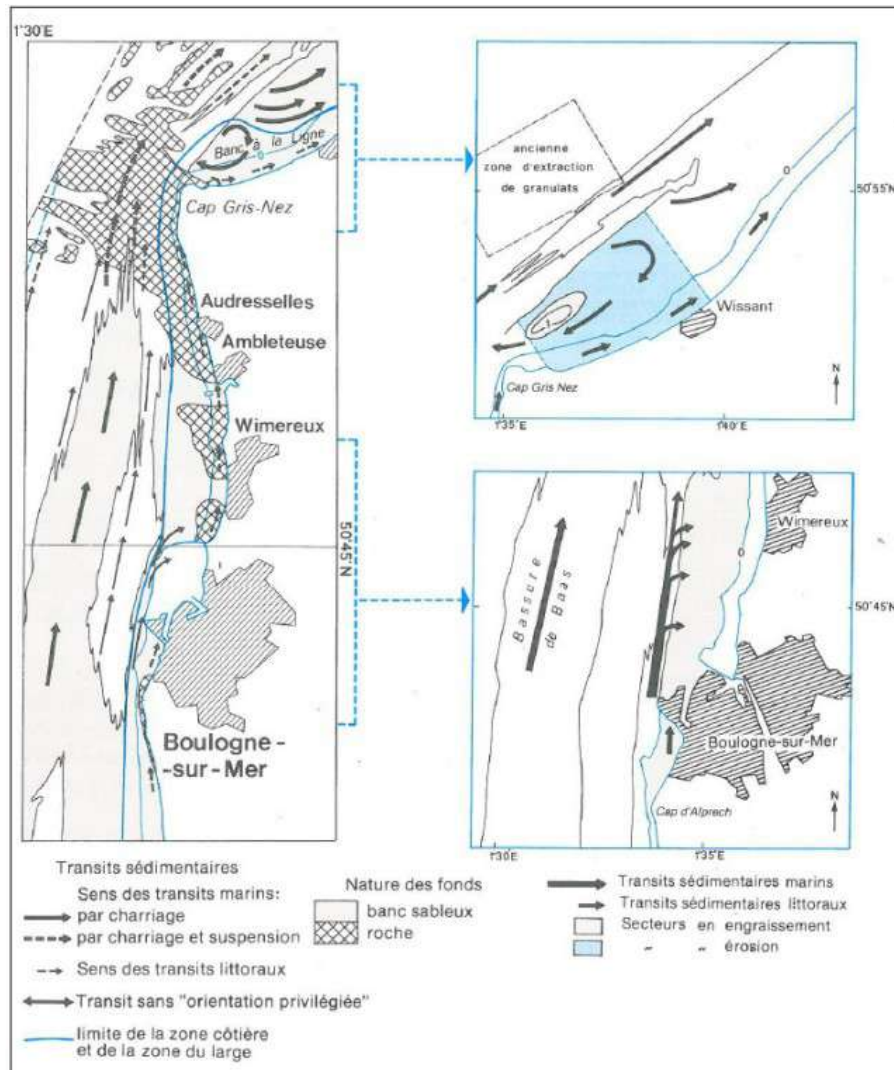


Figure 92 : Processus sédimentaires affectant le domaine côtier de Boulogne-sur-Mer à Wissant (Augris et al., 1990)

## 7.6. Cellule 15 : Cap Gris-Nez au port de Calais

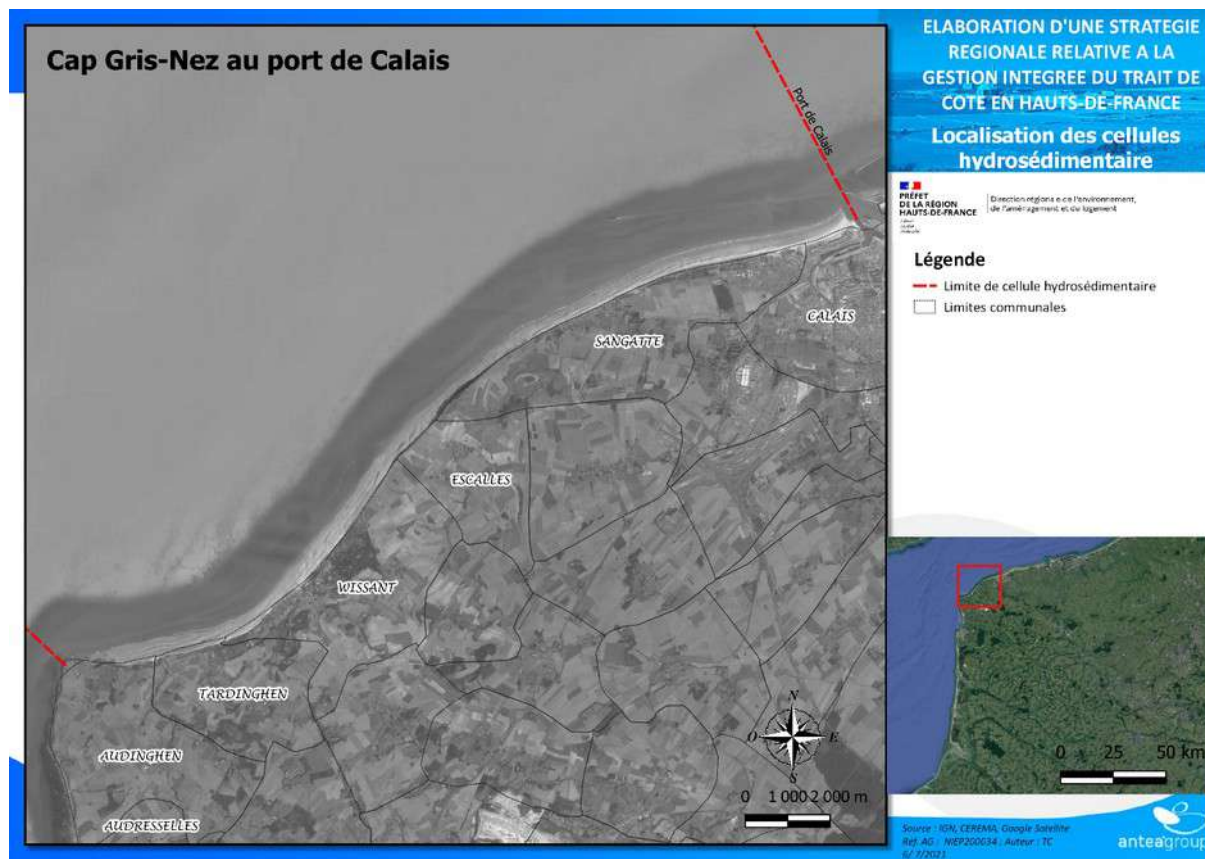


Figure 93 : Localisation de la cellule 15

Le changement d'orientation de la côte au niveau du cap Gris-Nez provoque une modification importante des courants dans la baie de Wissant située immédiatement en aval du cap par rapport au courant de flot dominant. Les courants de marée, orientés sud-ouest/nord-est au large sont déviés vers la côte à l'approche de celle-ci (Augris et al., 1990). Le transit sédimentaire, alors orienté vers le nord-est, est très important (non-quantifié) du fait des fortes valeurs de courants dans le détroit du Pas de Calais. Des bancs sableux s'étendent du cap Gris-Nez au cap Blanc-Nez sous le nom de « banc à la Ligne », en face des plages de Wissant (Figure 95). C'est un banc de sillage qui se développe en arrière du cap Gris-Nez et qui agit directement sur les conditions de propagation des houles à la côte. Il aurait avancé de 600 m vers l'est de 1640 à 1835, ce qui montre bien la dominante ouest-est du transport des sédiments par les courants (LNH, 1986). Son rapprochement des côtes serait également responsable d'une contre-dérive de direction ouest-sud-ouest (Egis, 2014).

Les apports de la dérive littorale sont les seuls à alimenter les parties ouest et centrale de la baie de Wissant. La baie de Wissant présente une morphologie de plage sableuse macrotidale caractérisée par un large estran et par un ensemble de barres intertidales, appelé système barre-bâche. La côte de la baie de Wissant alterne entre phases d'accrétion et d'érosion en fonction de la position des bancs sableux qui fournissent du sable à la plage et qui peuvent protéger le littoral de l'attaque des vagues (Héquette et al., 2013).

Ces apports sont insuffisants pour compenser les pertes estimées à plus de 10 Mm<sup>3</sup> sur la période 1911-2002, soit une perte de 116 000 m<sup>3</sup> par an pour l'ensemble de la baie (Aernouts, Héquette, 2006). Les derniers travaux (Latapy, 2020) montrent que sur une période récente 1975-2016, la baie de Wissant a perdu 22,3Mm<sup>3</sup> de sédiments et plus précisément 7,5 Mm<sup>3</sup> sur le seul Banc à la Ligne. Ce déficit serait lié aux extractions de sable réalisées sur le banc à la Ligne au cours des années 1960-



70 (Ferrière et al., 1993) : le démaigrissement du banc, qui était une bonne source de sédiments, n'a pas permis une bonne alimentation des plages (Aernouts, Héquette, 2006) et a modifié l'exposition de l'estran à la houle, qui était moins dissipée sur les côtes (Aernouts, Héquette, 2006 ; Héquette et al., 2013 ; Egis, 2014).

En cas de houle de nord, il est observé une interruption relative du transit au droit de Calais sur une portion de quelques centaines de mètres près du littoral. Cette discontinuité reste locale, car il existe un transit au large entre cette cellule hydrosédimentaire et celle située directement à l'est, du port de Calais à la jetée des Huttes (SMCO, 2003).

L'augmentation de la fréquence des tempêtes et des surcotes, constatée dans les années 1970-80, est également une explication à ce déficit sédimentaire (Cartier, 2014 ; d'après Clabaut et al., 2000 et Vasseur, Héquette, 2000). Les plages de la baie de Wissant sont en déficit sédimentaire important, visible par l'apparition de bancs de tourbe sur l'estran, l'abaissement de la plage de la Sirène (à l'est de la baie de Wissant) ou encore la disparition de la plage devant le perré de Wissant (Cartier, 2014). Par ailleurs, le centre de la baie (dunes du Châtelet et Aval) connaît une érosion importante depuis 1949, avec ponctuellement des zones en recul de 290m sur la période 1949-2015 (Zemmour, 2019). Cette érosion se poursuit malgré les moyens mis en place pour la ralentir (Figure 94).



Figure 94 : Moyens utilisé afin de limiter l'érosion de la dune d'Aval (Wissant, 62) ; ganivelles, fascines, pieux bois (brise-lames) (source : Drone Littoral, 2017).

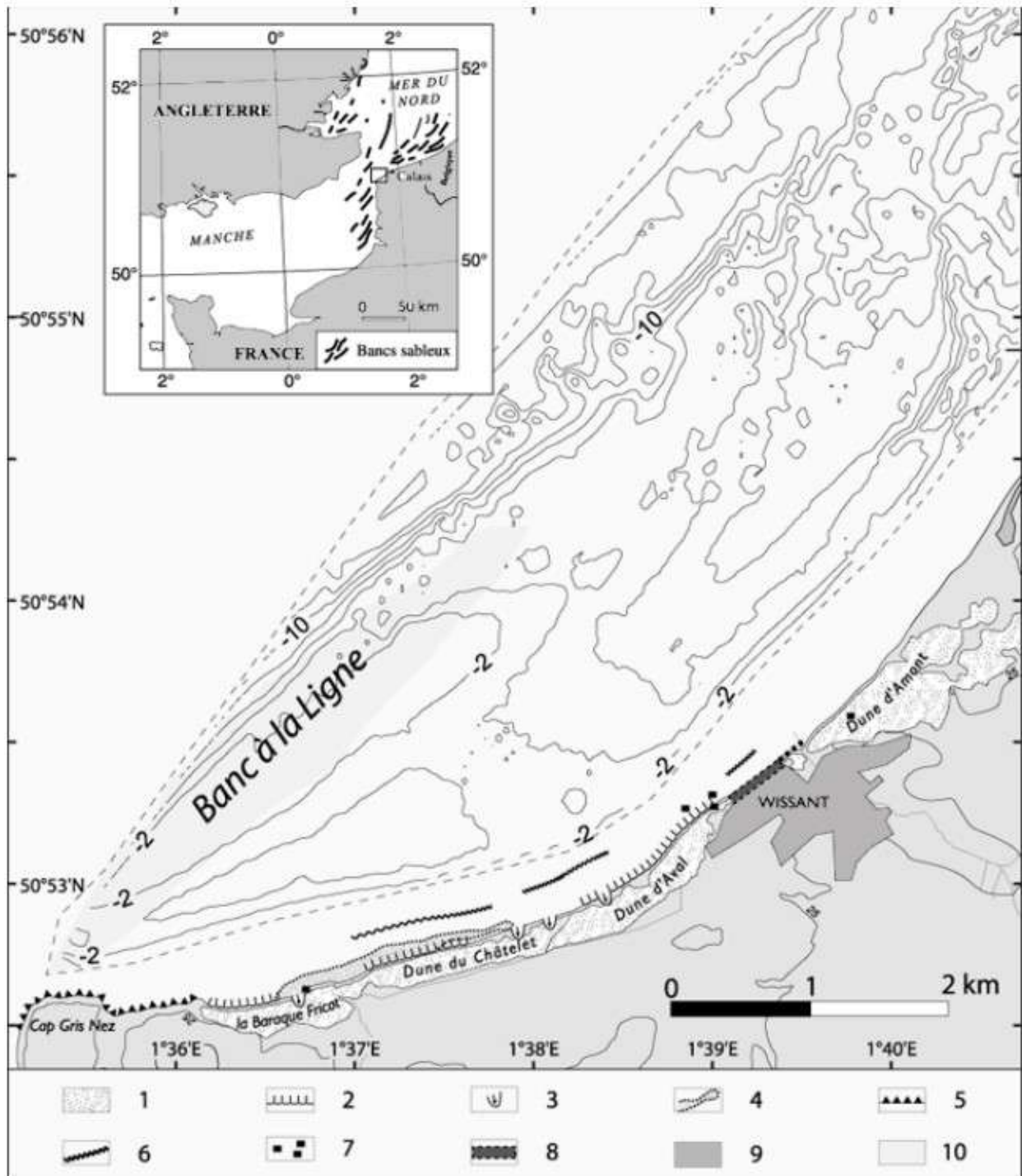


Figure 95 : Localisation de la baie de Wissant (les isobathes correspondent à la bathymétrie de 2002 ; 1 : dunes littorales ; 2 : falaises dunaires ; 3 : brèche ou siffle-vent ; 4 : cordon de galets ; 5 : falaises rocheuses ; 6 : affleurement de tourbe ; 7 : blockhaus ; 8 : digue ; 9 : zone urbanisée ; 10 : localisation approximative du banc à la Ligne (Aernouts, Héquette, 2006 ; d'après Cohen et al., 1999a et Sipka, 1998 ; fond de carte de la partie terrestre modifié d'après Messence, Cohen, 2002)

## 7.7. Jetées du port de Calais à la jetée des Huttes du port industriel de Dunkerque



Figure 96 : Localisation de la cellule 16

Le transit sédimentaire global résultant sur la cellule est orienté vers l'est. Il est interrompu en grande partie par les ouvrages de l'avant-port Ouest de Dunkerque, au niveau de la jetée des Huttes de Gravelines (d'après SMC0, 2003).

Le site des Hemmes de Marck, au centre de la cellule hydro-sédimentaire, présente une importante dynamique d'accrétion (+ 10 000 m<sup>3</sup>/an) de par son type de plage à estran très large (1 500 m), à profil convexe et pente très douce, ce qui permet d'amortir la majeure partie des énergies reçues sur la plage.

La disponibilité du stock sédimentaire provenant de l'avant-côte (bancs tidaux) favorise d'autant plus cette dynamique positive. Sur ce secteur, les courants de marée dominant en énergie par rapport aux vagues, car le marnage est important et les houles ont tendance à être dissipées par les nombreux bancs tidaux situés au large. En raison de la progradation des bancs (riden de la Rade vers l'est, et riden de Calais vers le nord-est) (Héquette et Aernouts, 2010), les petits fonds connaissent une modification. Le déplacement de ces derniers vers l'est et vers la côte (riden de la Rade) permet une meilleure dissipation des houles et donc une accrétion (Latapy, 2020). La dynamique morphosédimentaire est principalement régie par l'association de très hauts niveaux d'eau de vive-eau immergeant la plate-forme à des perturbations météorologiques (Aubry, 2010). Cette dominance des processus hydrodynamiques durant la période de vive-eau sur l'ensemble du profil plage-plate-forme est facilement observée : ils diminuent progressivement durant le jusant (dit aussi « phase de déchet ») jusqu'à n'être actifs que sur la plage, puis devenir minoritaires, par rapport aux processus éoliens. Ces derniers deviennent progressivement dominants durant la phase de flot (dit aussi « revif », déflations importantes), d'abord sur les barres intertidales de la plage, sur la barre d'interface de

swash puis majoritaires durant la morte-eau (Aubry, 2010). L'ensemble de ce contexte hydrodynamique est responsable d'une organisation à long terme des stocks sédimentaires près des côtes qui ont donné naissance aux fortes accumulations sableuses composées des dunes côtières et de bancs subtidaux au large ou à proximité des côtes. Le site des Hemmes de Marck reste le seul secteur en accréation significative du littoral de la côte d'Opale et présente une morphologie atypique : l'accolement d'un banc tidal à la côte et une très large plate-forme sableuse reliée à un profil à barres et à bâches convexes.

De plus, la présence d'une dépression topographique au centre de la plate-forme favorise les dépôts fins (zone temporaire de sédimentation fine) et accentue le comblement et l'accréation générale du secteur. Ces derniers sont localisés préférentiellement en bas de plage. Ils vont par la suite progressivement migrer à court terme le long du profil vers le haut de la plate-forme (450 m de migration onshore mesurée en 6 mois, Aubry, 2010). Ces particules fines sont plus particulièrement entraînées par les courants engendrés par les houles de secteur nord ou durant les phases de beau temps parallèlement à la migration vers le haut de plage des barres (Aubry, 2010).

## 7.8. Jetée des Huttes du port industriel de Dunkerque à la jetée de Malo (Dunkerque Est)

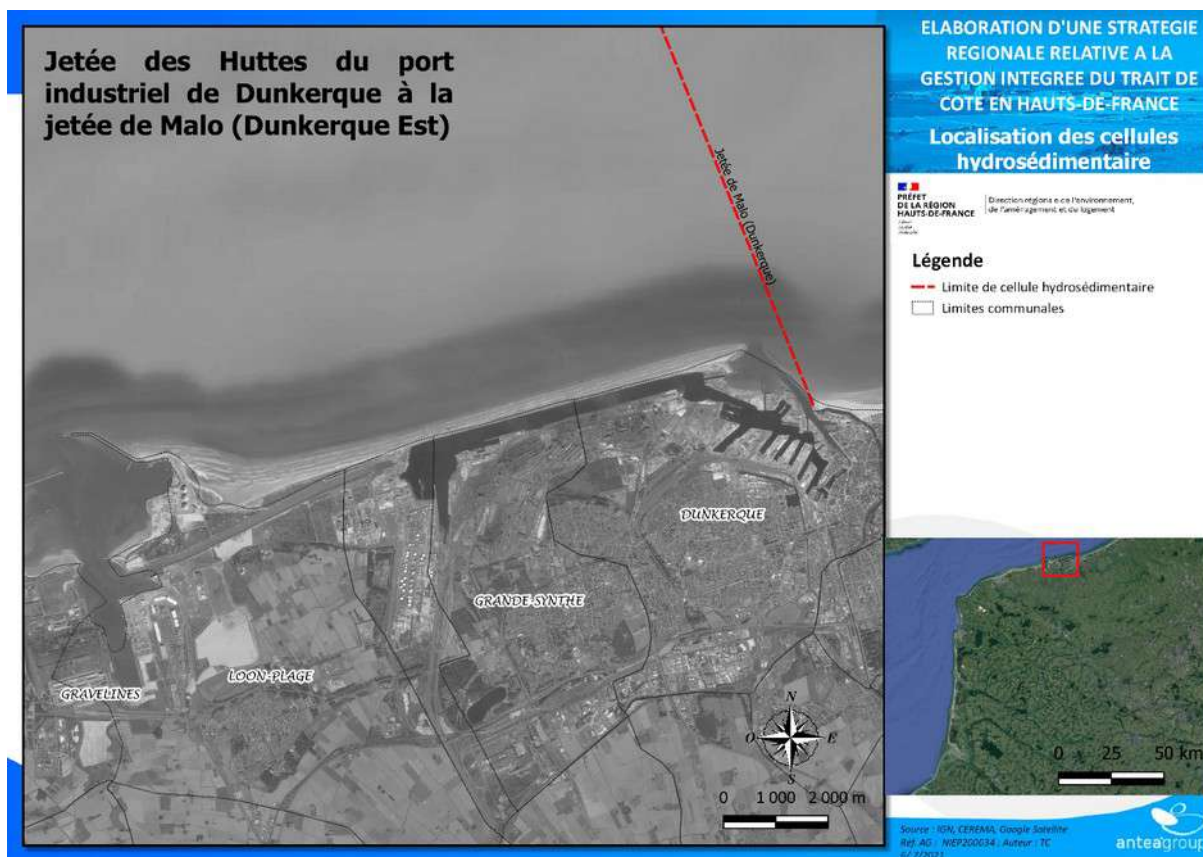


Figure 97 : Localisation de la cellule 17

Cette cellule hydrosédimentaire correspond à plage du Clipon située entre le port Ouest et le port Est de Dunkerque. Elle résulte d'une avancée artificielle de la ligne de rivage vers la mer lors de l'extension du Grand port maritime de Dunkerque (GPMD) au cours des années 1970 et 80.

La circulation sédimentaire au sein de cette cellule, qui s'étend sur près de 15 kilomètres, est dominée par sa composante longitudinale, avec un courant de flot plus important que celui de jusant. Comme le reste du littoral de la côte d'Opale, cette cellule est caractérisée par un contexte hydrodynamique particulier, avec des marées fortes de type macrotidal, des courants de marée importants dominés par le flot et une houle courte à fetch limité, atténuée par la présence de nombreux bancs tidaux proches de la côte (Bertier, 2009).

Il existe deux courants littoraux en sens opposé avec une dérive littorale résultante dominante de l'ouest vers l'est : selon les conditions des vagues, le sable est mobilisé et redistribué pour alimenter le secteur est ou ouest (Figure 98) (Egis Ports, ULCO, 2014).

Le littoral dunkerquois est fortement anthropisé depuis l'implantation du Port autonome de Dunkerque (aujourd'hui GPMD). Chaque infrastructure et aménagement agit de façon plus ou moins importante sur la circulation hydrodynamique et le transit sédimentaire, comme les jetées des Huttes à l'ouest et de Malo à l'est, qui bloquent une partie du transit sédimentaire longitudinal dirigé vers la Belgique (Cartier et al. 2020). Ce site présente donc une dynamique complexe, avec de nombreuses barrières pour le transit sédimentaire. La plupart des sédiments ne fait que transiter longitudinalement sur la plage en majeure partie vers l'est : par exemple, la digue du Break, située

devant le port Est de Dunkerque, fixe le trait de côte, mais ne capte pas les sédiments qui passent devant l'infrastructure. Les sédiments ne peuvent se déposer et alimenter le trait de côte uniquement dans la partie ouest de la cellule et contre la jetée ouest du port Est (Bertier, 2009 ; Spodar, 2018).

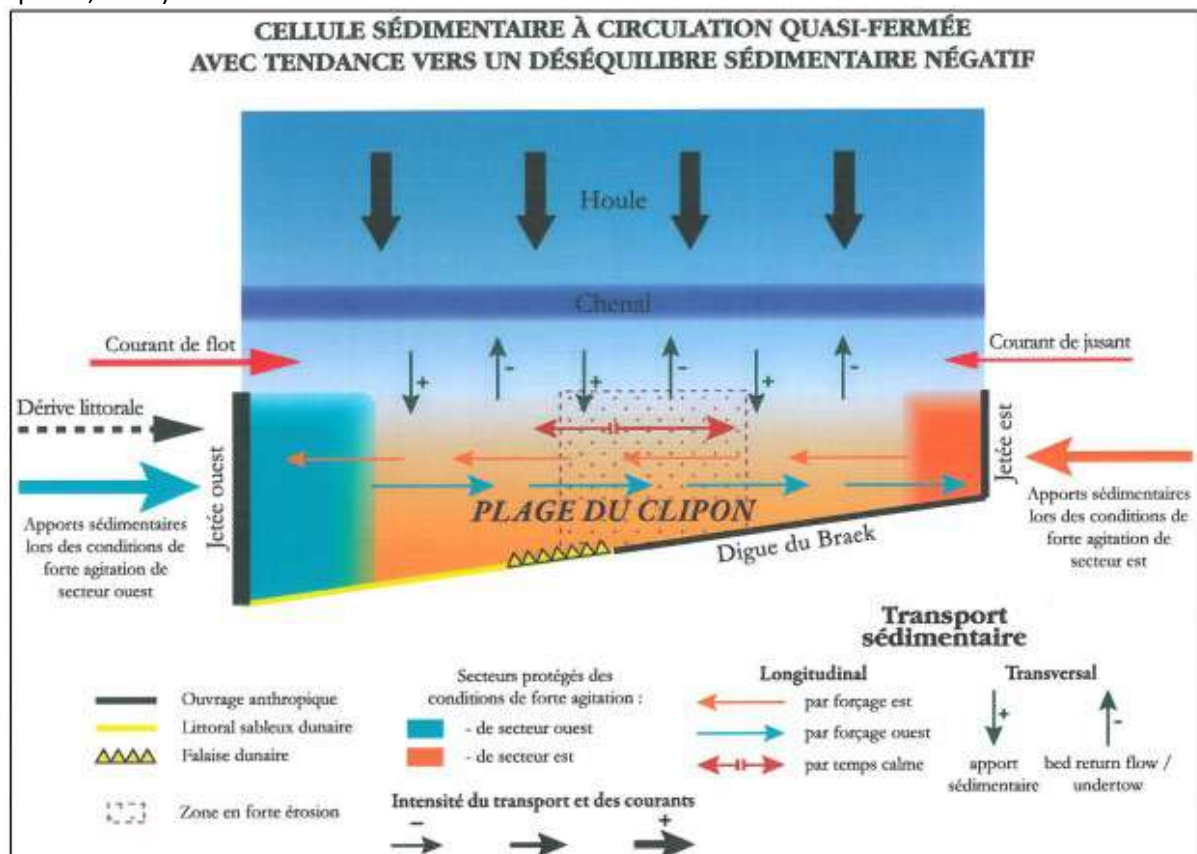


Figure 98 : Schéma de synthèse de la circulation hydrodynamique et sédimentaire au sein de la cellule de la plage du Clipon, allant de la jetée des Huttes (jetée ouest) à la jetée de Malo (jetée est) (Bertier, 2009)

À l'est de la cellule, le transport net est de l'ordre de 18 000 m<sup>3</sup>/an avec un transit littoral résultant vers l'est. Ce transport ne passe pas l'entrée de l'avant-port Est de Dunkerque suite à l'élévation du chenal de l'ordre de -14 mCM : les sédiments y sont piégés et il est vraisemblable que quelques dizaines de milliers de mètres cubes par an de sédiments y soient également apportés par les courants de marée (DHI, 2011).

A l'ouest de la cellule, à proximité de la digue de Ruytingen, le transport est important avec plus de 60 000 m<sup>3</sup>/ans. Le transit sédimentaire entre la digue de Ruytingen et la digue Saint Pol vont en augmentant, le long de l'estran avec uniquement 5 000 m<sup>3</sup>/an sur l'ouest près de 25 000 m<sup>3</sup>/an à l'est de la digue du Break. Par ailleurs les transports sur le bas estran sont de l'ordre de 45 000 m<sup>3</sup>/an. Ainsi, une accréation de l'ordre de 70 000 m<sup>3</sup>/an se dépose annuellement contre la digue de Saint Pol (45 000 m<sup>3</sup>/an de bas estran ainsi que 25 000 m<sup>3</sup>/an le long de la digue du Break) (Figure 99). En plus de ces déplacements sur l'estran, d'autres mouvements sont également notés à travers le chenal intermédiaire en provenance des bancs un peu plus au large (Banc de Mardyck vers le chenal intermédiaire) (Cartier et al. 2020).

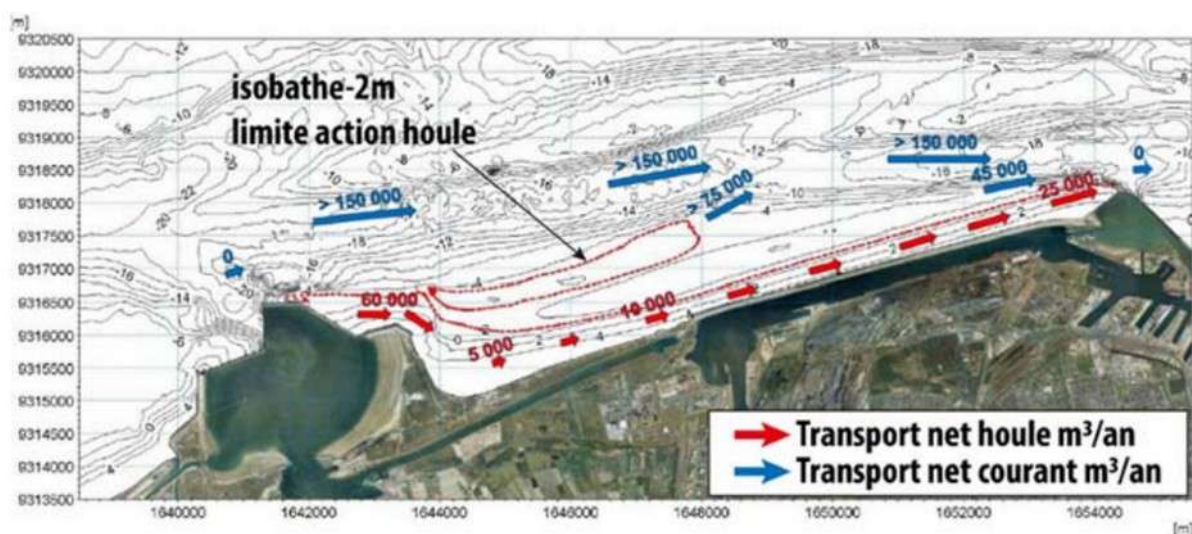


Figure 99 : Synthèse du transport sédimentaire en m<sup>3</sup>/an (DHI, 2015)

Cette cellule hydrosédimentaire peut être considérée comme quasi-fermée, avec quelques échanges avec le secteur plus à l'est, présentant une tendance à un déséquilibre sédimentaire négatif (Bertier, 2009). Néanmoins, de nombreux rechargements d'avant-plage et de plage sont réalisés le long de cette côte maritime par le Grand Port Maritime de Dunkerque. Parmi ces derniers, le rechargement de la digue de Ruytingen est effectué afin de la protéger. Malgré un rechargement de 3 Mm<sup>3</sup> réalisé en 2012, le gain estimé n'est plus que de 1,2 Mm<sup>3</sup> en 2013 (malgré l'absence de relevé sur la partie intertidale) (Spodar, 2018). En considérant les autorisations que possède le Grand Port Maritime de Dunkerque, il semble que ce dernier possède un stock sédimentaire suffisant afin de reconstituer le stock sédimentaire des plages. En 2019, une canalisation est installée afin les rechargements de plage. Un rechargement de 1Mm<sup>3</sup> a été effectué devant la digue du Braek afin de rehausser le niveau de sable. Près de 50% du sable refoulé a été dispersé (Figure 100) (Cartier et al. 2020).

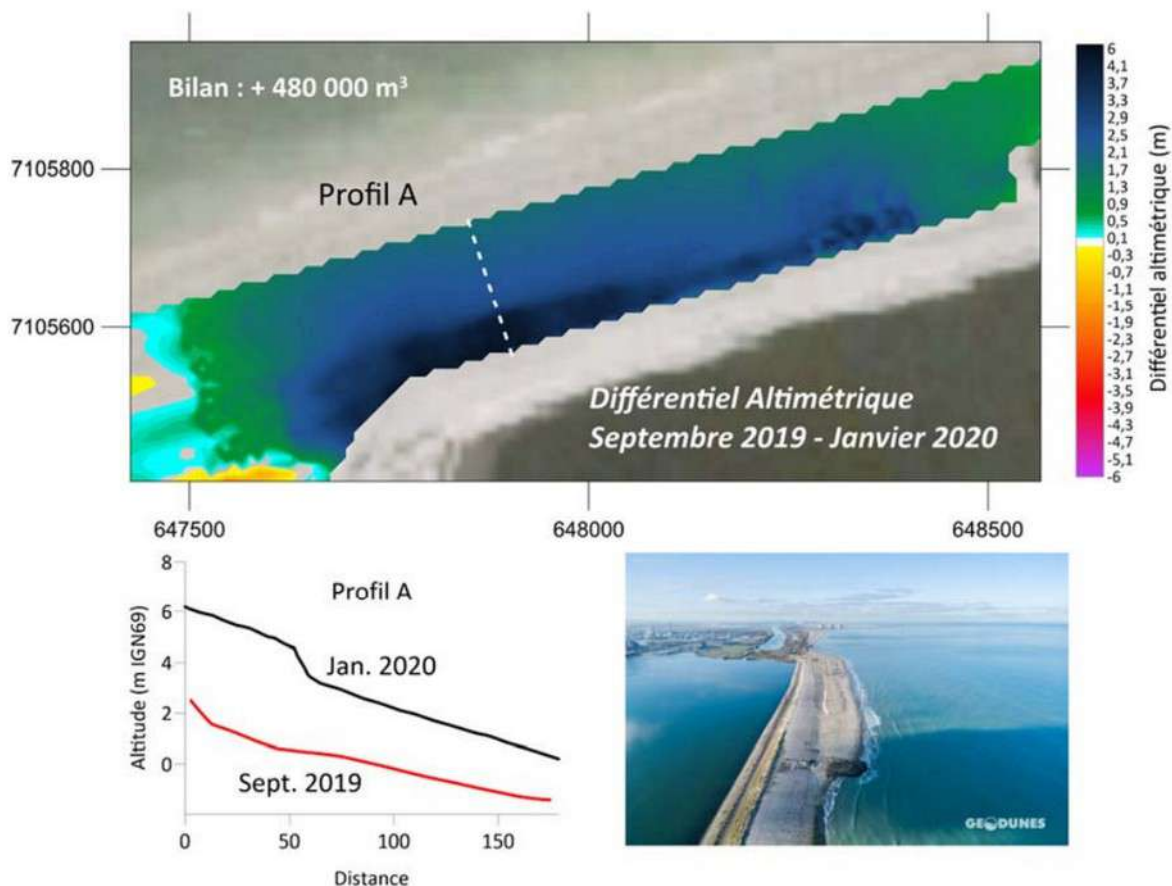


Figure 100 : Rechargement de la plage de digue du Braek fin octobre 2019 (Cartier et al., 2020)

Néanmoins, sur la période 1983-2011, le bilan sédimentaire de la cellule montre que les dunes végétalisées avancent, bien que la mer ait gagné du terrain aux extrémités est et ouest de la cellule (Tresca, 2013). En fonction des conditions, le transit sédimentaire est différent : lors des conditions calmes, la morphologie évolue faiblement avec un léger développement et une migration vers le haut de plage des barres ; lors des conditions agitées, au contraire, l'estran devient lisse sur une grande partie de la plage. Un abaissement de l'estran dans la partie centrale et la partie est de la plage est parfois perceptible suite à ces conditions qui peuvent, lorsqu'elles sont conjuguées à une marée de vive-eau, résulter en un recul de la falaise dunaire (Bertier, 2009).

À l'extrémité ouest de la cellule, le secteur entre la digue du Ruythingen et le canal des Dunes est à l'abri de l'agitation du fait de sa localisation en aval de la dérive de l'avant-port Ouest (Hemdane, 2006 ; Bertier, 2009), et propice à la sédimentation sablo-vaseuse (Héquette et al., 2012).

Lors de la construction de la digue du Ruythingen (entre 1971 et 1977), un cordon dunaire artificiel a été mis en place de part et d'autre sur une largeur de 100 m : il est aujourd'hui érodé au nord de la digue du Ruythingen (Tresca, 2013). Des dunes se sont également édifiées à partir de deux flèches littorales qui se sont formées puis accolées à la côte entre 1983 et 2000 (Tresca, 2013).



## 7.9. Jetée de Malo (Dunkerque Est) à la frontière belge

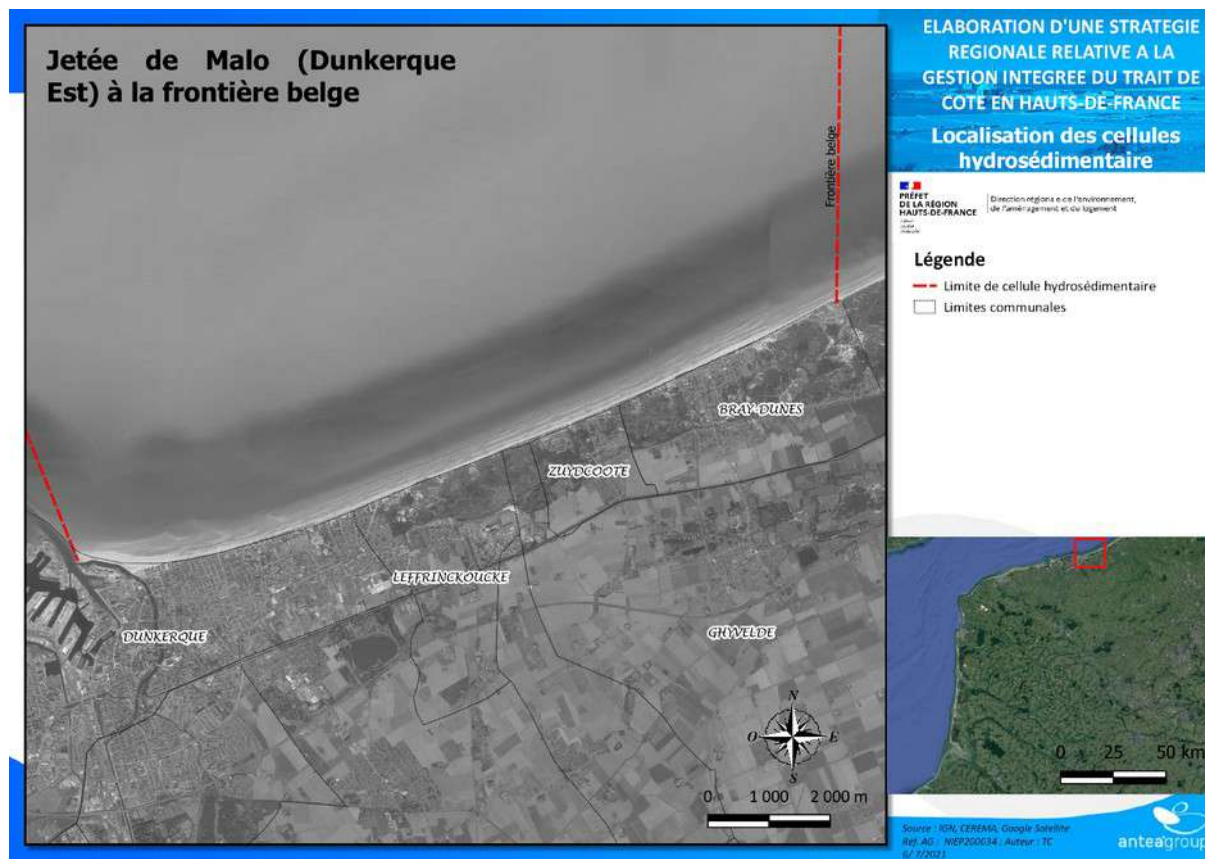


Figure 101 : Localisation de la cellule 18

Cette cellule hydrosédimentaire débute immédiatement à l'aval de l'avant-port Est de Dunkerque et se poursuit au-delà de la frontière belge (SMCO, 2003).

Le transit sédimentaire longitudinal s'effectue de l'ouest vers l'est sous l'influence des courants de houle et de marée de flot (Egis Ports, ULCO, 2014 ; SMCO, 2003). Lors de l'étude pour le confortement de la digue des Alliés par rechargement de plage, le transport net au droit de la digue des Alliés (plage de Malo-les-Bains) a été évalué (Figure 102). Le secteur de la digue des Alliés est alimenté par un transport induit par la marée de l'ordre de 5 000 m<sup>3</sup>/an tandis que le transit littoral augmente de pratiquement 0 à 15 000 m<sup>3</sup>/an avec une résultante portant vers l'est. L'analyse des topo-bathymétries associées aux modélisations a mis en évidence une érosion chronique de la plage et de l'avant-plage au droit de la digue des Alliés : en raison des différences d'apports dus à la houle et à la marée, le déficit sédimentaire moyen est estimé à 10 000 m<sup>3</sup>/an (moyenne sur une période de 26 ans, 1985-2011) (DHI, 2011 ; Cartier et al., 2014).

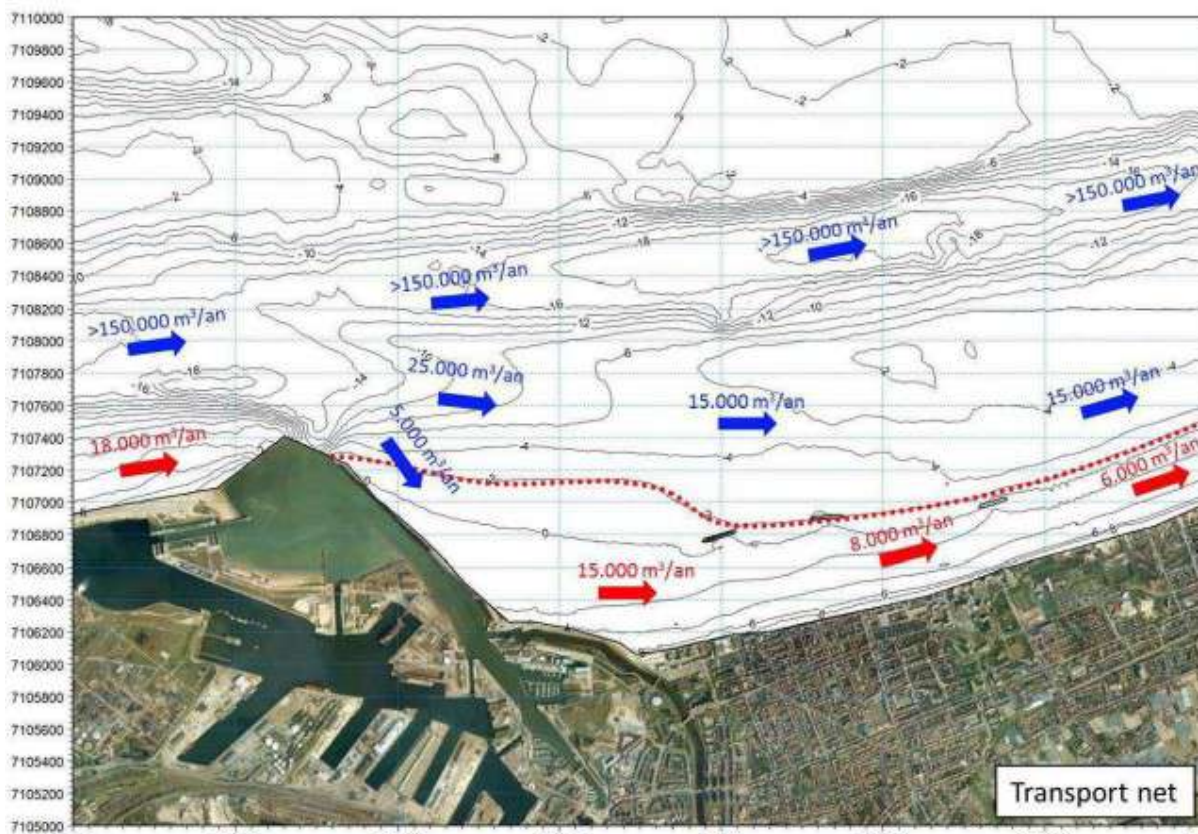


Figure 102 : Taux annuels de transport net moyennés sur la période 1979-2001 au droit de la digue des Alliés. La limite d'action des houles, illustrée par la ligne en pointillés rouge, se situe environ à -2 m CM sur ce secteur. De part et d'autre de cette isobathe, une distinction est faite entre le transport induit par les courants de marée (flèches bleues) et le transit littoral généré par les courants de houle (flèches rouges) (DHI, 2011 ; Grunnet et al., 2012 ; Cartier et al., 2014)

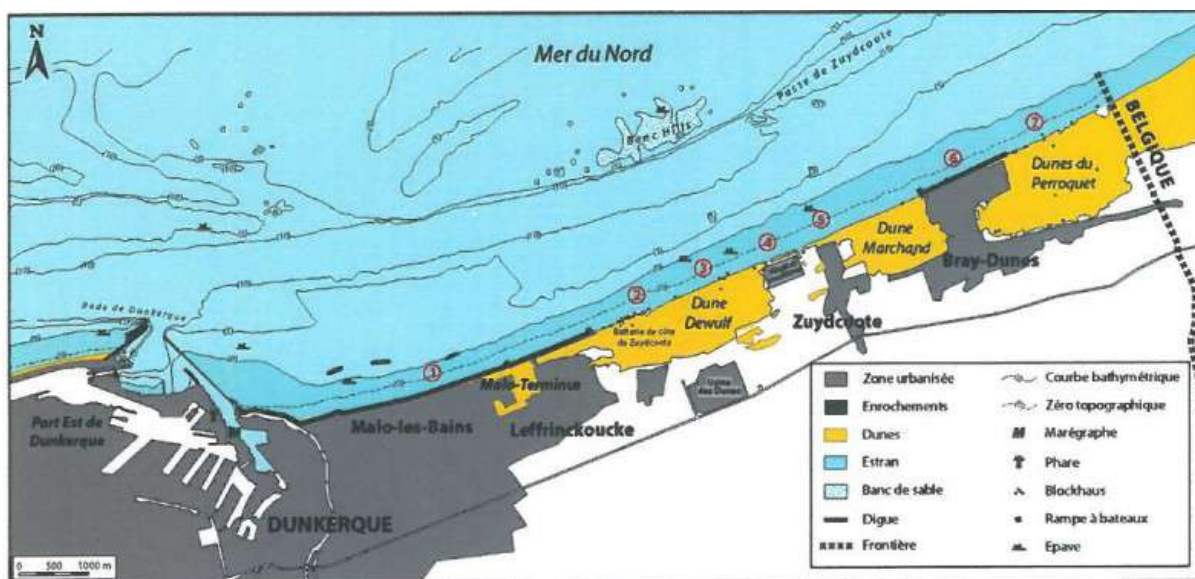


Figure 103 : Présentation de la cellule hydrosédimentaire de la jetée de Malo à la frontière belge ; 1) digue de mer de Dunkerque-Malo-les-Bains, 2) batterie militaire de Zuydcoote, 3) dune Dewulf, 4) cordon dunaire devant l'hôpital maritime de Zuydcoote, 5) front de mer ouvragé de Zuydcoote, 6) digue de mer de Bray-Dunes et 7) plage sauvage des dunes du Perroquet (d'après Maspataud, 2011)

Au large, à environ 1 400 m de la plage, un banc sableux parallèle à la côte est présent, le banc Hills, séparé de la plage par le chenal de Zuydcoote, d'une profondeur variant de - 10 à - 15 mCM (Figure 103).

La canalisation des courants dans ce chenal induirait de forts courants au droit de Zuydcoote, où le banc est plus haut et se rapproche de la côte. La canalisation des courants aurait pour conséquence la mobilisation et le transport des sédiments vers l'est, où ils pourraient se déposer à la faveur d'une diminution de la vitesse des courants induite par la présence moins marquée du banc et du chenal (Héquette et al., 2009). Ceci expliquerait la présence d'un secteur en érosion à l'ouest au niveau des dunes Dewulf, où le niveau du haut de plage est plus bas, et de secteurs stables et en accrétion à l'est au niveau des dunes Marchand et du Perroquet respectivement, où le niveau en haut de plage est plus élevé (Egis Ports, ULCO, 2014 ; d'après Maspataud et al., 2013).

Les mouvements de sédiments perpendiculaires à la côte ne sont pas bien connus. La dynamique liée aux courants de marée parallèles à la côte est le principal marqueur morphologique de la zone et peut masquer les effets d'un transport qui lui serait perpendiculaire. Il apparaît cependant que les bancs de Flandre agissent comme des brise-lames naturels (Villaret, 2004).

Au centre et à l'est de la cellule, le front de mer est caractérisé par la présence de trois massifs dunaires totalisant une longueur de 7 km, avec de l'ouest vers l'est, les dunes Dewulf, les dunes Marchand et les dunes du Perroquet (Figure 104). L'évolution morphologique des dunes littorales de l'est de Dunkerque est marquée par une migration du bourrelet bordier vers l'intérieur des terres.

Les différentes tempêtes ayant touché le littoral à l'est de Dunkerque ont eu des effets majeurs. Durant la période 2014-2017, les dunes n'ont pas retrouvé leur état initial suite aux tempêtes Xaver (2014, avec un niveau d'eau centennal), Egon (2017) et Eleanor (2018). Des accumulations de sables ont pu être visibles en pied de dune – sans pour autant permettre une reconstruction de cette dernière. Fin 2017 et 2018, deux autres tempêtes de puissance inférieure à celle de 2014 ont également conduit à une érosion de ces systèmes dunaires. L'apparition de ces falaises d'érosion est due d'une part à l'altitude du pied de dune qui n'est pas suffisant pour amortir les vagues et d'autre part à une largeur du haut de plage insuffisante pour protéger la dune.

Sur la période 2014-2017, les dunes Dewulf et Marchand ont donc connu une érosion de dunes sans que ces dernières n'aient pu se régénérer (Zemmour et Ruz, 2021).

Les sites de la dune Dewulf et des dunes du Perroquet, pourtant proches (4 km de distance) et soumises aux mêmes forçages météomarins, présentent une réponse morphodynamique bien différente, à l'échelle événementielle comme pluriannuelle : les dunes du Perroquet bénéficient d'apports sableux importants, mais non quantifiés, éoliens comme marins, tandis que la dune Dewulf reste épisodiquement sensible aux tempêtes et perd du sédiment. Les apports enregistrés à l'est sur les dunes du Perroquet sont largement supérieurs à ceux perdus à l'ouest sur la dune Dewulf entre 2007 et 2010, suggérant de possibles échanges sableux ou apports extérieurs, à partir des petits-fonds, qui expliqueraient l'engraissement des dunes du Perroquet (Figure 104) (Maspataud, 2011).

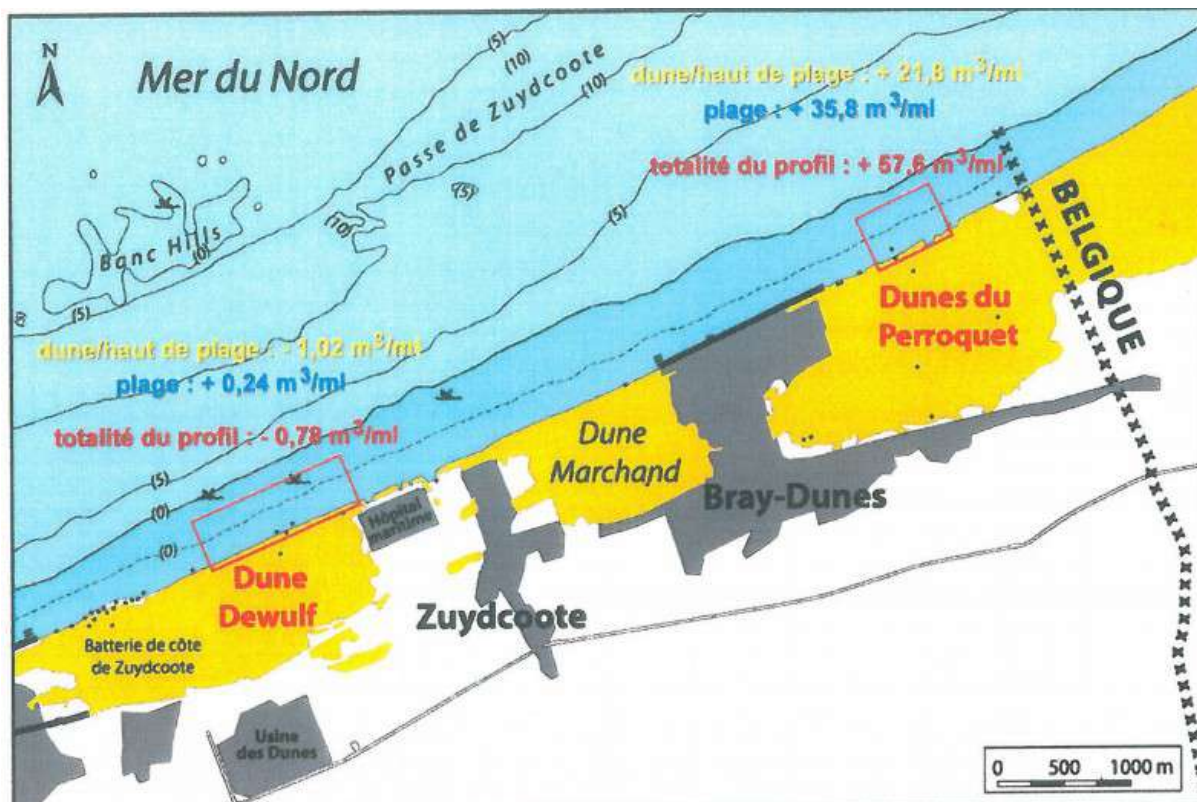


Figure 104 : Bilans volumétriques moyens de 2007 à 2010 sur les dunes de Dewulf et du Perroquet, au centre et à l'est de la cellule hydrosédimentaire (Maspataud, 2011)

L'analyse des données bathymétriques de 2011 et des données plus anciennes (1962, 1978, 1985, 2000 et 2009) révélait une érosion (zone orange/rouge, Figure 105) devant la digue des Alliés en pied de digue, alors que des dépôts étaient constatés en zone subtidale et à l'approche des tombolos (zones en vert sur la figure ci-dessous).

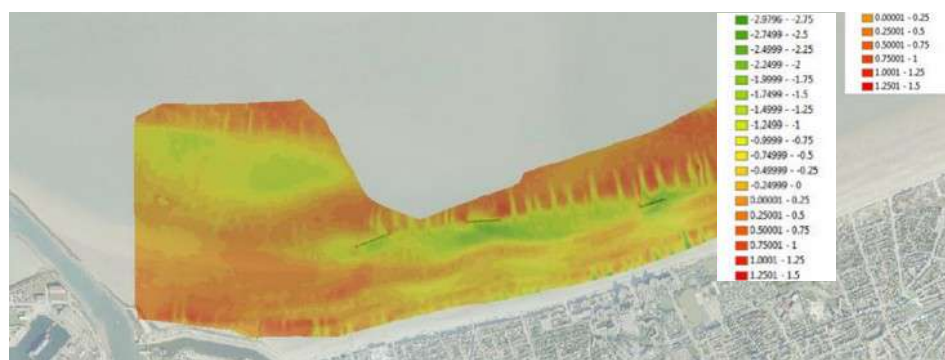


Figure 105 : Evolution morphologique de 1985 à 2011 (source : SODRACO)

Des travaux majeurs ont été menés sur cette digue entre 2014 et 2018. Ils ont consisté en des travaux de réparation, mais également en février 2014 en un rechargement massif en sable devant la digue (1,2 M m<sup>3</sup>) accompagné d'une mise en place de solutions douces pour maintenir le sable (brise-vents, ganivelles, oyats). Un premier rechargement de 300 000 m<sup>3</sup> avait été réalisé en novembre 2011.

Le rechargement massif de 2014 a consisté à réaliser une berme à la cote 7,50 m CM sur 150 m de large devant la digue et parallèlement à cette dernière, avec une pente d'équilibre de 5% pour le raccordement à l'estran. Ce rechargement a été réalisé pour atténuer la houle en pied d'ouvrage, en acceptant une érosion jusqu'à 6 m CM. Pour maintenir cet objectif, il nécessite un entretien de 225 000 m<sup>3</sup> tous les 5 ans.

Un suivi topo-bathymétrique est effectué depuis le rechargement. Ce dernier met tout d'abord en avant une érosion du secteur le plus à l'ouest contre la jetée de Malo. Sur ce secteur le plus à l'ouest l'érosion concerne aussi bien la plateforme supratidale que l'estran. L'érosion qui a touché ce secteur s'est produite dès les premiers mois du rechargement. L'abaissement sur ce secteur atteint ponctuellement les 3 mètres. Par ailleurs, sur les secteurs les plus à l'est, une accrétion est observable près de trois ans après le rechargement. Globalement, sur la zone de rechargement, sur la période 2014-2018, le bilan est négatif, -186 000 m<sup>3</sup> (Figure 106). Malgré ce bilan, l'évolution au global montre que malgré la perte sédimentaire sur l'ouest de la zone, l'est du secteur connaît une accrétion mais aussi la formation de barres et bâches (Spodar, 2018). Un suivi de ce secteur est effectué année après année et met en lumière la direction et la vitesse du transit sédimentaire sur ce secteur anthropisé. (Figure 107).

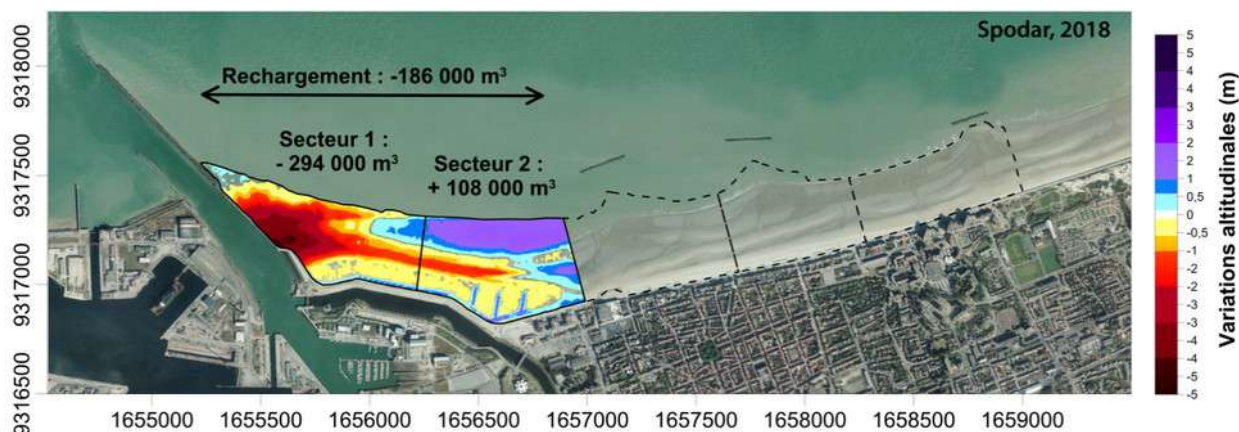
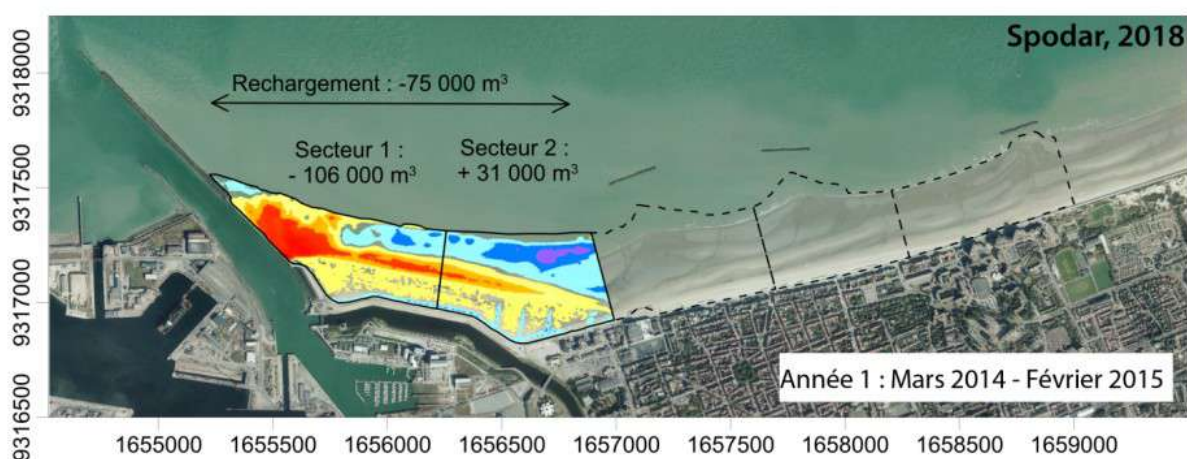


Figure 106 : Bilan général de l'évolution du secteur rechargé entre mars 2014 et mai 2017 (Spodar, 2018)



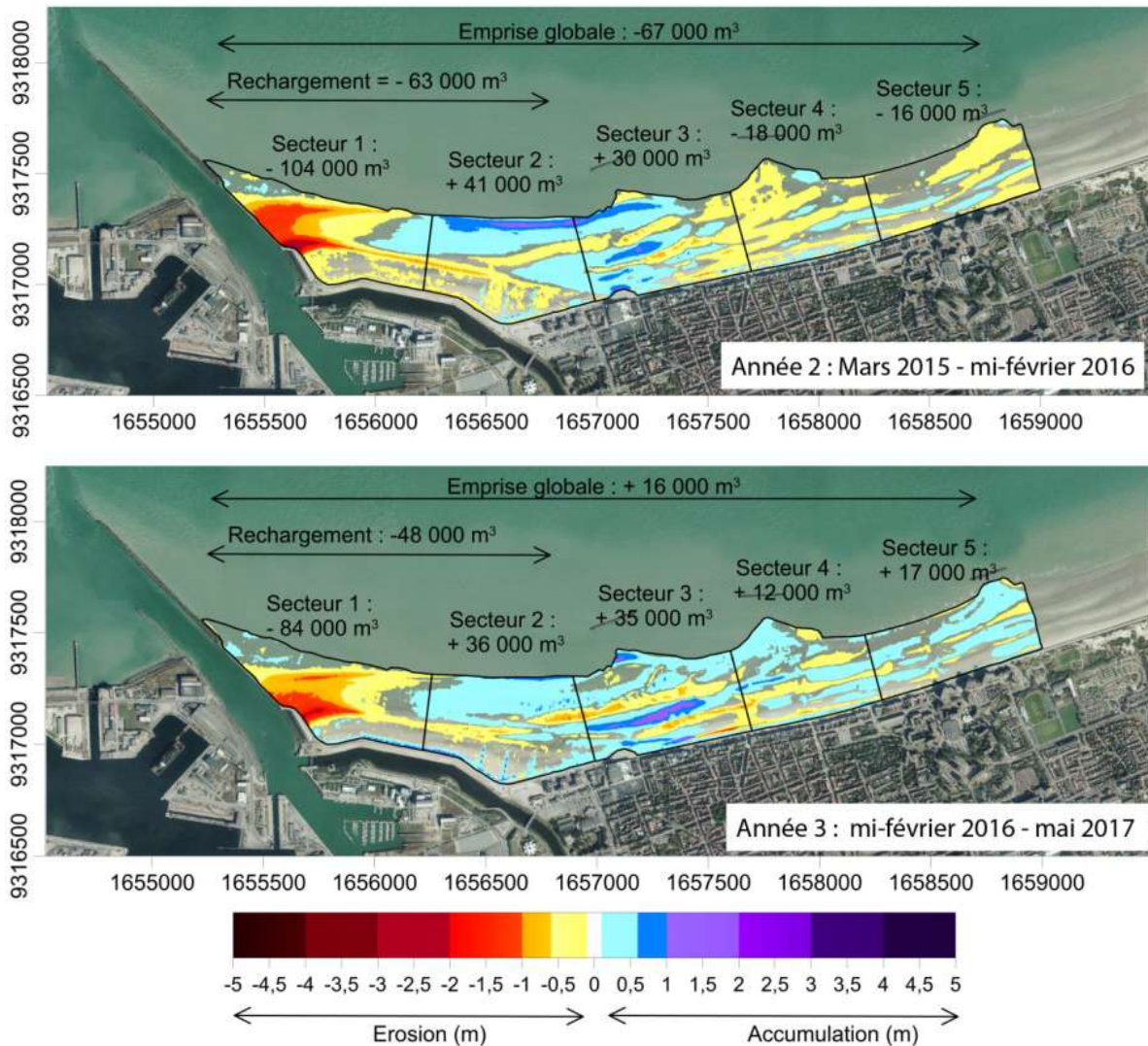


Figure 107 : Evolution morphologique et volumétrique par année sur l'ensemble du site et par secteurs (Spodar, 2018)

Un suivi, réalisé par GEODUNES

**AVANT RECHARGEMENT** → **APRES RECHARGEMENT**



29 juin 2011 – PM – Coeff. 60



8 mars 2017 – PM – Coeff. 51



Figure 108 : Photos avant/après les rechargements de 2011 et 2014 devant la digue des Alliés à Dunkerque (source : DHI)

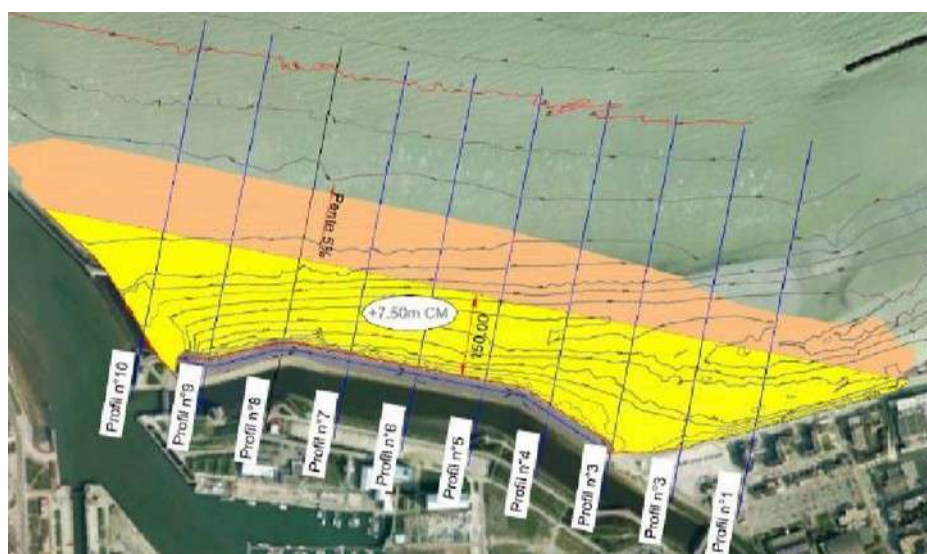


Figure 109 : Représentation du rechargement massif effectué en 2014 (source : SODRACO)





## 8. Méthodologie d'analyse des aléas littoraux

### 8.1. Aléa Submersion

Suite à l'analyse des données concernant l'aléa submersion disponibles sur la zone d'étude, il a été retenu par le comité technique de ne prendre en compte que la donnée d'aléa submersion calculée dans les PPRL. Les différentes hypothèses de niveau d'eau et de localisation des brèches prise en compte dans les différents PPRL sont présentées dans les fiches aléas associées à chaque cellule.

Les données issues des PAPI n'ont pas été retenues de par leur caractère non homogène sur l'ensemble du territoire.

Cependant, toutes les communes du littoral n'ont pas donné lieu à la réalisation d'un PPRL. Par ailleurs, les données de submersion issues des modélisations dynamiques des PPRL sont liées à des hypothèses (prise en compte des ouvrages, hypothèse de brèche...). Afin de compléter ces données et afin de s'affranchir de ces hypothèses, il a été choisi de compléter les résultats de modélisation dynamique par une représentation de l'ensemble des zones basses. Ce complément permet d'avoir une vision « maximaliste » des zones submersibles, mais il permet également de se rendre compte de l'influence des hypothèses de localisation des brèches dans les ouvrages lors de la réalisation des modélisations dynamiques. Dans certains cas, en fonction de l'ouvrage et de la localisation de la submersion (dans la commune), différentes hauteurs d'eau peuvent avoir été modélisées. Dans ce cas, la hauteur la plus importante est utilisée afin d'avoir l'emprise maximale de la zone inondée.

Ce zonage statique permet de voir l'extension maximum de la submersion si cette dernière se déroulait sur un temps infini. Cela permet également de voir les différences qu'il existe entre le zonage PPRL et le zonage statique.

Après analyse des données PPRL, il apparaît que certaines zones limitrophes ne sont pas concernées par le zonage PPRL. Dans certains cas (comme la figure suivante), cela est visible au niveau des limites communales. Bien que ces communes ne soient pas incluses dans le zonage PPRL, elles sont comprises dans le PPRI (en l'occurrence, celui de la basse vallée de l'Authie) bien qu'elles puissent probablement être concernées par l'aléa submersion marine.

Seule la représentation de l'aléa submersion est prise en compte dans l'étude. L'aléa inondation continentale n'est pas intégré.

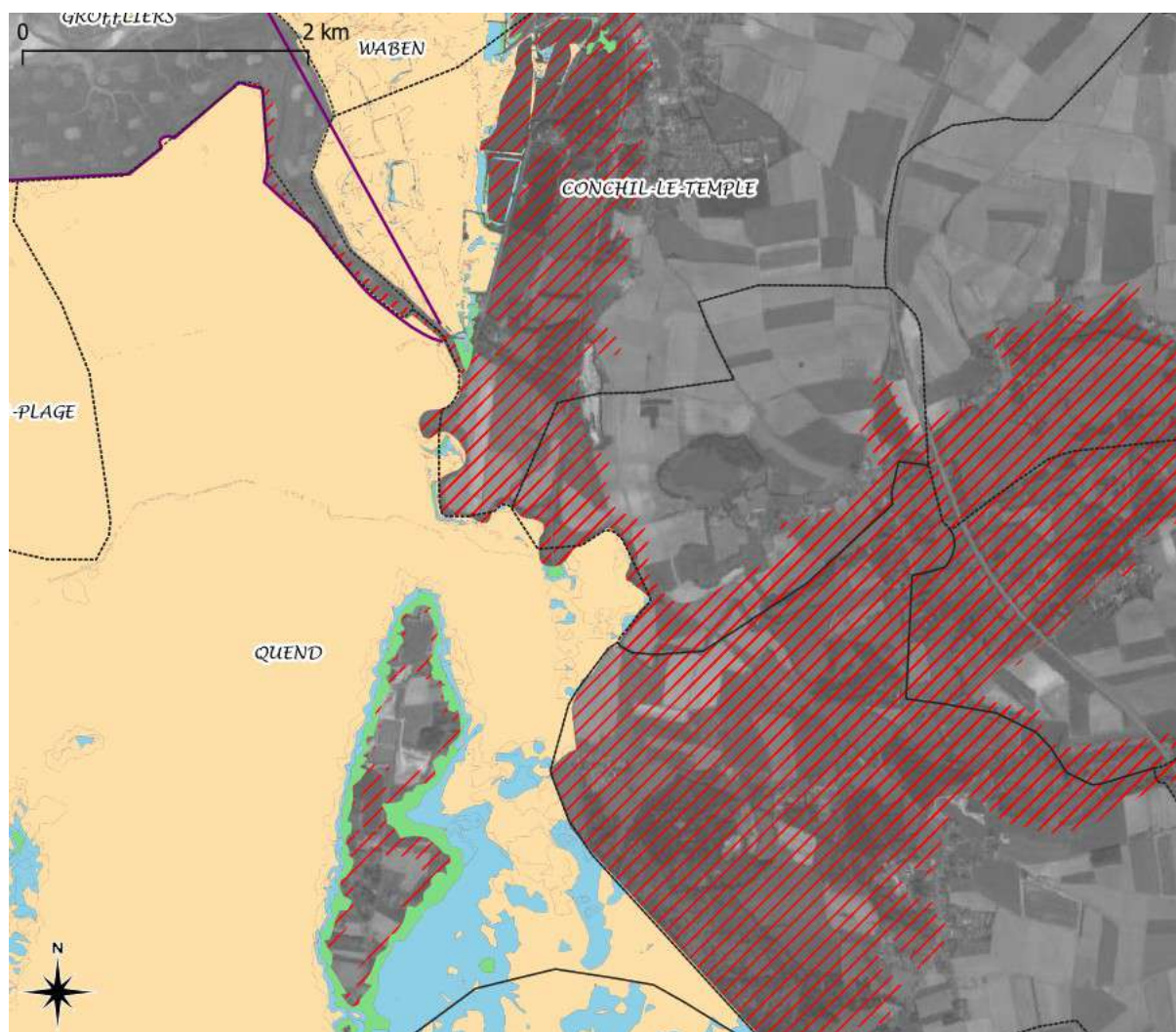


Figure 110 : Limite du zonage PPRL sur la baie d'Authie

Le cas d'Ambleteuse est également particulier. Il apparaît que le zonage de l'aléa s'arrête d'une façon arbitraire au niveau du schorre de la Slack. Il convient de se demander pourquoi le zonage est réalisé de la sorte. Aucune information ne ressort de la part de DHI qui a réalisé la modélisation sur cette commune.

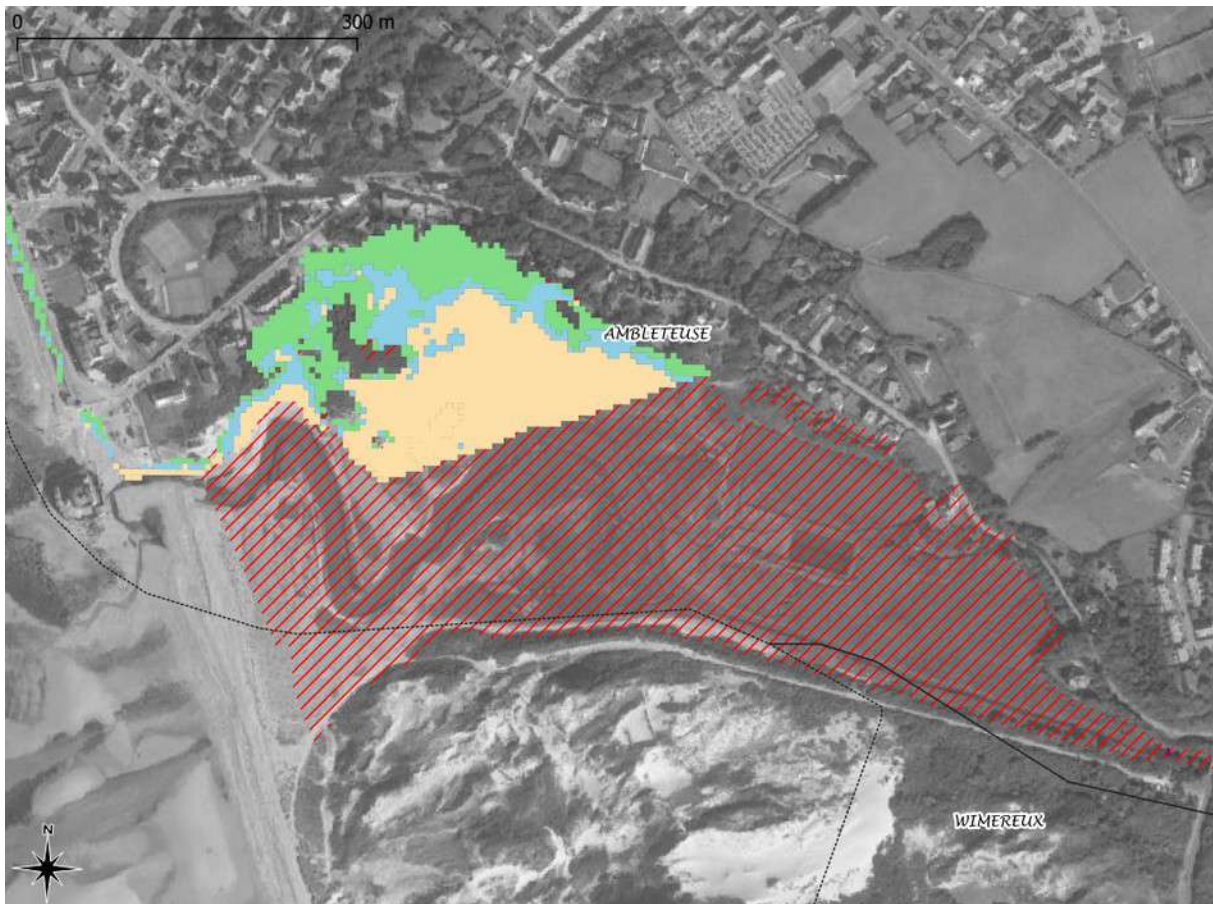


Figure 111 : Découpage de la donnée PPRL à Ambleteuse à proximité de l'estuaire de la Slack

## 8.2. Homogénéisation des Aléas

Un des objectifs de l'étude était d'uniformiser la représentation des aléas. Après analyse des tableaux hauteurs/vitesses utilisés, il apparaît compliqué de regrouper différentes catégories en fonction des bornes utilisées. En effet, ces dernières sont différentes et pour le PPRL de la Bresle, aucune valeur n'est donnée dans le rapport de l'aléa submersion. Afin de simplifier la représentation, les aléas forts et très forts sont fusionnés.

PPRL Bas-Champs, CREOCEAN, 2016				
Vitesse	0 à 0,25m/s	0,25 à 0,5m/s	0,5 à 1m/s	+1m/s
Hauteur				
H<0,5m	Faible	Faible	Moyen	Fort
0,5m<H<1m	Moyen	Fort	Fort	Fort
H>1m	Fort	Fort	Fort	Fort

PPRL Marquentere, CREOCEAN, 2014			
Vitesse	0 à 0,25m/s	0,25 à 0,75m/s	+0,75m/s
Hauteur			
H<0,5m	Faible	Moyen	Fort
0,5m<H<1m	Moyen	Moyen	Fort
H>1m	Fort	Fort	Très Fort

PPRL NPdC, DHI, 2013			
Vitesse	0 à 0,20m/s	0,20 à 0,50m/s	+0,50m/s
Hauteur			
H<0,5m	Faible	Moyen	Fort
0,5m<H<1m	Moyen	Moyen	Fort
H>1m	Fort	Fort	Très Fort

PPRL Bresle, CEREMA, 2014			
Vitesse	Faible	Moyen	Forte
Hauteur			
H<0,5m	Faible	Moyen	Fort
0,5m<H<1m	Moyen	Moyen	Fort
H>1m	Fort	Fort	Très Fort

Figure 112 : Caractérisation de l'aléa en fonction du PPRL

### 8.3. Aléa érosion

L'analyse des données existantes a permis de montrer qu'il n'existe pas de données concernant l'aléa érosion homogène sur l'ensemble du territoire. Des études existent de façons ponctuelles sur certaines zones, mais elles ne couvrent qu'une partie du territoire. Par ailleurs, les données couvrant une plus large échelle produite lors des PPRL sont remises en cause et ne peuvent donc pas être utilisées en tant que tel. On entend par remises en cause le fait que le volet érosion de certaines PPRL était attaqué auprès des tribunaux administratifs ; par ailleurs, l'harmonisation entre ces derniers est difficile du fait des disparités dans la méthode de calcul entre les PPRL. De même les données issues de l'indicateur national d'érosion côtière (CEREMA, 2015) qui couvrent l'ensemble du territoire présentent l'inconvénient de n'analyser les évolutions du trait de côte que sur une large période, sans prendre en compte les évolutions récentes. Ainsi une inversion de tendance liée à la mise en place récente de mesures de gestion ou d'ouvrages récemment mis en place et impactant le transit sédimentaire n'est pas visible sur cette donnée. Par ailleurs, les données récentes (Lidar 2017 et 2020 du ROL/SHOM) n'y sont pas valorisées.

Ainsi, il a été décidé par le comité technique de réaliser une identification à l'échelle de la zone d'étude des zones soumises à l'aléa érosion. Cette identification sera basée sur l'évolution du trait de côte sur le long terme, mais après la mise en place des derniers ouvrages, complétée par l'analyse récente des évolutions.

Dans le cadre de la présente étude, il n'est pas envisagé de réaliser une projection de la position du trait de côte à l'avenir. L'analyse réalisée à grande échelle est insuffisante pour s'engager sur de telles perspectives. Des études sont par ailleurs en cours qui permettront de les réaliser. Leur date de rendu n'est pas compatible avec leur utilisation dans la présente étude, seule une identification des tendances d'évolutions est réalisée. Toutefois, une estimation des enjeux susceptibles d'être impactés doit être réalisée, une proposition de zonage forfaitaire pour l'érosion est effectuée.

Le zonage réalisé comprend deux bandes, la première bande correspond au court terme, et la seconde au long terme. La répartition entre « stabilité érosion » et « érosion » est faite au niveau du linéaire des tendances. La notion de court et long terme n'est volontairement pas associée à des pas de temps précis. Pour que cela soit possible, une projection précise de la position du trait de côte aurait été nécessaire. Ces notions de court et long terme ont uniquement un but de sensibilisation sur l'urgence associée au risque lié à cet aléa. De même, l'identification de l'intensité de l'érosion est basée sur deux qualificatifs : stabilité érosion et érosion. Ils correspondent à un couplage entre l'érosion historique et récente qui présente une tendance à l'érosion, mais faible ou une tendance à l'érosion importante. Afin de pouvoir identifier les enjeux impactés par l'érosion, la réalisation d'un zonage reste tout de même nécessaire. Sans avoir de données d'évolution quantifiée, la prise en compte de largeur de zone tampon arbitraire est nécessaire. La largeur de ces zones est présentée en Figure 113. La largeur de ces bandes a été déterminée en concertation avec la DREAL.

	Court terme	Long terme
« Stabilité érosion »	25 mètres	50 mètres
« Erosion »	50 mètres	100 mètres

Figure 113 : Largeur du zonage en fonction de la tendance d'évolution

### 8.4. Mise en place du zonage de tendance

#### 8.4.1. Principe général

Afin de réaliser cette cartographie des tendances d'évolution du trait de côte, les deux variables indiquées précédemment sont prises en compte.

La première tend à mesurer l'impact potentiel des ouvrages sur l'évolution du trait de côte en évaluant l'évolution suite à la mise en place des ouvrages ou l'évolution du trait de côte sur le long terme.

La seconde met en avant les phénomènes d'accrétion et d'érosion, aussi bien au niveau du trait de côte, du haut de plage, mais aussi du bas de plage sur la période récente (entre 2011 et 2020).

Le couplage de ces variables est ensuite réalisé afin de permettre la création de ce linéaire de tendance. A la suite de la réalisation de ce linéaire, une donnée homogène de l'aléa érosion est ainsi créée sur l'ensemble du territoire.

#### 8.4.2. Données disponibles

Cette étude est basée sur des données de sources diverses.

La première variable utilise tout d'abord la donnée du recensement des ouvrages littoraux réalisé par le CEREMA (CEREMA, 2017), ainsi que différents traits de côte.

Ceux utilisés sont :

- Les traits de côte anciens du CEREMA (la date varie en fonction du territoire 1947 sur la Somme et 1932 à 1935 sur le Pas-de-Calais et le Nord).
- Les traits de côte récents du CEREMA (le trait de côte 2007 est utilisé sur la Somme et celui de 2009 pour le reste de la zone).
- Le trait de côte réalisée par la DDTM 80, cette dernière concerne le secteur des Bas-Champs avec les traits de côtes de 1994 et 2004.
- Pour le secteur du Nord et du Pas-de-Calais, les traits de côte de A. CRAPOULET ont été exploités. Ces derniers existent pour les dates de 1963, 1983, 2000, 2005 et 2009.

La seconde variable (évolution récente) utilise, les levés topographiques LiDAR disponibles. Ceux qui ont été exploités sont le RGE-Altitude 1m de 2011 de l'IGN ainsi que les données SHOM-ROL de 2017 et 2020.

#### 8.4.3. Méthodologie générale

La méthodologie employée est ici déclinée afin de permettre une meilleure compréhension et de mettre en avant les différentes exceptions existantes.

Pour permettre d'avoir une donnée d'érosion tenant compte de l'impact des ouvrages et des évolutions récentes la méthodologie suivante a été appliquée :

- Evaluation de l'évolution du trait de côte sur le long terme ou après la mise en place d'ouvrages transversaux s'il y en a ;
- Evaluation de la tendance actuelle par comparaison des données topographies entre 2011 et 2020 ;
- Couplage des évolutions à long terme et récentes par pondération.

L'attribution de la note se fait par tronçon homogène. Cette homogénéité doit être visible au regard de plusieurs facteurs : aussi bien sur le type de côte, le type et la présence d'ouvrages longitudinaux ou transversaux. L'évolution du trait de côte sur le court et long terme permet également ce découpage – tout comme l'évolution du stock sédimentaire sur les plages. Ces tronçons font au minimum 100 mètres, certaines particularités peuvent donc être gommées et être englobées dans un tronçon plus large.

A ce stade des connaissances, il semble illusoire de prédire les évolutions quand une inversion de tendance est observée entre le court terme et le long terme, d'où la pondération à 1 :1 entre les deux variables. Les deux variables sont laissées disponibles afin de permettre une réévaluation de la tendance synthétique en fonction des évolutions à venir. Même dans le cas où la tendance à court et long terme est identique, rien ne confirme que cela le restera par la suite.

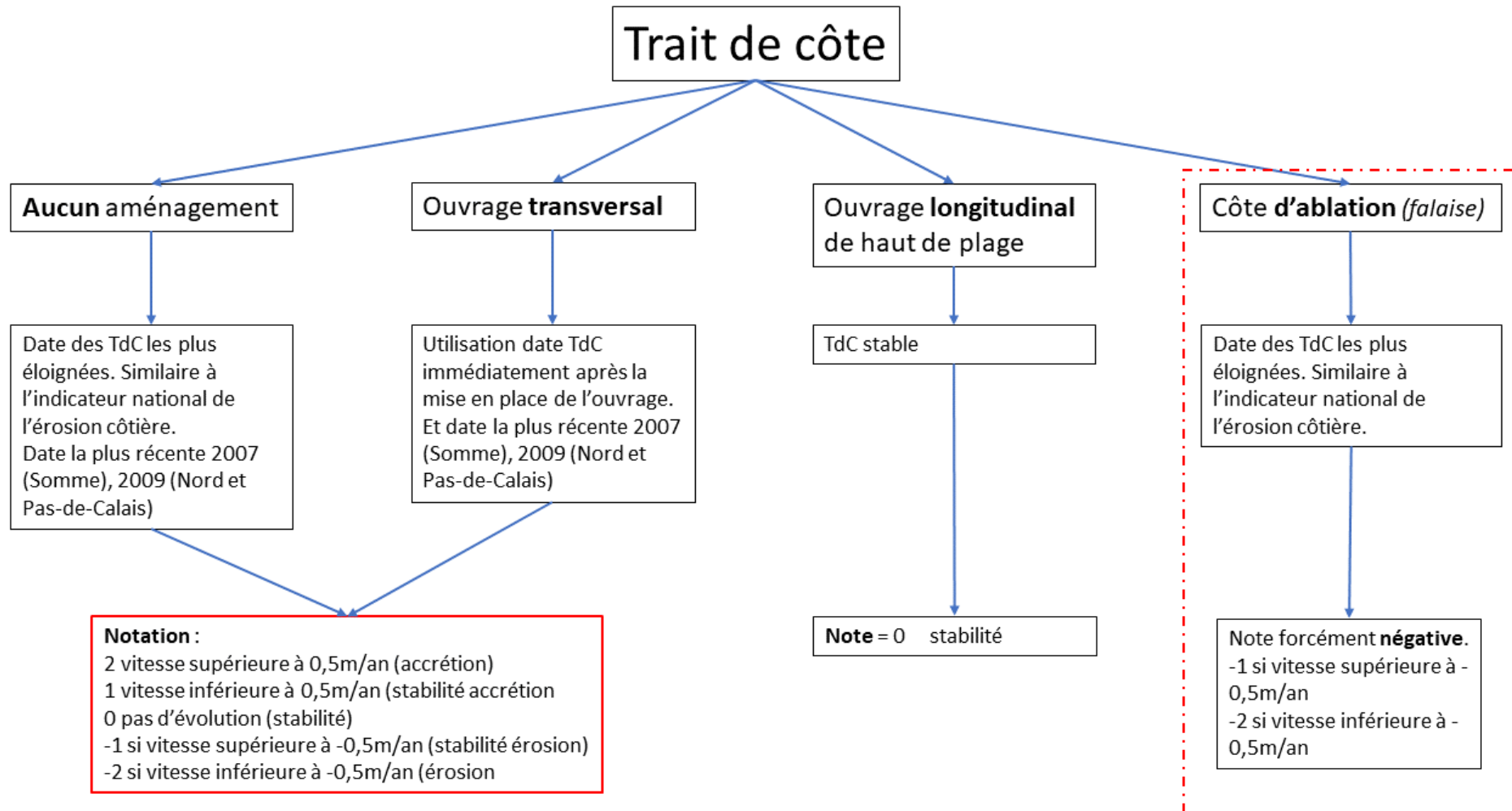


Figure 114 : Logigramme récapitulant la construction de la première variable en fonction du trait de côte

## 8.4.4. Impacts des ouvrages/évolutions sur le long terme

### 8.4.4.1. Principe général

La création de la première variable répond à de nombreuses caractéristiques qui sont résumées dans le logigramme ci-dessus. Les différents cas sont ainsi explicités.

### 8.4.4.2. Pondération des résultats

En cas de forte avancée du trait de côte sur le long terme, la note est de 2. En revanche, si elle est faible, sa note est de 1. Si la note attribuée est de 0, cela veut dire que le tronçon n'a pas connu d'évolution sur la période. Cette absence d'évolution est due à l'artificialisation du trait de côte ou aux fortes évolutions causées par l'artificialisation du linéaire (comme vu précédemment). Si le tronçon est en érosion, la note sera de -1, si cette dernière est élevée, elle aura une note de -2.

Pour récapituler, la notation s'effectue de la sorte :

- Accrétion : 2
- Stabilité accrétion 1
- Stabilité 0
- Stabilité érosion -1
- Erosion -2

Les notes ont été attribuées en fonction de l'évolution que le secteur a connue. Il convient de regarder la vitesse de recul ou d'avancée sur les différents secteurs. Si le trait de côte est artificialisé, la note 0 (stabilité) est attribuée. Si ce secteur est en accrétion (**>0,5m/an**) il lui est donné la note 2, alors que si l'accrétion (stabilité accrétion) est limitée (**entre 0\* et 0,5m/an**), il n'aura qu'une note de 1. Il en va de même pour les notes négatives en cas d'érosion. En cas d'érosion limité (**-0,5 à 0m/an**), le tronçon aura une note de -1, alors que si elle est inférieure, elle aura une note de -2 (**<-0,5m/an**). Des études récentes ont également été prises en compte afin d'attribuer les différentes notes, notamment l'étude d'Artelia de 2021 sur les systèmes dunaires du Nord et du Pas-de-Calais.





## 8.4.5. Evolutions récentes (2011-2020)

### 8.4.5.1. Principe général

La seconde variable se base sur l'évolution altimétrique de la plage entre la donnée RGE de 2011 et la donnée du SHOM/ROL de 2020. Elle met en avant des secteurs où il y existe un engraissement ou une érosion de plage. Il convient d'analyser l'évolution altimétrique de la plage, l'évolution des cordons dunaires ou de galets et la position du trait de côte.

Afin de disposer de traits de côte récents, il a été décidé d'exploiter les données LiDAR pour en tracer. Ceux tracés correspondent aux isolignes des plus hautes marées astronomiques (PHMA). Bien que sujette à caution pour définir la position du trait de côte (CRAPOULET A., 2015) cette méthode permet de visualiser rapidement l'évolution en plan de la position du trait de côte sur les différentes données LiDAR disponibles. La méthode employée étant la même sur les trois données, l'erreur possible de positionnement du trait de côte est acceptable pour la comparaison.

La valeur de PHMA moyenne a été attribuée à chaque cellule sur l'ensemble de son linéaire.

L'attribution des notes pour cette variable se base sur l'évolution des isolignes et sur la comparaison des données LiDAR. Les valeurs utilisées sont issues des données du SHOM (Figure 116).

CELLULE HYDRO-SEDIMENTAIRE	PHMA (m NGF)
<b>Sous-cellule 10 – Jetée du Tréport à la pointe du Hourdel</b>	5.88 m
<b>Cellule 11 – Pointe du Hourdel à la pointe de Routhiauville</b>	6.04 m
<b>Cellule 12 – Pointe de Routhiauville à la pointe du Touquet</b>	5.70 m
<b>Cellule 13 – Pointe du Touquet à la digue Carnot (Boulogne/Mer)</b>	5.60 m
<b>Cellule 14 – Digue Carnot au cap Gris Nez</b>	5.10 m
<b>Cellule 15 – Cap Gris Nez au port de Calais</b>	4.62 m
<b>Cellule 16 – Port de Calais à la jetée des Huttes (Gravelines)</b>	4.00 m
<b>Cellule 17 – Jetée des Huttes à la jetée de Malo (Dunkerque)</b>	3.90 m
<b>Cellule 18 – Jetée de Malo à la frontière belge</b>	3.79 m

Figure 116 : Répartition des niveaux en m NGF en fonction des cellules hydro-sédimentaires

*Cas particulier* : le cas des falaises est particulier. Une falaise vive ne peut être qu'en érosion plus ou moins rapide. Si le trait de côte a peu reculé, sa note sera de -1 et au contraire en cas de recul rapide, sa note sera de -2. En effet, même si le pied de falaise vive connaît des phénomènes d'engraissement sporadique liés généralement aux éboulements non évacués par la mer, celle-ci reste en érosion plus ou moins rapide. Se baser sur l'évolution des isolignes sur les secteurs de falaises n'est pas pertinent. Elles peuvent être positionnées sur des éboulements qui sont amenés à évoluer dans le temps.

### 8.4.5.2. Résultats

Il n'est pas prévu dans l'étude une quantification précise des bilans sédimentaires ni du transit. La notation se fait de façon subjective en évaluant la tendance globale. Celle-ci est basée d'une part sur l'évolution du trait de côte et d'autre part de l'évolution globale du niveau de l'estran.

En cas d'engraissement assez important du haut de plage et du milieu de plage, la note de 2 est attribuée, si l'engraissement est faible, il aura la note de 1. Il en va de même pour les secteurs en démaigrissement. Si ces derniers sont en forte érosion, la note de -2 leur est attribuée, alors que si elle est faible, sa note est de -1.

Les notes sont octroyées en fonction de l'évolution de chaque tronçon. L'évolution des isolignes est couplée avec les évolutions du milieu de plage et du bas de plage via la comparaison LiDAR.

Si une évolution de la position du trait de côte est visible, une notation plus quantifiée sera appliquée. Si un secteur est en accrétion (avancée des isolignes  $>0,5\text{m/an}$ ) il lui est donné la note 2 (en vérifiant que sur la comparaison LiDAR, le trait de côte connaît une accrétion), alors que si l'accrétion (stabilité accrétion) est limitée (entre  $0+$  et  $0,5\text{m/an}$ ), il n'aura qu'une note de 1. Il en va de même pour les notes négatives en cas d'érosion. En cas d'érosion limitée ( $-0,5$  à  $0\text{-m/an}$ ), le tronçon aura une note de -1, alors que si elle est inférieure, elle aura une note de -2 ( $<-0,5\text{m/an}$ ). Un couplage avec les données d'évolution de l'estran est ensuite réalisé.

Certaines zones connaissent néanmoins des évolutions très irrégulières étant tantôt en accrétion tantôt en érosion. L'étude d'Artelia précédemment citée avait mis en exergue certaines zones d'accrétion en 2017 qui sont en 2020 en érosion (le phénomène contraire se retrouve également).

Afin d'avoir une donnée plus précise sur les évolutions sur la période 2011-2020, il serait intéressant d'avoir les traits de côtes tracés afin d'être plus précis qu'avec la donnée PHMA.

Par ailleurs, Artelia dans son étude précédemment citée avait étudié l'évolution récente du trait de côte sur la période 2008/2010 à 2018/2019. L'utilisation de la donnée LiDAR récente (2020) peut donc parfois venir contredire l'étude sur les systèmes dunaires.

#### **8.4.6. Résultat global – mise en place du linéaire de tendance**

Une note est attribuée à ces deux variables, et la somme de ces notes permet de montrer si un secteur est plutôt en accrétion (note  $\geq 1$ ), stable (note = 0) ou en érosion (note  $\leq -1$ ). Après cette somme, les notes peuvent donc s'échelonner entre +4 (secteur en accrétion) ou -4 (secteur en érosion).

A l'issue de cette notation, chaque tronçon possède une note allant de +4 à -4. Cette notation sera découpée avec les valeurs suivantes :

- +3 / +4 : accrétion
- +1 / +2 : stabilité accrétion
- 0 : stabilité
- -1 / -2 : stabilité érosion
- -3 / -4 : érosion

Il convient de se demander où placer le linéaire de tendance. En effet, il est nécessaire de le situer le plus précisément sur la carte afin de pouvoir réaliser le zonage de l'érosion. Une hiérarchie est suivie afin d'avoir une représentation cohérente.

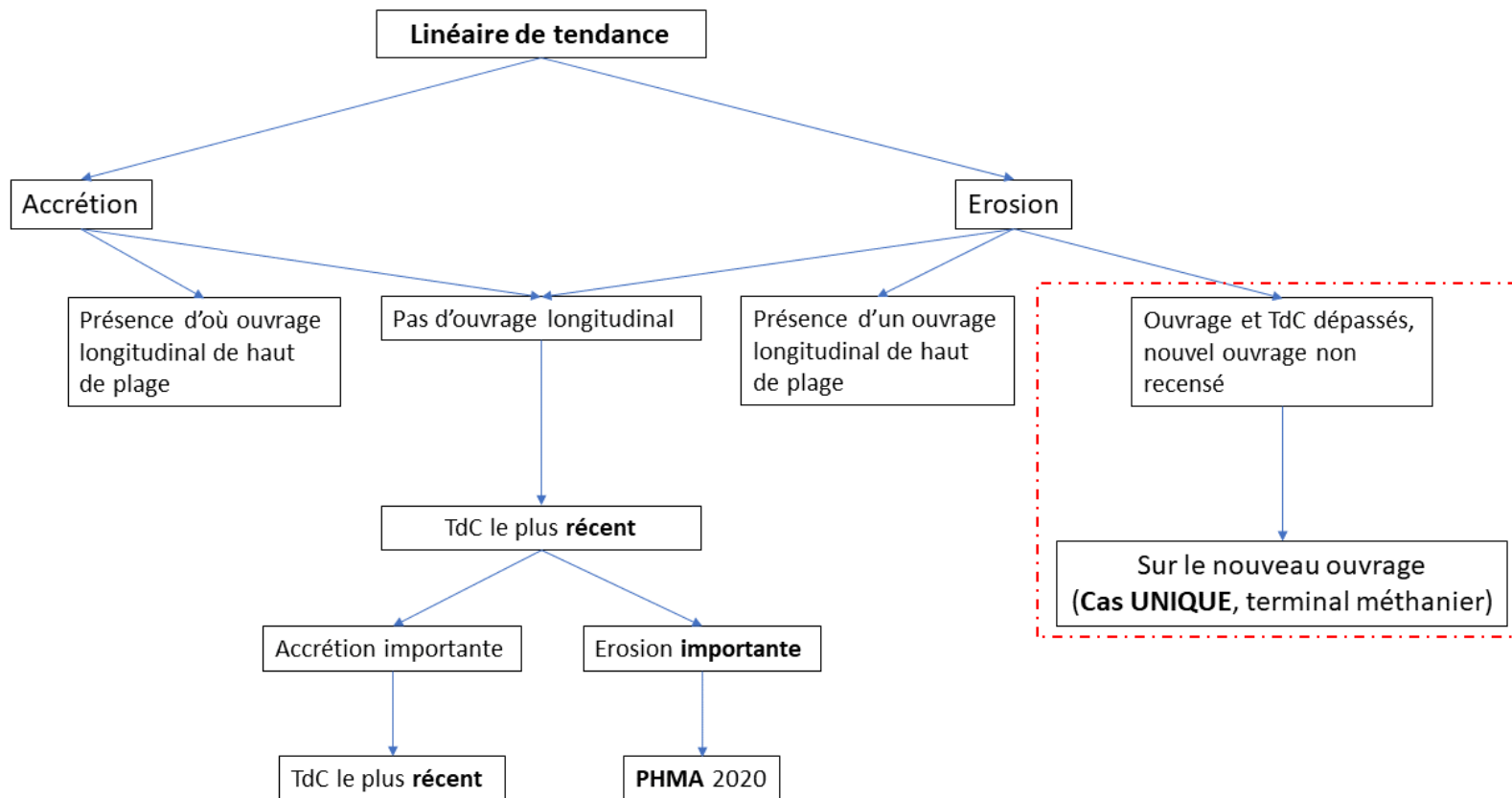


Figure 117 : Logigramme récapitulant le positionnement du linéaire de tendance

Par exemple, dans certains cas particuliers, le linéaire de tendance ne peut pas être positionné sur le trait de côte le plus récent. Dans ce cas, le linéaire de tendance est positionné sur l'isoligne PHMA la plus récente afin d'avoir un positionnement assez fiable. Ce cas de figure est uniquement retenu pour les zones en forte érosion (Figure 118) afin d'avoir par la suite un zonage des zones en érosion cohérent. Les zones en accrétion sont toujours positionnées sur l'ouvrage de haut de plage ou sur le trait de côte le plus récent.

Le trait de côte de 2009 est situé 68m plus bas que la limite de végétation (d'après les orthophotos). L'utilisation du PHMA 2020 permet de limiter en partie l'erreur de positionnement du linéaire de tendance. Le linéaire PHMA se situant à environ 30m de la limite de végétation.

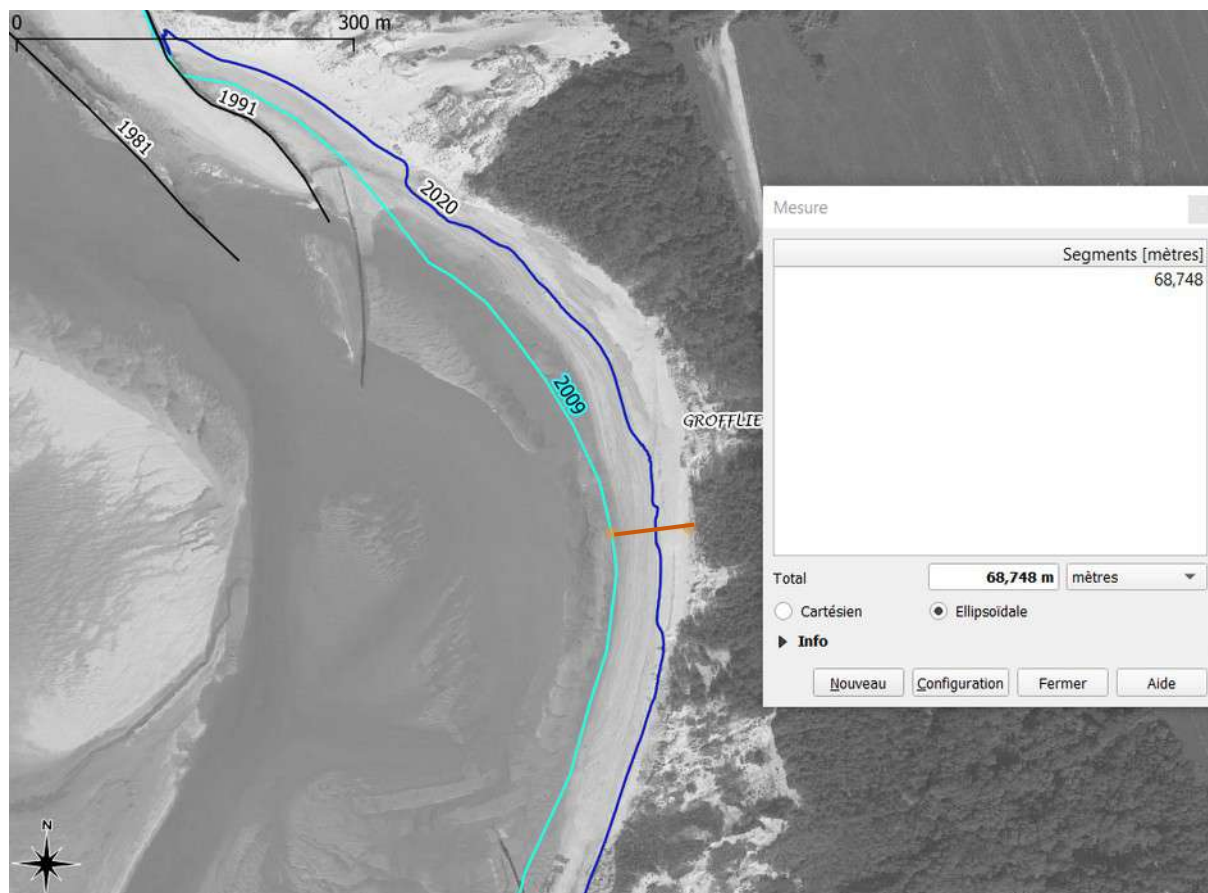


Figure 118 : Erosion sur le secteur du Bois des Sapins et nécessité d'utiliser l'isoligne PHMA 2020 comme base au linéaire de tendance.

## 9. Méthodologie d'analyse des enjeux

### 9.1. Compréhension des dynamiques territoriales

La vulnérabilité du littoral des Hauts-de-France aux aléas littoraux dépend de différents paramètres :

- La présence ou non d'une zone d'aléa
- L'exposition des enjeux aux aléas littoraux (présence ou non d'enjeux dans des zones d'aléa)
- Les facteurs potentiels d'aggravation ou d'atténuation (présence d'ouvrages, présence d'espaces naturels, capacité d'anticipation/ de réaction des populations, etc.)

L'analyse des dynamiques territoriales à l'œuvre sur le littoral des Hauts-de-France permet ainsi d'apprécier ces différents facteurs potentiels d'aggravation ou d'atténuation de la vulnérabilité aux aléas. Ce volet traite uniquement des dynamiques en lien avec les enjeux naturels, humains et économiques. Les aspects liés aux ouvrages sont traités dans les chapitres relatifs aux aléas.

La méthode d'analyse des dynamiques territoriales s'articule autour de deux grandes étapes

- Une analyse des documents stratégiques et de planification (SRADDET, SCoT, PPR, PAPI, CEREMA, EGIS, DSF,...), des études de référence sur le périmètre d'étude
- La définition d'un socle d'indicateurs permettant de caractériser ces dynamiques pouvant servir d'outils d'aide à la décision pour les différentes phases de la démarche d'élaboration de la stratégie littorale
- Des représentations cartographiques pour illustrer les dynamiques.

### 9.2. Identification des enjeux exposés aux aléas littoraux

#### 9.2.1. Principe général

La méthodologie retenue s'appuie sur plusieurs partis-pris :

- **L'échelle de la cellule hydrosédimentaire comme unité morfo sédimentaire** ; pour permettre une lecture cohérente des aléas littoraux
- **L'échelle communale comme unité territoriale d'analyse** ; pour permettre une lecture territoriale des enjeux impactés facilement appropriable. Les indicateurs renseignés à l'échelle communale sont issus des travaux du diagnostic et sont ainsi relatifs à la zone d'aléas
- **Une prise en compte de l'aléa submersion issue des PPRL à 100 ans et 100 ans avec changement climatique** pour projeter la réflexion dans le long terme<sup>2</sup>
- **Une prise en compte de l'aléa érosion à court et moyen terme**<sup>3</sup> déterminée par l'étude complémentaire menée dans le cadre de l'élaboration de la Stratégie littorale des Hauts-de-France

<sup>2</sup> Le cahier des charges précisait des attentes sur les aléas à court et moyen terme. Compte-tenu des problèmes de disponibilité des informations à ces temporalités, seules les données de l'aléa centennal (avec et sans changement climatique) ont été prises en compte pour la submersion.

<sup>3</sup> Les notions d'érosion à court et moyen terme font référence à l'urgence associée au risque lié à cet aléa. Elles sont présentées de manière détaillée au paragraphe 8.3.

- Une sélection **des indicateurs les plus déterminants**, pour avoir une vision globale des enjeux humains, économiques et environnementaux potentiellement impactés par l'érosion et la submersion
- Une **représentation cartographique de synthèse des enjeux en zones d'aléa**, accompagnée de pictogrammes permettant de qualifier les principaux enjeux. En annexe, des cartes permettent d'illustrer l'exposition des enjeux à la submersion et à l'érosion.

### Croisement des aléas littoraux et des enjeux pour identifier leur « degré d'exposition »

<p><b>Quels aléas pris en compte ?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aléa submersion 100 ans et 100 ans + CC (en fonction des données PPRL disponibles)</li> <li>• Aléa érosion (en fonction de l'étude complémentaire sur l'érosion)</li> </ul> <p><b>Quels enjeux pris en compte ?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espaces naturels</li> <li>• Population</li> <li>• Bâti, logement</li> <li>• Equipements et services (équipements de santé, STEP, réseau routier)</li> <li>• Emplois / entreprises</li> <li>• Agriculture</li> <li>• Activités liées à la mer</li> <li>• Tourisme</li> </ul>	<p><b>Croisement Aléas-enjeux</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Des traitements cartographiques pour identifier les enjeux en zones d'aléa</li> <li>• Une représentation graphique de synthèse pour illustrer les types d'enjeux impactés par les aléas</li> </ul>
--	---

Figure 119 : Principe méthodologique pour l'analyse de l'exposition des enjeux aux aléas littoraux

## 9.2.2. Les indicateurs retenus

Les indicateurs retenus se partagent en quatre grandes familles d'enjeux :

- **Les enjeux humains et bâtis** qui quantifient la population, les logements et bâtiments en zone d'aléa.
  - La population : le nombre d'habitants à la parcelle en secteur d'aléas
  - Les logements : le nombre de logements à la parcelle en secteur d'aléas
  - Le bâti indifférencié : le nombre de bâtiment au sol en secteur d'aléas

### ENJEUX HUMAINS



Ce travail d'analyse intègre l'ensemble des logements et la population impactés par les aléas littoraux. L'approche spécifique des résidences secondaires et des résidents saisonniers n'est pas proposée en raison des difficultés de mobilisation de données à une échelle plus fine que celle de la

commune. Cependant, les résidences secondaires ont été intégrées dans l'analyse des dynamiques résidentielles.

- **Les réseaux, services et infrastructures à destination des populations** permettant d'identifier les équipements du territoire situés en zone d'aléas. Seuls les équipements sensibles ou jouant un rôle dans la gestion des risques ont été considérés. Les indicateurs retenus pour les représenter sont les suivants :
  - Le linéaire routier, en kilomètres en zone d'aléa
  - Les équipements structurants (équipements de gestion de l'eau, établissements de santé), en nombre d'infrastructures en zone d'aléa
  - Les gares en zone d'aléa (utilisés uniquement pour les cartographies)

### SERVICES ET ÉQUIPEMENTS



Gare



Gestion de l'eau



Établissement de santé

- **Les enjeux naturels** qui identifient les ressources naturelles situés en zone d'aléas.
  - la surface des espaces naturels en secteur d'aléas, en ha
  - les espaces protégés en secteurs d'aléas (utilisés uniquement pour les cartographies avec une pondération<sup>4</sup> en fonction des typologies d'outils de protection)

### ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX

Niveau de protection en fonction des différents outils



**Protection faible** (ZNIEFF 1 et 2, réserves de biosphère et de biodiversité)



**Protection moyenne** (Parc naturel régional, parc naturel marin, réservoir RAMSAR)



**Protection forte** (Conservatoire du littoral, RNN/RNR, Natura 2000, Sites classés et inscrits)

- **Les enjeux économiques** qui quantifient les activités du territoire situés en zone d'aléas. Ces indicateurs permettent d'apprécier la vulnérabilité des communes en termes de développement :

<sup>4</sup> Indice de pondération des outils de protection des espaces naturels :

les PNR : 1

Le Parc Naturel Marin : 1

les Réserves naturelles nationales et régionales : 2

les espaces gérés par le CEN et le Conservatoire du Littoral : 2

les espaces inventoriés ZNIEFF 1 et 2 : 0,5

les espaces classés au titre Natura 2000 (ZPS et SIC) maritimes : 1,5

les espaces classés au titre Natura 2000 (ZPS et SIC) maritimes : 1

les réservoirs RAMSAR : 1

les arrêtés Biotope : 1,5

les réserves de biosphère et de biodiversité : 0,5

Les sites classés et inscrits (0,5 à 1 en fonction des sites)



- Nombre d'emplois et d'entreprises
- Nombre de bâtiments industriels
- Surface agricole
- Nombre d'établissements touristiques
- Commerces impactés (utilisés uniquement pour les cartographies)
- Activités liées à la mer : zone de pêche, huttes de chasse, (utilisés uniquement pour les cartographies)

ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES



Industrie



Activité agricole



Emplois



Commerce

ACTIVITÉS TOURISTIQUES



Hôtel



Campings



Loisirs nautiques

ACTIVITÉS DE LA MER



Port de pêche



Zone de pêche



Port de marchandise



Aquaculture



Port de plaisance



Huttes de chasse

	Données utilisées	Méthode de calcul
<b>Enjeux humains et bâti</b>		
Nombre d'habitants en zones d'aléa	Population à la parcelle (Fichier fourni par la DREAL HDF : utilisation de la colonne population à la parcelle/ Données : Population- Iris 2014, INSEE)	Croisement cartographique entre les zones d'aléas et la couche POPULATION ; tout point intégré totalement ou partiellement dans la zone d'aléa est considéré.
Nombre de logements en zones d'aléa	Fichier foncier (DGFIP)	Croisement cartographique entre les zones d'aléas et la couche du FICHIER FONCIER (polygone). Tout polygone intégré totalement ou partiellement dans la zone d'aléa est considéré.  Pour chaque polygone « logement » issu du croisement, la colonne « nclochab » permet d'estimer le nombre de logements de la parcelle.  Par exemple, pour une parcelle « logement » en zone d'aléa dont la valeur de la colonne « nclochab » est de «250 » alors on considère qu'au 250 logements sont impactés par l'aléa.
Nombre de bâtiments en zones d'aléa	BD Topo (IGN) fournie par la DREAL : Couche bâti indifférencié	Croisement cartographique entre les zones d'aléas et la couche du BATI INDIFFERENCIE (polygone). Tout polygone intégré totalement ou partiellement dans la zone d'aléa est considéré.  Chaque polygone correspond à 1 bâtiment. Le décompte de l'ensemble des polygones impactés permet d'estimer le nombre de bâtiments en zone d'aléa.
<b>Réseaux, services et infrastructures à destination des populations</b>		
Nombre d'équipements de gestion de l'eau	LA BD TOPO a été utilisée pour déterminer la présence des établissements et équipements publics dans les zones d'aléas. Pour les équipements liés à l'eau, la couche Gestion Eaux a été mobilisée.	Croisement cartographique entre les zones d'aléas et la couche Gestion de l'Eau de la BDTOPO; tout point intégré totalement ou partiellement dans la zone d'aléa est considéré.  Le « nature » de l'équipement disponible dans la BD TOPO permet d'identifier le type d'équipements de gestion de l'eau.
Linéaire de routes (km)	L'identification du réseau routier est issue de la BDTopo de l'IGN qui recense l'ensemble des routes spécifiques du territoire. Pour le réseau routier, la couche TRONCON ROUTE a été mobilisée.	Le linéaire inclus dans le périmètre d'aléa est considéré.
Nombre d'équipements de santé	LA BD TOPO a été utilisée pour déterminer la présence des établissements et équipements	Croisement cartographique entre les zones d'aléas et la couche PAI_SANTE de la BDTOPO de l'IGN ; tout point intégré totalement ou partiellement dans la zone d'aléa est considéré.

	Données utilisées	Méthode de calcul
	publics dans les zones d'aléas. Pour les équipements de santé, la couche des équipements publics PAI_SANTE a été mobilisée.	La « nature » de l'équipement disponible dans la BD TOPO permet d'identifier le type d'établissement de santé.
<b>Les enjeux naturels</b>		
Surface des espaces naturels en secteur d'aléas (ha)	L'identification des espaces naturels est issue des bases de données Corine Land Cover et CARMEN (DREAL Hauts-de-France) qui recense l'ensemble des espaces naturels spécifiques du territoire.	Croisement cartographique entre les zones d'aléas et la couche xxx de Corine Land Cover . Seule la partie du polygone incluse dans la zone d'aléa est considérée.  Tous les sites naturels localisés dans les secteurs d'aléas sont comptabilisés.
<b>Les enjeux économiques</b>		
Nombre d'emplois et d'entreprises	Les activités économiques sont déterminées sur la base de la donnée localisée SIRENE.	Croisement cartographique entre les zones d'aléas et la couche GEOSIRENE de l'INSEE ; tout point intégré totalement ou partiellement dans la zone d'aléa est considéré.  Toutes les activités présentes dans le périmètre d'aléa sont retenues.  Les informations retenues concernent le nombre de salariés (emploi minimum) d'évaluer les emplois impactés.
Nombre de bâtiments industriels	BD Topo (IGN) fournie par la DREAL : couche bâti industriel	Croisement cartographique entre les zones d'aléas et la couche Bati industriel de la BD Topo ; tout point intégré totalement ou partiellement dans la zone d'aléa est considéré.  Tous les bâtiments industriels localisés dans les secteurs d'aléas sont comptabilisés.
Surface agricole	La donnée utilisée est celle fournie par le Registre Parcellaire Graphique 2010 qui sert de base aux recensements administratifs notamment dans le cadre de la Politique Agricole Commune. Cette base fournit des indications quant à la typologie et la taille des parcelles identifiées	Croisement cartographique entre les zones d'aléas et la couche xxx du Registre Parcellaire Graphique. Seule la partie du polygone incluse dans la zone d'aléa est considérée. Les surfaces par type de culture disponibles dans le RPG permet d'identifier la typologie des cultures impactées.
Nombre d'établissements touristiques	BPE Géolocalisée 2019 (INSEE) Les données utilisées permettent l'identification des campings et hôtels.	Croisement cartographique entre les zones d'aléas et la couche BPE Géolocalisée de l'INSEE ; tout point intégré totalement ou partiellement dans la zone d'aléa est considéré.  Tous les établissements touristiques localisés dans les secteurs d'aléas sont comptabilisés.

Figure 120: Méthode de calcul des enjeux en zone d'aléas

### 9.2.3. Représentation des enjeux exposés aux aléas littoraux

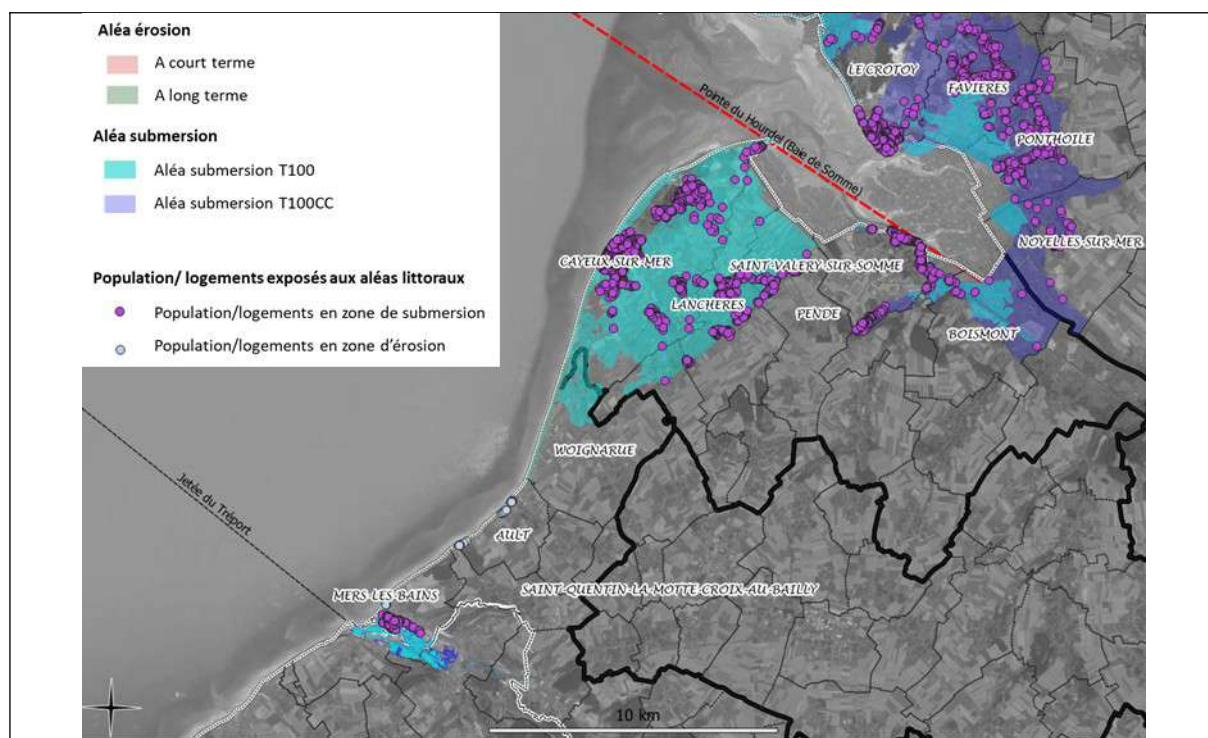
Plusieurs cartographies ont été produites pour illustrer les enjeux exposés aux aléas littoraux :

- Les cartographies des enjeux exposés aux aléas (résultat du croisement enjeux-aléas)
- Les cartographies des secteurs à enjeux (secteur avec des enjeux en zone d'aléa)
- Une cartographie de synthèse des enjeux exposés à l'échelle des cellules hydro-sédimentaires

#### Cartographies des enjeux exposés aux aléas

Ces cartes présentent les résultats des traitements cartographiques du croisement des enjeux (couches cartographiques de points, de polygones ou de polygones) et les aléas littoraux (polygone de submersion ou d'érosion).

Pour faciliter la lecture de la carte, seuls les enjeux situés en zone d'érosion à long terme et/ou de submersion à T100CC (qui sont les zones maximales d'aléas) sont représentés.



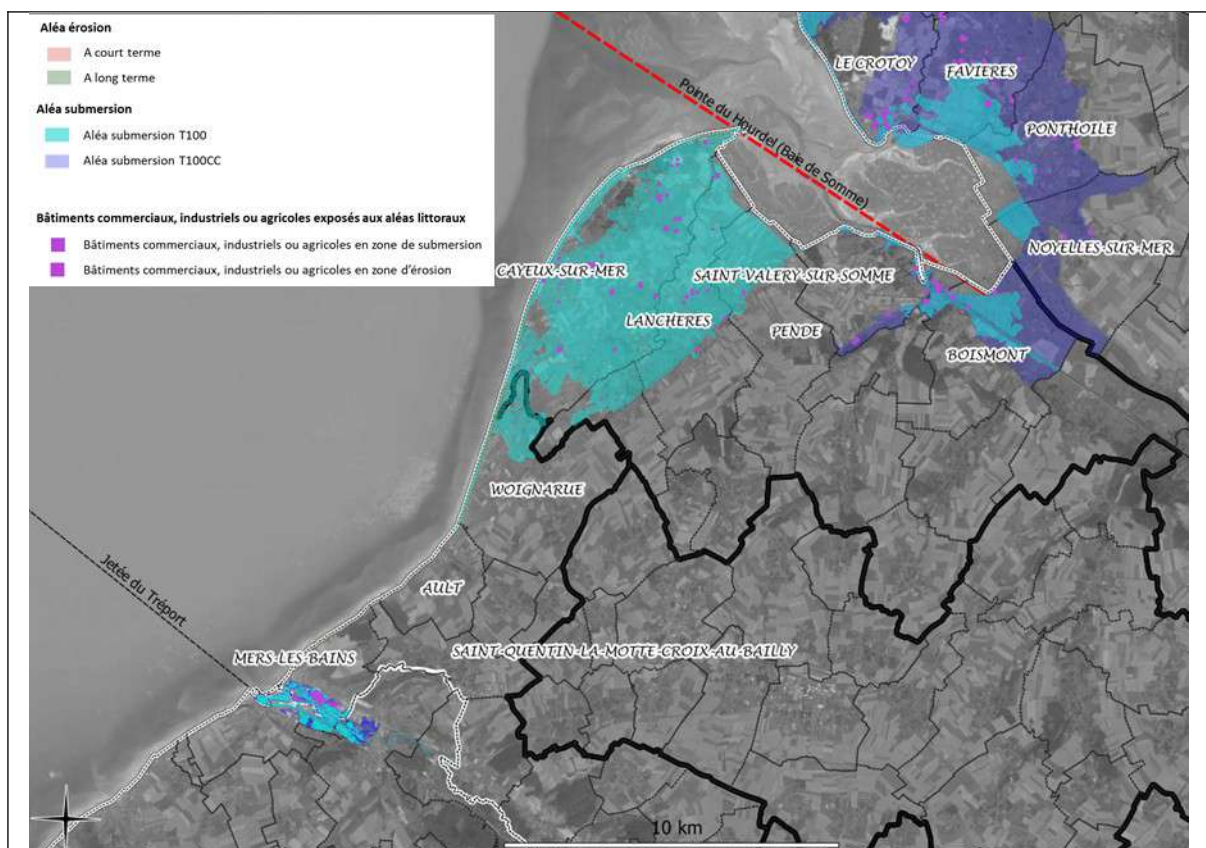


Figure 121: Exemples de cartographies des enjeux exposés aux aléas littoraux

### Cartographies des secteurs à enjeux

Ces cartes de synthèse présentent les enjeux impactés par les aléas littoraux à l'échelle chaque cellule hydrosédimentaire. Pour permettre de bien identifier les différents secteurs à enjeux, plusieurs focus sont proposés pour chaque cellule illustrant les enjeux impactés dans une ou plusieurs zones d'aléas.

Les enjeux impactés sont représentés par des pictogrammes. Pour faciliter la compréhension de la carte, chaque catégorie d'enjeu impactée par les aléas littoraux est représentée par un pictogramme.

*Par exemple : un pictogramme représentant la population peut correspondre à 1 habitant dans un secteur ou 1000 habitants dans un autre secteur.*

Seuls les enjeux situés en zone d'érosion à long terme et/ou de submersion à T100CC (qui sont les zones maximales d'aléas) sont représentés.

Cas particulier : les enjeux environnementaux font l'objet d'une représentation avec 3 pictogrammes différents. Cette représentation permet de traduire la présence dans les zones d'aléas d'espaces naturels protégés par des outils de protection/préservation de niveau différent.

#### ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX

Niveau de protection en fonction des différents outils



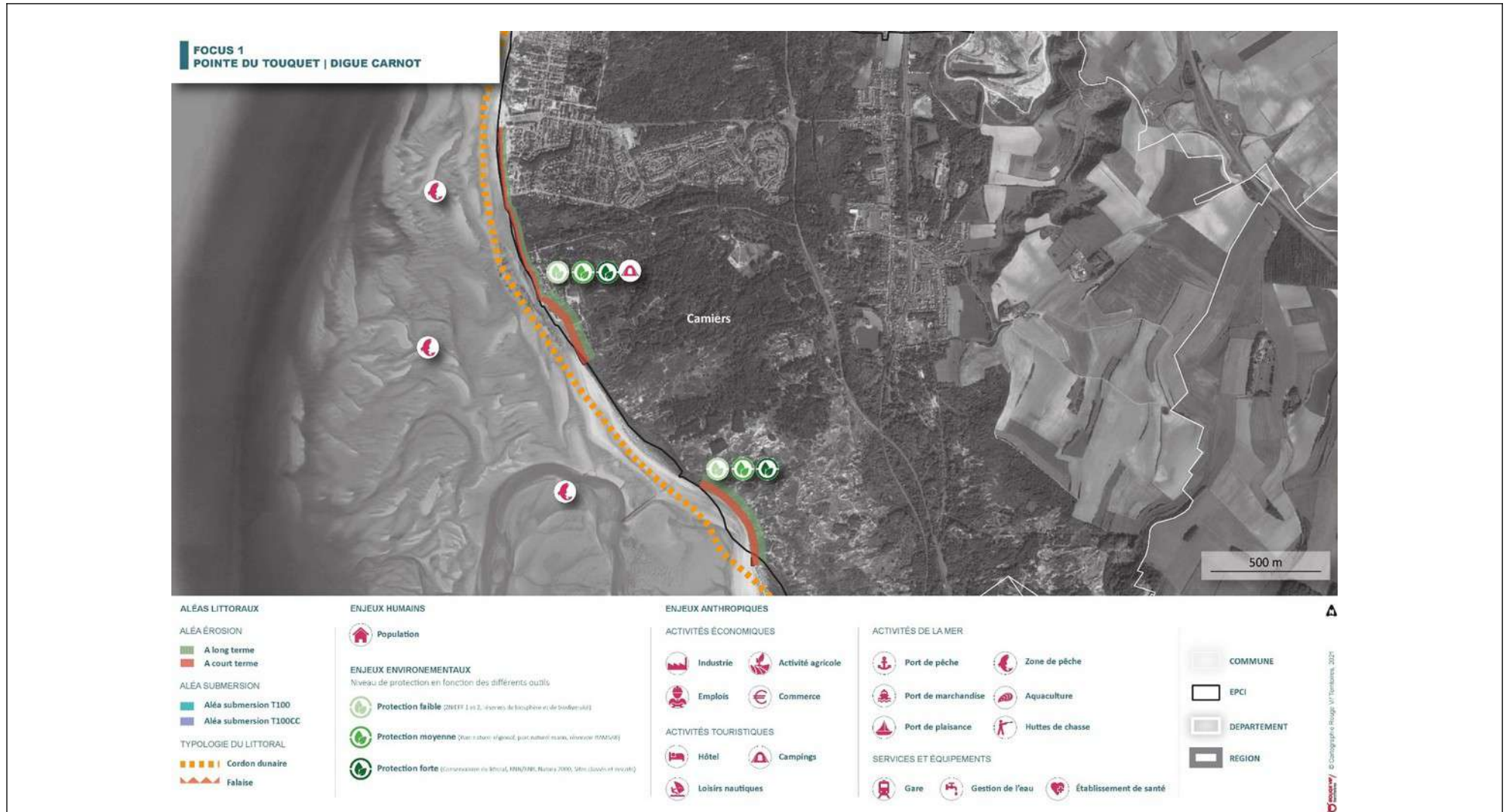
**Protection faible** (ZNIEFF 1 et 2, réserves de biosphère et de biodiversité)



**Protection moyenne** (Parc naturel régional, parc naturel marin, réservoir RAMSAR)



**Protection forte** (Conservatoire du littoral, RNN/RNR, Natura 2000, Sites classés et inscrits)



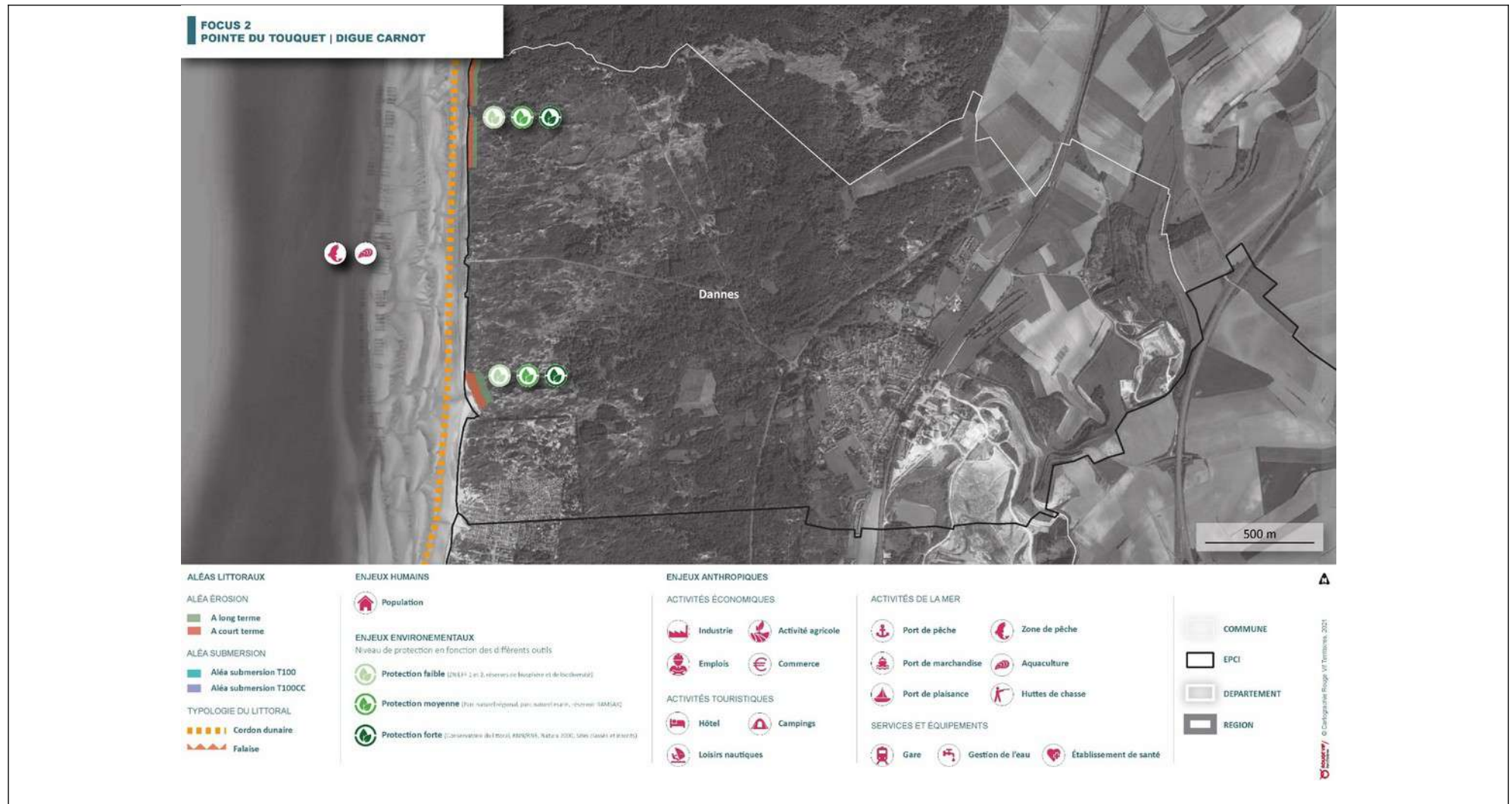


Figure 122: Exemples de cartographies des secteurs à enjeu





### Cartographie de synthèse des enjeux exposés à l'échelle des cellules hydro-sédimentaires

Ces cartes de synthèse présentent l'ensemble des enjeux impactés par les aléas littoraux à l'échelle la cellule hydrosédimentaire.

Les enjeux impactés à l'échelle de la cellule et par type d'aléa sont représentés par des pictogrammes. Pour faciliter la compréhension de la carte, chaque catégorie d'enjeu impactée par les aléas littoraux est représentée par un pictogramme.

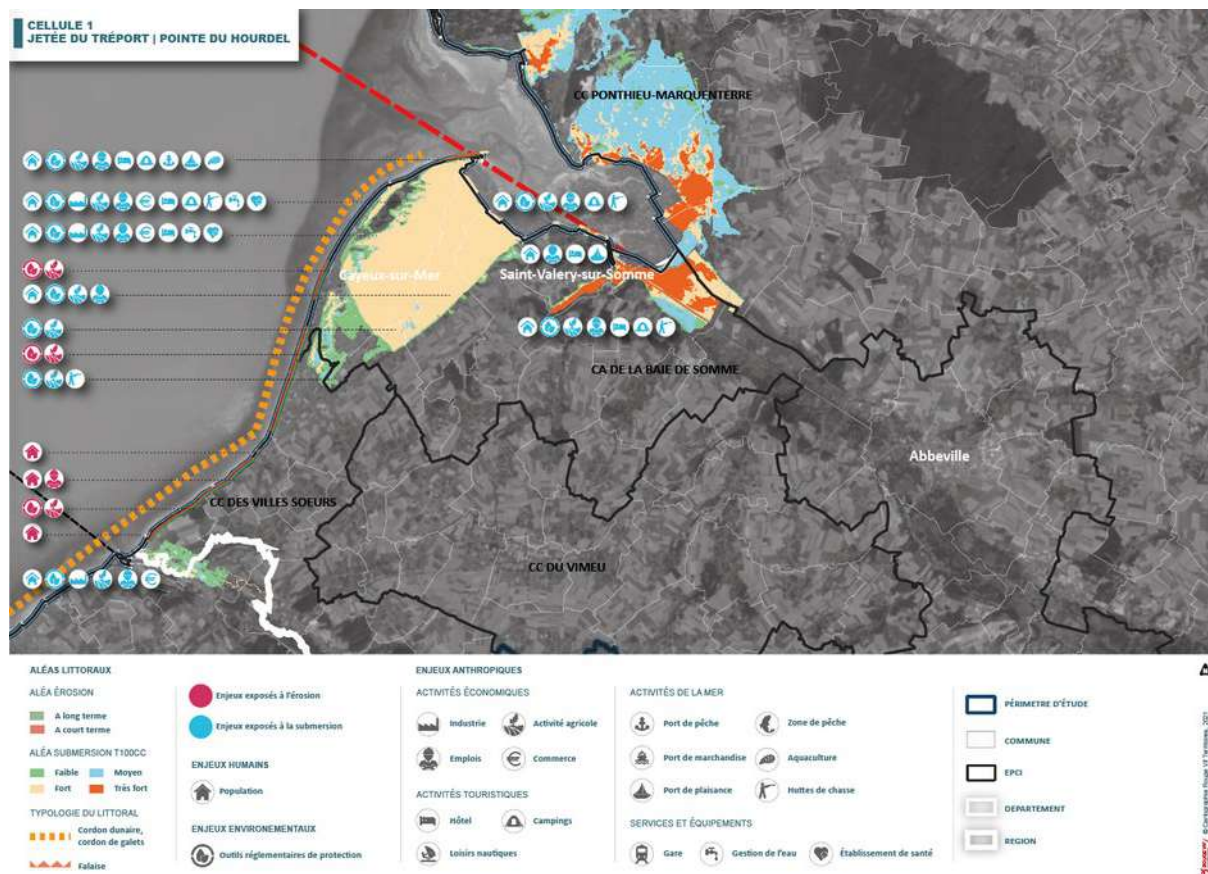


Figure 123: Exemple de carte de synthèse des enjeux exposés

## 10. Limites de la méthode et perspectives

La méthodologie présentée dans cette étude présente un certain nombre de limites qui sont discutées dans ce chapitre.

### 10.1.1. Aléa submersion

- Données utilisées

La donnée prise en compte dans la détermination de l'aléa submersion correspond aux modélisations réalisées dans le cadre des PPRL.

La méthodologie appliquée dans les PPRL est relativement cadrée et permet d'avoir une donnée relativement homogène sur l'ensemble de la zone d'étude.

Il faut toutefois noter qu'une première limite apparaît liée au découpage des classes d'aléas. Les classes retenues sont en effet variables selon les différents rédacteurs des PPRL.

Il est également important de noter que **l'ensemble des communes n'est pas couvert par des PPRL**. Afin de pallier cela, le choix a été fait de systématiquement présenter les zones situées sous le niveau marin centennal sur les cartes d'aléa submersion. Cette vision « statique » de la submersion est clairement maximaliste, avec des zones situées très loin des points d'entrée de la submersion qui peuvent être considérées comme « submersible ». Cela permet toutefois de compléter la donnée PPRL et d'attirer l'attention sur des zones exposées à la submersion, mais non couvertes par les PPRL.

- Prise en compte des ouvrages

Sur les cartes, seuls les ouvrages de protection contre les submersions actuellement classés ont été représentés. Ces ouvrages sont issus de la base de données SIOUX fournies par la DREAL. **Toutefois, avec la prise de compétence GEMAPI, les futures gestionnaires d'ouvrages sont en cours de déclarations de leurs systèmes d'endiguements. Les ouvrages retenus ne sont donc pas encore connus. Il est donc possible qu'une partie des cartes présentant les ouvrages classés deviennent rapidement obsolète.**

Il n'est par ailleurs pas fait mention de l'état des ouvrages. Une donnée concernant cet état est disponible sur une partie du territoire. Toutefois, cette donnée est issue de reconnaissances réalisées en 2013. Faute de donnée plus récente, le choix a été fait de ne pas présenter cette donnée. En effet, **l'état des ouvrages exposés aux aléas marins peut évoluer très rapidement**. Une donnée qui a déjà 8 ans peut être obsolète. Seuls les ouvrages qui seront classés au sein de systèmes d'endiguement auront une obligation légale d'entretien et de surveillance pour assurer leur niveau de protection.

### 10.1.2. Aléa érosion

L'étude de l'aléa érosion avait pour objectif de fournir une donnée homogène sur l'ensemble du territoire. L'extension importante de la zone d'étude et la volonté d'avoir une vision globale des aléas et non une vision très fine, « à la parcelle » ont nécessité de mettre au point une méthode permettant de traiter de grandes zones de façon optimisée.

La méthode proposée suscite un certain nombre de discussions :

- La première concerne la variable 1 concernant l'impact des ouvrages. En effet, afin de connaître l'impact des ouvrages, les seules données utilisées sont celles des traits de côtes existantes. En certains endroits, les traits de côtes digitalisés sont peu nombreux. De plus, en cas de mise en place d'un ouvrage, la première date postérieure à la mise en place peut être relativement éloignée. L'impact de l'ouvrage peut donc être amoindri dû à l'absence de cette

donnée. Dans le cas suivant (Figure 124), les différents épis ont été identifiés par le CEREMA en 1982, or les linéaires de trait de côte dont nous disposons sur ce secteur ne nous permettent pas de dire précisément quels impacts ces épis ont eus sur le trait de côte de ce secteur. Les dates postérieures (l'identification des épis) dont nous disposons sont celles de 1994, 2004 et 2007. En l'occurrence, afin d'estimer l'impact de ces épis, l'évolution entre 1994 et 2007 est observée. L'impact des épis sur la période 1982-1994 est inconnu. Avoir un plus grand nombre de linéaire de trait de côte nous permettrait d'avoir une donnée plus fine. Il était convenu pour cette étude de ne pas créer de données, pour cette raison, aucun trait de côte ancien n'a été digitalisé.

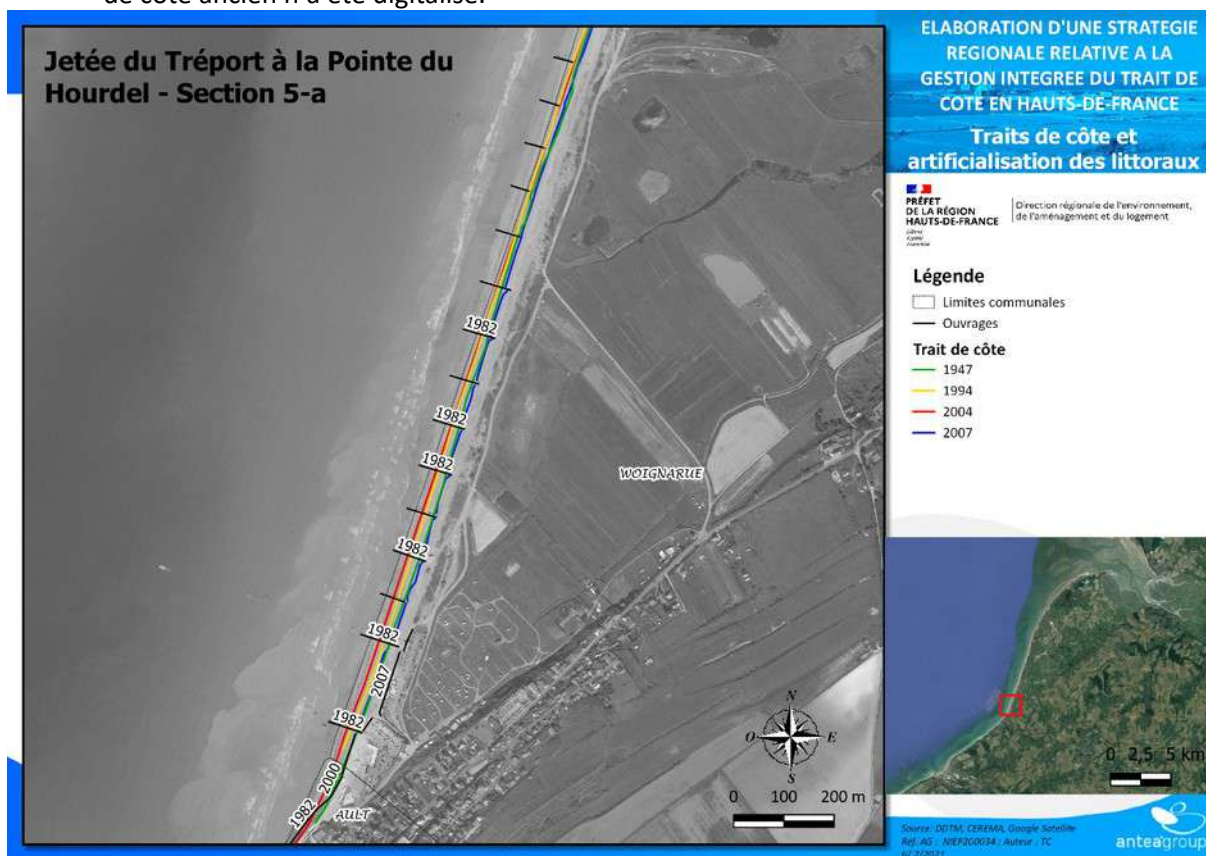


Figure 124 : Epis de Cayeux-sur-Mer, traits de côtes et ouvrages, quels impacts ?

- Une seconde limite peut également reposer sur l'absence de recensement ou sur des erreurs dans les ouvrages retenus. **Certains ouvrages récents ne sont pas recensés** par le CEREMA. L'impact de l'ouvrage ne peut donc pas être estimé. En effet, le dernier trait de côte à disposition est celui de 2009 (CRAPOULET A.), et le recensement du CEREMA se termine en 2013. Les ouvrages mis en place en 2014 ne sont donc pas visibles sur la donnée du CEREMA et leurs impacts ne peuvent pas être estimés avec la donnée trait de côte (mais peut l'être dans une certaine mesure avec la donnée LiDAR).

Un bon exemple est encore une fois situé face à la commune de Cayeux-sur-Mer, sur la zone des Bas-Champs (Figure 125). En l'occurrence, une batterie d'épi a été mise en place en 2014. Sur la figure ci-dessous, elle n'apparaît pas comme étant recensée, mais les différents épis sont bien visibles. Sur ce linéaire-ci, la variable 1 repose sur l'évolution du trait de côte sur la période 1947-2007. L'évolution du littoral sur cette section peut ne plus correspondre aux dynamiques actuelles, les ouvrages mis en place les modifiant.

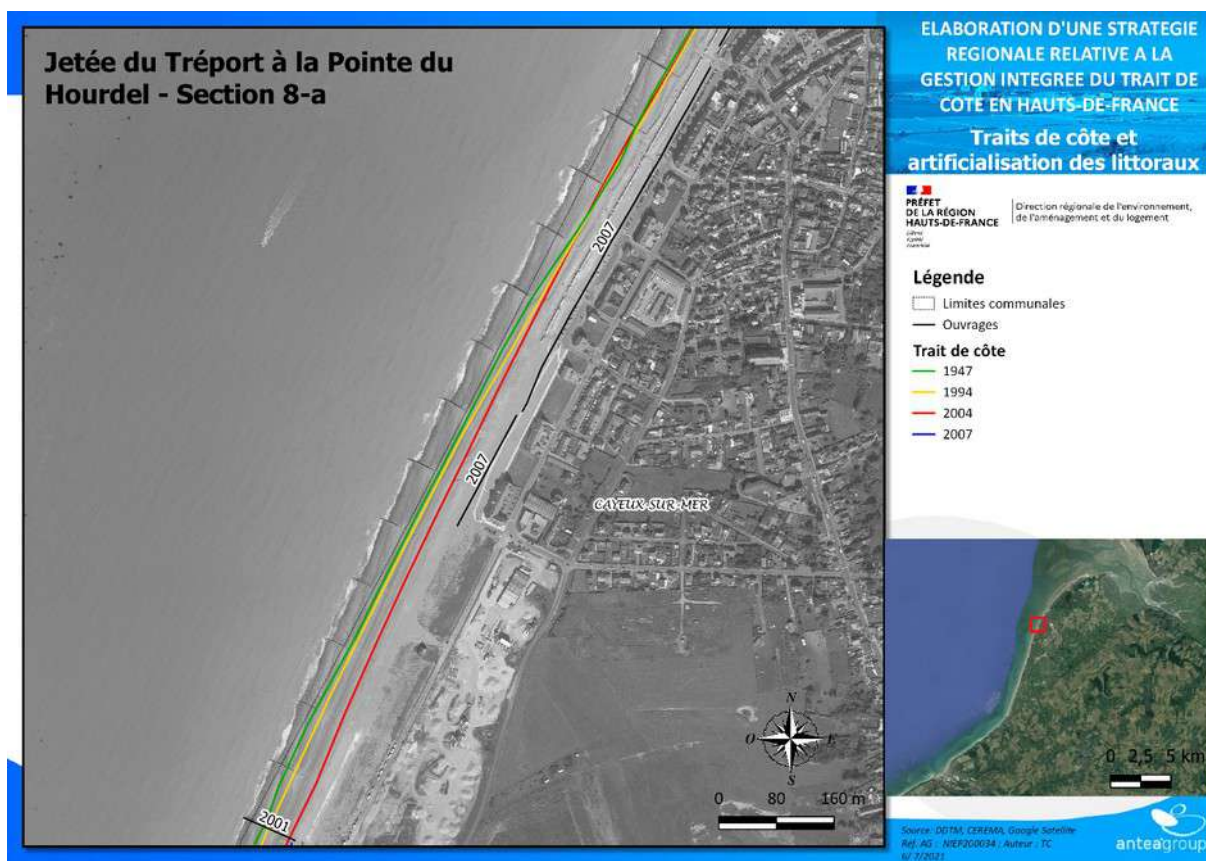


Figure 125 : Mise à jour de manques dans le recensement de la donnée ouvrages du CEREMA lié à la mise en place postérieure des épis

- Une des autres limites de n'utiliser que la donnée du CEREMA est **l'absence de recensement des méthodes plus douces** du génie biologique. En effet, seules les méthodes dures sont recensées. Le rôle des ganivelles, des fascines et autres méthodes ne peut être estimé. Ces différents aménagements étant non pérennes, ils disparaissent rapidement et ne sont pas visibles sur les photographies aériennes. Par ailleurs, il n'y a pas de base de données recensant ces différentes méthodes douces, leurs lieux d'utilisation, les périodes de mise en place, le gestionnaire et les différents entretiens effectués sur ces derniers. Dans le cas de cumul de méthodes dures et douces, cela permettrait d'avoir une donnée plus précise.
- Une autre limite qui a déjà été abordée antérieurement, est le fait de ne posséder que les linéaires des plus hautes marées astronomiques (PHMA). Le fait de ne disposer que de cela ne nous donne pas la position réelle du trait de côte de ces différentes années. En effet, les PHMA sont souvent situées plus bas sur l'estran que le trait de côte réel. Les différents processus côtiers peuvent fausser le linéaire PHMA (BRETEL P., 2013 ; CRAPOULET A., 2015), la marge d'erreur dépendant de chaque situation. Les traits de côtes issus de la rupture de pente, du relevé par DGPS, et ceux issus des orthophotographies ont des résultats similaires (Figure 126). Avoir une donnée réelle de trait de côte nous permettrait de montrer la croissance (ou l'érosion) des zones dunaires.

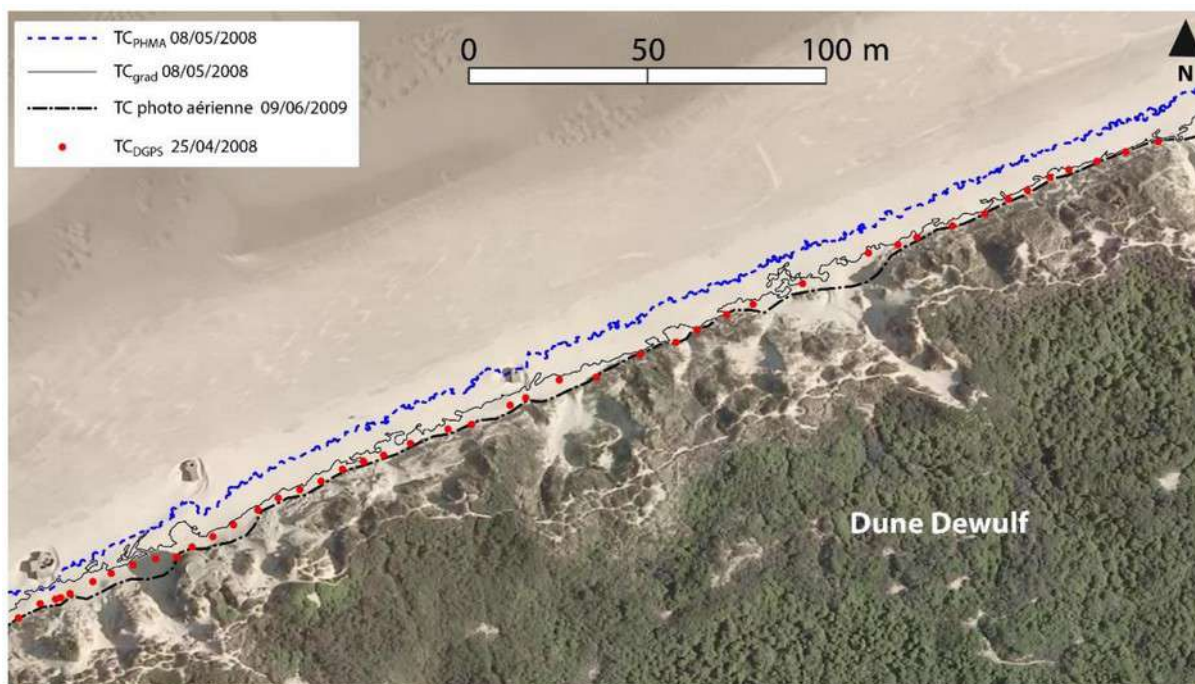


Figure 126 : Résultat des différentes interprétations du trait de côte (CRAPOULET A., 2015)

Avoir un linéaire de trait de côte permettrait d'éviter des erreurs d'interprétation et d'avoir un système de notation se basant sur une donnée similaire à celle de la première variable, tout en prenant en compte l'évolution globale de la plage.



Figure 127 : Exemple de niveau de PHMA très avancé par rapport à la limite de végétation (source : LiDAR et orthophotographie 2020)

Dans les zones marquées par une forte érosion avec une falaise dunaire importante, le trait de côte PHMA ne semble pas entaché d'une trop grande erreur (Figure 128). Cependant, dans les zones en accrétion ou avec une faible pente en pied de dune, l'erreur est plus importante (Figure 127). Etant donné que l'attention est portée sur les zones en érosion, ces erreurs revêtent une importance moindre.

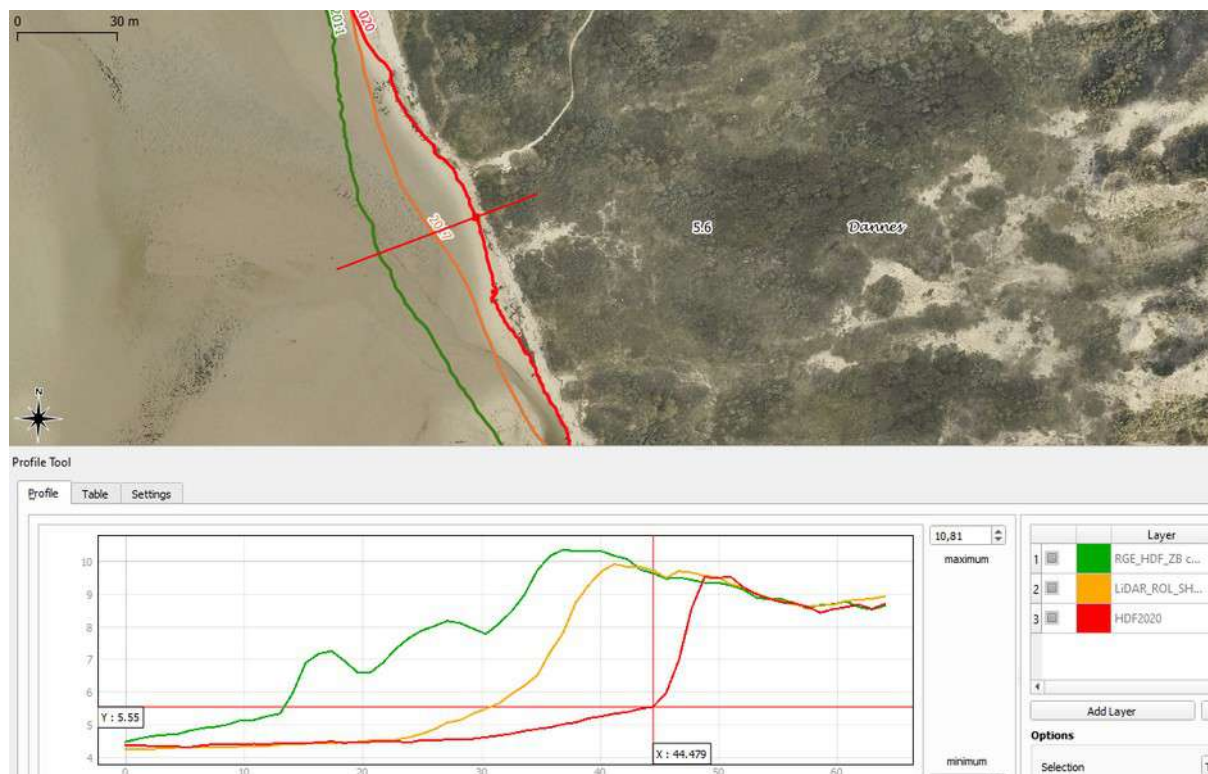


Figure 128 : Exemple de niveau de PHMA correspondant à la limite de végétation et à la rupture de pente (source LiDAR et orthophotographie 2020)

- Une autre limite que l'on peut également citer est le poids égal de ces deux variables. En effet dans un contexte de réchauffement climatique et de crise sédimentaire croissante, **des lieux qui étaient auparavant en accrétion peuvent maintenant connaître des phénomènes d'érosion**. Le transit sédimentaire étant en de nombreux endroits stoppé par des aménagements (jetée de Dieppe, jetée de Penly, jetée du Tréport...). La variable 1 peut avoir un poids qui apparaît comme étant moins fort que la variable 2 qui étant plus récente prend en compte ces différents obstacles. Néanmoins, celle-ci se base sur un laps de temps court (dix ans), le recul est insuffisant afin de se baser uniquement sur cette dernière. Une pondération différente de la notation des variables permettrait d'envisager que certains secteurs qui sont en stabilité (dû à la somme des deux variables) puissent être à surveiller du fait de leur tendance récente à la forte érosion. **La méthodologie se veut homogène sur l'ensemble du territoire, la pondération des deux variables est de 1 :1.**
- Une des dernières limites concerne la donnée RGE. De fait, celle-ci n'est pas homogène. Les relevés s'échelonnent d'une part sur une période assez large en fonction du secteur (entre 2008 et 2011). D'autre part, certains vols sont effectués en période hivernale (entre décembre et février), moment où la plage peut connaître un démaigrissement important. Outre cette donnée qui peut manquer de régularité, la donnée SHOM/ROL (2017 et 2020) est issue de vol effectué en automne, période où la plage connaît généralement l'engraissement le plus important. **Les suivis réguliers prévus par le ROL permettront de pallier cette limite.**

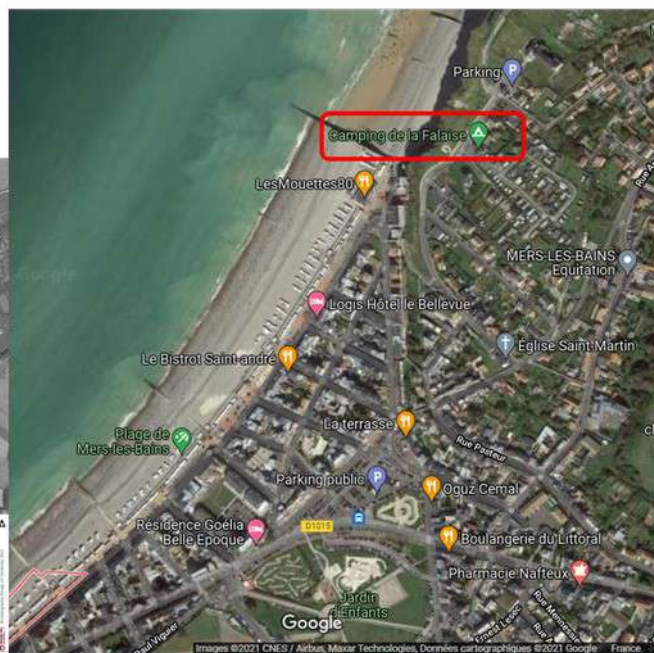
### 10.1.3. Enjeux

- **Données utilisées pour caractériser les enjeux**

Les données retenues sont celles utilisés et disponibles au moment de la réalisation du diagnostic. Des évolutions récentes ou de nouveaux équipements peuvent ne pas avoir été pris en compte dans cet exercice.

#### Exemple des données touristiques

Absence du camping de Mers-les-Bains dans les données mobilisées



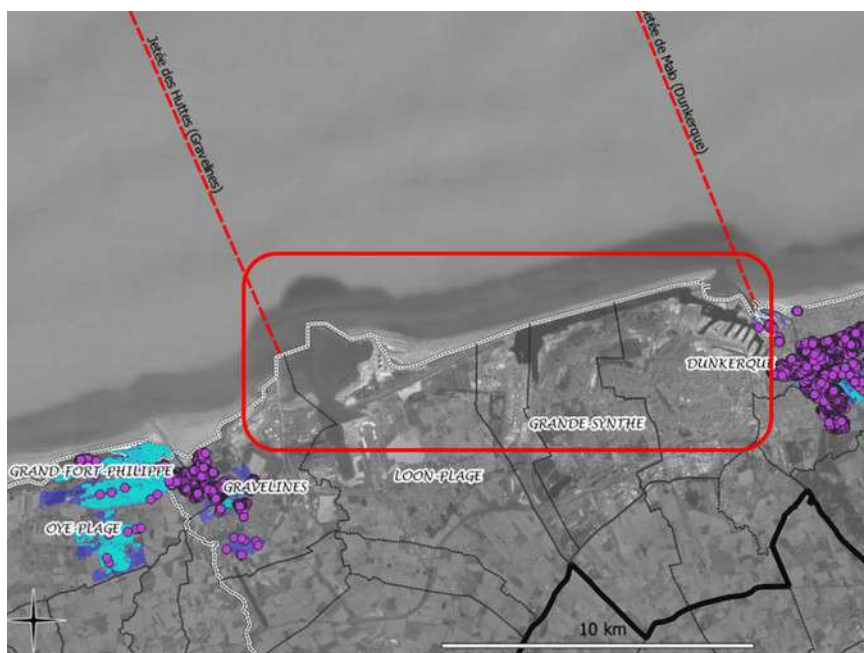
- **Données utilisées pour les enjeux environnementaux et les espaces naturels**

Lors des COTECH et COPIL, de nombreuses attentes ont été exprimées sur l'analyse des espaces naturels comme socle d'une gestion durable du littoral. Les données pour cartographier les espaces naturels et les services écosystémiques rendus à l'échelle régionale n'ont pas pu être mobilisées. Plusieurs données existent (atlas POLMAR réalisés par le conservatoire naturel de Bailleul, plans de gestion des espaces protégés, ...) mais les limites liées notamment à leur périmètre d'utilisation ne permettent pas la mise en place d'une approche écosystémique homogène à l'échelle régionale.

- **Données aléas**

La donnée prise en compte dans la détermination de l'aléa submersion correspond aux modélisations réalisées dans le cadre des PPRL.





- Absence de modélisation PPRL sur ce secteur
- Difficulté à approcher les enjeux potentiellement impactés par la submersion dans un secteur d'enjeux majeurs

### Résultats croisement aléas-enjeux

L'analyse des enjeux en zones d'aléa permet de disposer d'un ordre de grandeur des impacts des aléas littoraux. Ces estimations réalisées à partir des données disponibles au moment du diagnostic peuvent donc être différentes des résultats d'autres travaux réalisés à l'échelle locale.

## Bibliographie

- ANTHONY, E.J. et DOBRONIAK, C., 1998.** *Erosion and recycling of estuary-mouth dunes in a macrotidal wave-dominated estuary, the Authie estuary.* In : International conference on coastal environments: sedimentology, geomorphology and geoarcheology. London, 1998
- ANTHONY E.J., VANHEE S., RUZ M.H., 2006.** Short-term beach-dune sand budgets on the North Sea coast of France : sand supply from shoreface to dunes and the role of wind and fetch, *Geomorphology*, 81, 316-329p.
- AERNOUITS, D. et HÉQUETTE, A., 2006.** *L'évolution du rivage et des petits-fonds en Baie de Wissant pendant le XXe siècle (Pas-de-Calais, France).* In : Géomorphologie : relief, processus, environnement. 2006. n° 1, p. 49-64.
- ARTELIA, 2015,** Programme d'Actions de Prévention contre les Inondations (PAPI) Bresle-Somme-Authie – Annexe B, partie 1 : Elaboration des modélisations pour l'évaluation du risque inondation, 142p.
- ARTELIA, 2021,** *Etude stratégique de gestion durable des sites dunaires et d'identification des actions de la compétence « défense contre la mer » de la GEMAPI.*
- AUBRY, A., 2010.** *Processus hydrodynamiques et bilans morphosédimentaires d'un littoral macrotidal en accréation : étude in situ et par télédétection spatiale.* Application aux Hemmes de Marck, Nord Pas de Calais, France. Université du Littoral Côte d'Opale.
- AUGRIS, C., CLABAUT, P. et VICAIRE, O., 1990.** *Le domaine marin du Nord-Pas-de-Calais - Nature, morphologie et mobilité des fonds.* Ifremer.
- BATTIAU-QUENEY, Y., 2014.** *Les plages de la Côte d'Opale : maîtriser la nature ou agir avec elle ?* In : Dynamiques environnementales. 2014. Vol. 30,p. 89-104.
- BATTIAU-QUENEY Y., BILLET J.F., CHAVEROT S., LANOY-RATEL P., 2003.** Recent shoreline mobility and geomorphologic evolution of macrotidal sandy beaches in the north of France, *Marine Geology* 194, 31-45p.
- BATTIAU-QUENEY, Y. et THÉROUANNE, V., 2010.** *Les grands traits géomorphologiques de l'estuaire en liaison avec la dynamique marine.* In : Atelier de terrain en baie de Canche - EUCC. 2010.
- BERTIER, J., 2009.** *Analyse multi-échelle de la morphodynamique d'une plage artificielle, avant-port ouest de Dunkerque (nord de la France).* Thèse de doctorat de Géographie physique. Université du Littoral Côte d'Opale.
- BRETEL P., FROIDEVAL L., MONFORT O., LEVOY F., 2013,** *Coastline identification from Airborne LiDAR surveys: a multi criteria approach. Coastal Dynamic's 13 - Arcachon France.*
- BRIQUET, A., 1930.** *Le littoral du nord de la France*
- CARTIER A., 2011,** *Evaluation des flux sédimentaires sur le littoral du Nord-Pas de Calais : vers une meilleure compréhension de la morphodynamique des places macrotidales,* Thèse de doctorat, 408p.
- CARTIER, A., 2014.** *La Baie de Wissant, du Cap Gris-Nez au Cap Blanc-Nez : où, comment et pourquoi le sable disparaît-il ? État des connaissances.* Géodunes. Les Amis de Wissant.
- CARTIER A., HEQUETTE A. 2013.** The Influence of intertidal bar-trough morphology on sediment transport on Macrotidal beaches, northern France, *Z. Geomorphology*, 57 (3), 325-347p.
- CARTIER, A., TRESKA, A., FORAIN, N., COTONNEC, G., HEQUETTE, A., 2020,** *Valorisation du sable issu des dragages d'entretien pour la lutte contre l'érosion côtière : le cas du Port de Dunkerque,* XVI Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Le Havre
- CCI Hauts-de-France, 2018,** Les chiffres clés des Hauts-de-France 2018
- Collectif d'Expertise Régionale sur le Climat et son Evolution (CERCLE), 2015,** *Le changement climatique : des impacts régionaux aux pistes d'adaptation du Nord-Pas de Calais à l'Eurorégion,*

**CEREMA, 2017**, *Dynamiques et évolution du littoral – Synthèse des connaissances de la frontière belge à la pointe du Hourdel – Actualisation du Catalogue sédimentologique des côtes françaises*, Ministère de la transition écologique et solidaire, 498p.

**CEREMA, 2017**, *Spécification technique de la cartographie des ouvrages et aménagements littoraux (métropole et outre-mer)*.

**CETE Nord Picardie, 2011**. *Les risques naturels sur le littoral Picard. Base de données bibliographiques et synthèse*, Mai 2011, 50p.

**CHAVEROT S., HEQUETTE A., COHEN O., 2008**. Changes in storminess and shoreline evolution along the northern coast of France during the second half of the 20th century, *Zeitschrift für Geomorphologie Suppl.* 52, 3, 1-20p.

**CLABAUT, P., CHAMLEY, H. et MARTEEL, H., 2000**. *Evolution récente des dunes littorales à l'est de Dunkerque (Nord de la France)*. In : Géomorphologie : relief, processus, environnement. 2000. Vol. 6, n° 2, p. 125-136.

**CRAPOULET A., 2015**, *Evolution du trait de côte, bilans sédimentaires et évaluation des zones à risques sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais : analyse multi-échelles par LIDAR aéroporté*, Thèse de doctorat, 356p.

**DDTM59, 2017**. *Réunion du comité de concertation du plan de prévention des risques littoraux de dunkerque à Bray-Dunes*, support de réunion, 35p.

**DDTM62, 2018** Etude de vulnérabilité au risque de submersion marine sur les six communes les plus impactées en termes d'aléas ou en termes d'enjeux

**DHI, 2011**. *Études hydrauliques et de conception d'un dispositif de confortement de la Digue des Alliés- Partie 1 : Étude de caractérisation de la zone d'étude - Fonctionnement hydrosédimentaire*. Rapport Provisoire. Grand Port Maritime de Dunkerque

**DELOFFRE, J., 2005**. *La sédimentation fine sur les vasières intertidales en estuaires macrotidaux : processus, quantification et modélisation de l'échelle semi-diurne à l'échelle annuelle*. Université de Rouen.

**DHI, 2013**, Détermination de l'aléa submersion marine intégrant les conséquences du changement climatique en région Nord-Pas-de-Calais – Etape 2-2 : modélisation des aléas littoraux actuels t à l'horizon 2100, 388p.

**DIRECTION INTER-REGIONALE DE LA MER - MANCHE EST - MER DU NORD, 2017**, Document stratégique de façade

**DOBRONIAK, C., 2000**. *Géomorphologie, hydrodynamique et écologie d'un estuaire tempéré macrotidal : l'Authie, Manche orientale, France*. Université du Littoral Côte d'Opale

**EGIS PORTS et UNIVERSITÉ DU LITTORAL DE LA CÔTE D'OPALE -ULCO-, 2014**. EP132576J : *Diagnostic et élaboration d'orientations pour une gestion durable du trait de côte sur le littoral de la Côte d'Opale - Phase 1 - État des connaissances*. Syndicat Mixte de la Côte d'Opale

**FERRIÈRE, J., CHAMLEY, H. et TRENTESAUX, A., 1993**. *Le domaine marin du Nord Pas-de-Calais : nature des fonds et dynamique sédimentaire*. In : Annales de la Société Géologique du Nord. 1993. p. 23-30

**GEOS/DHI, 2009**., *Détermination de l'aléa submersion marine intégrant les conséquences du changement climatique en région Nord-Pas-de-Calais – Etape 1 : compréhension du fonctionnement du littoral*, 144p.

**GEOS/DHI, 2013**., *Détermination de l'aléa submersion marine intégrant les conséquences du changement climatique en région Nord-Pas-de-Calais – Etape 2-3-1 : Caractérisation des aléas submersions marines et érosion côtière intégrant les scénarios climatiques de référence – Evolution du trait de côte*, 75p.

**GOSSET, J., 2015**. *Suivi temporel de la ligne de rivage dans l'estuaire de la Canche depuis 1935*. Mémoire de Master 1 en Sciences de la Terre, de l'Univers et de l'Environnement. Université de Lille

**HEMDANE, Y., 2006.** *Dynamique hydro-sédimentaire de l'avant-côte de type macrotidal : le cas du littoral du Nord-Pas-de-Calais, France.* Thèse de géographie physique. Université du Littoral Côte d'Opale.

**HEQUETTE Arnaud,** « Les risques naturels littoraux dans le Nord-Pas-de-Calais, France », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Hors-série 8 | octobre 2010, mis en ligne le 21 octobre 2010. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/10173> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.10173>

**HEQUETTE A., AERNOUITS D., 2010.** The influence of nearshore sand bank dynamics on shoreline evolution in a macrotidal coastal environment, Calais, Northern France, *Continental Shelf Research* 30, 1349-1361p.

**HÉQUETTE, A., ANTHONY, E.J., RUZ, M.H., MASPATAUD, A., AERNOUITS, D. et HEMDANE, Y., 2013.** *The influence of nearshore sand banks on coastal hydrodynamics and sediment transport, northern coast of France.* In : *Proceedings Coastal Dynamics 2013.* Arcachon, 28 juin 2013. p. 801-810.

**HÉQUETTE, A., RUZ, M.H., MARIN, D. et SIPKA, V., 2012.** *Rapport annuel 2011 : Suivi morpho-sédimentaire de l'UG4.* Laboratoire LOG, ULCO

**INSEE, L'économie maritime, portée par les activités complémentaires des trois ports régionaux Atouts et défis des Hauts-de-France"**

**LABORATOIRE NATIONAL D'HYDRAULIQUE -LNH-, 1986.** *Catalogue sédimentologique des côtes françaises - Côtes de la Mer du Nord et de la Manche. Partie A : de la frontière belge à la baie de Somme.* Secrétariat d'État auprès du Ministre de l'urbanisme, du logement et des transports, chargé de la mer. Direction des ports et de la navigation maritimes. Service technique central. Ed. Eyrolles. Direction des études et recherches d'Électricité de France, p. 11-133

**LATAPY, A., 2020.** *Influence des modifications morphologiques de l'avant côte sur l'hydrodynamisme et l'évolution du littoral des Hauts-de-France depuis le XIXe siècle,* Thèse de Doctorat, Université Littoral Côte d'Opale, 218p

**LATTEUX, B., 2001.** *Synthèse sur les problématiques et enjeux d'évolution du littoral haut-normand et picard - 1. Milieu Physique.* DDE de la Somme

**LE COADOU, M., 2011.** *Historique de la gestion du trait de côte dans l'estuaire de la Canche, et gestion du risque d'inondation dans la basse vallée de la Canche.* Mémoire de Master 2. Université Rennes 2 - Syndicat mixte pour le SAGE de la Canche.

**MASPATAUD, A., HÉQUETTE, A. et RUZ, M.H., 2013.** *Contrasting hydrodynamic and morphologic response to fair-weather and storm conditions along southern north sea coast (East of Dunkirk, France).* In : *Coastal Dynamics 2013.* Arcachon, 28 juin 2013. p. 1147-1158

**MASSELINK G., ANTHONY E.J. 2001.** Location and height of intertidal bars on macrotidal ridge and runnel beaches, *Earth Surf. Process. Landf.*, 26 (7), 759-774p.

**MICHEL, C., 2016.** *Morphodynamique et transferts sédimentaires au sein d'une baie mégatidale en comblement (Baie de Somme, Manche Est). Stratégie multi-échelles spatio-temporelles.* Thèse de Doctorat. Université de Rouen

**PASKOFF. R., 1993.** *Côtes en danger.* Pratique de la Géographie, Edition Masson, 250 p.

**PICOUET, M., 1993.** *L'estuaire de la Canche : un modèle picard rajeuni.* In : Norois. 1993. Vol. 159, n° 1, p. 443-456. doi: 10.3406/noroi.1993.6498.

**RÉSEAU D'OBSERVATION DU LITTORAL NORMAND ET PICARD", 2011,** Les effets mesurés du changement climatique sur le littoral des régions normandes et picarde

**RÉSEAU D'OBSERVATION DU LITTORAL NORMAND ET PICARD", 2012,** Étude diachronique de l'étalement urbain sur le littoral Normand-Picard

**RUZ M.H., MEUR-FEREC C., 2004,** Influence of high water levels on aeolian sand transport : upper beach/dune evolution on a macrotidal coast, Wissant Bay, northern France, *Geomorphology*, 60, Issues 1-2, 73-87p.

- SPODAR, A., 2018**, *Analyse morphodynamique des rechargements sédimentaires sur le littoral du nord de la France : le cas de la façade portuaire de Dunkerque*, Thèse de Doctorat, Université Littoral Côte d'Opale, 369p
- SIPKA V., 1998**, *Les plages macrotidales du Nord-Pas de Calais : Contexte environnemental et caractérisation morphodynamique*, Thèse de doctorat, 224p.
- SYNDICAT MIXTE DE LA CÔTE D'OPALE -SMCO-, 2003**. *Plan Littoral d'Actions pour la Gestion de l'Érosion sur le littoral de la Côte d'Opale*
- SOGREAH, 2009**. *Diagnostic, étude d'opportunité et de faisabilité pour l'aménagement de la rive Nord de l'Authie*. Rapport provisoire. Communauté de Communes Opale Sud.
- THÉROUANNE, V., 2001**. *Vulnérabilité de la dépression inter-dunaire de la réserve naturelle de la baie de Canche (Pas-de-Calais)*. Rapport pour la DIREN Nord-Pas-de-Calais. Travaux du lab. de Géomorphologie et Gestion des Milieux Naturels, USTL.
- THÉROUANNE, V., BATTIAU-QUENEY, Y., MOREL, V. et BILLET, J.F., 2002**. *Expertise géomorphologique sur le site de la Pointe du Touquet (Pas-de-Calais)*. Rapport de recherche pour la DIREN Nord - Pas-de-Calais. Laboratoire de géomorphologie et gestion des Milieux Naturels, USTL.
- TRESCA A., 2013**, *Contrôle souple de la dynamique éolienne le long d'un littoral artificialisé et propositions de gestion : le cas de la façade maritime du Grand Port Maritime de Dunkerque*, Thèse de doctorat, 398p.
- ULCO, 2010**, *Les risques naturels littoraux dans le Nord-Pas-de-Calais*
- VANHEE S., ANTHONY E.J., RUZ M.H., 2002**, Aeolian sand transport on a ridge and runnel beach : preliminary results from Leffrinchoucke beach, northern France, *Journal of Coastal Research*, Special Issue 36, 732-740p.
- VASSEUR, B. et HÉQUETTE, A., 2000**. *Storm surges and erosion of coastal dunes between 1957 and 1988 near Dunkerque (France), southwestern North Sea*. Geological Society. Londres : K. Pye & J.R.L. Allen. Coastal and Estuarine Environments.
- ZEMMOUR, A., 2019**, *Etude de l'évolution des littoraux dunaires de la Côte d'Opale à différentes échelles de temps : analyse de leur capacité de régénération post-tempête*, Thèse de Doctorat, Université Littoral Côte d'Opale, 284p
- ZEMMOUR, A., RUZ, M.-H., 2021**, *Impacts des séries de tempêtes de 2013 à 2018 sur l'évolution récente des cordons dunaires du nord de la France*, Géomorphologie, 27

## Table des figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (source : Open Street Map).....	7
Figure 2 : Numérotation des cellules retenues dans l'étude.....	9
Figure 3 : Illustration du transport longshore (source : <a href="https://www.crd.bc.ca">https://www.crd.bc.ca</a> ).....	10
Figure 4 : Rose des houles au large de Boulogne-sur-mer (source : Candhis).....	10
Figure 5 : Rose des houles au large de Dunkerque (source : A. ZEMMOUR, 2019).....	10
Figure 6 : Diversité régionale des roses des houles issues des simulations ANEMOC (source : CEREMA, 2017).....	11
Figure 7 : Champ de vitesse des courants de marée au flot (source : data.shom.fr).....	12
Figure 8 : Champ de vitesse des courants de marée au jusant (source : data.shom.fr).....	12
Figure 9 : Vitesse maximum des courants de marée (source : data.shom.fr).....	13
Figure 10 : Evolution relative de l'intensité des courants de marée et des vagues du large vers la côte (source : Augris et al., 1990).....	13
Figure 11 : Havre de Saint-Germain en 2005, 2007 et 2015 (source : Google Earth).....	14
Figure 12 : Evolution du trait de côte suite à l'installation d'une jetée (la flèche blanche en mer représente la dérive littorale ; source : P.-A. Bourque sur <a href="http://www2.ggl.ulaval.ca">http://www2.ggl.ulaval.ca</a> ).....	15
Figure 13 : Exemple d'interactions entre des épis, les vagues (lignes de crête en bleu), les courants (lignes vertes) et le trait de côte (source : P. Zbigniew sur <a href="http://www.coastalwiki.org">www.coastalwiki.org</a> ).....	15
Figure 14 : Effets d'un mur de protection sur une plage (les flèches symbolisent la dérive littorale et le trait en pointillé la position du trait de côte avant installation de l'ouvrage ; Paskoff, 1993).....	16
Figure 15 : Photographie du système barres-bâches à Zuydcoote, à l'Est de Dunkerque (source : CRAPOULET A.).....	19
Figure 16 : Définitions des compartiments plage (estran moyen/haut de plage et dune) suivis dans la thèse de CRAPOULET A.....	20
Figure 17 : Relation entre volume de haut de plage et bilan sédimentaire des cordons dunaires sur le littoral du Nord-Pas de Calais (source : CRAPOULET A.).....	21
Figure 18 : Schématisation du recul d'une dune au cours d'une tempête (source : BRGM).....	23
Figure 19 : Principe simplifié de l'analyse diachronique avec MobiTC pour les falaises de Mers-les-Bains (source : CETE Nord Picardie).....	26
Figure 20 : Franchissements de la protection au droit de Mers-les-Bains/Le Tréport en novembre 1977 (source : PPRL Vallée de la Bresle).....	29
Figure 21 : Composantes d'une hauteur de mer à la côte.....	29
Figure 22 : Set-up au pied des protections contre la mer (source : DHI).....	30
Figure 23 : Schématisation du run-up dans la zone de swash.....	30
Figure 24 : Répartition des PPRL en fonction de l'auteur.....	31
Figure 25 : Maillage du modèle MIKE 21 SW de propagation des houles (source : DHI).....	34
Figure 26 : Type de marégramme utilisé en entrée des modèles de submersion terrestre : ici celui de l'évènement de février 1953 à Dunkerque (source : DHI).....	35
Figure 27 : Paramètres de l'étude morphologique retenus par DHI pour déterminer les risques de rupture (source : DHI).....	36
Figure 28 : Relation entre les paramètres L et le rapport L/H pour les sites présentant une rupture dans la protection (source : DHI).....	37
Figure 29 : Arbre de décision utilisé par DHI dans son étude de 2013 pour déterminer les sites exposés à l'aléa submersion marine (source : DHI).....	38
Figure 30 : Périmètre du PAPI Bresle-Somme-Authie (source : Artélia).....	39
Figure 31 : Schéma des événements hydroclimatiques étudiés dans le PAPI BSA (source : Artélia)....	42

Figure 32 : Synthèse des IEM pour les protections linéaires de la baie d'Authie dans leur état actuel pris en compte dans le modèle de submersion (source : Artélia).....	43
Figure 33 : Synthèse des IEM pour les protections linéaires de la baie de Somme dans leur état actuel pris en compte dans le modèle de submersion (source : Artélia).....	44
Figure 34 : Synthèse des données topo/bathy utilisées pour le MNTU établi dans le PAPI BSA (source : Artélia).....	46
Figure 35 : Maillage du modèle TELEMAC 2D maritime et de submersion intégré dans le PAPI BSA (source : Artélia).....	48
Figure 36 : Ouvrages linéaires externalisés (en rouge) dans la modélisation de submersion du PAPI BSA et schéma de l'externalisation de ces ouvrages (source : Artélia).....	49
Figure 37 : Ouvrages ponctuels (en vert) pris en compte dans le modèle de submersion du PAPI BSA et schéma de prise en compte de ces ouvrages (source : Artélia).....	50
Figure 38 : Périmètre d'étude des enjeux.....	56
Figure 39 : Unités morphosédimentaires et types de côte.....	58
Figure 40 : Cartographie de l'occupation des sols.....	60
Figure 41: Cartographie des espaces naturels remarquables.....	62
Figure 42 : Densité de population.....	64
Figure 43: Taux d'évolution de la population.....	65
Figure 44 : Evolution de la population et des ménages (source : INSEE, RGP 2016).....	65
Figure 45 : Croissance moyenne annuelle de la population (source : INSEE, RGP 2016).....	66
Figure 46 : Population saisonnière (Source : CEREMA 2018 à partir des données de l'INSEE).....	67
Figure 47 : Vieillesse de la population.....	68
Figure 48 : Indicateurs socio-démographiques.....	70
Figure 49: Indice de précarité.....	71
Figure 50 : Parc de logements (source : INSEE, 2016).....	72
Figure 51 : Evolution des logements et des ménages (source : INSEE, RGP 2016).....	72
Figure 52: Vacance des logements.....	73
Figure 53 : Résidences secondaires.....	74
Figure 54: Motorisation des ménages.....	76
Figure 55 : Accessibilité des services et équipements.....	77
Figure 56 : Emplois en 2016.....	78
Figure 57: Les entreprises majeures par chiffre d'affaires.....	79
Figure 58: Cartographie de la part des emplois industriels par commune.....	80
Figure 59 : Nombre et part des emplois industriels par département.....	81
Figure 60 : Part des emplois industriels dans les EPCI.....	81
Figure 61 : L'emploi dans la construction navale et nautique dans les EPCI littoraux et rétro-littoraux des Hauts-de-France en 2018.....	82
Figure 62: Cartographie des emplois dans l'industrie navale et nautique.....	83
Figure 63 : Approche du développement du littoral dans le SRADDET Hauts-de-France (source : SRADDET Hauts-de-France).....	84
Figure 64: Cartographie de l'activité des maritimes des ports des Hauts-de-France.....	85
Figure 65: Cartographie de synthèse des activités liées à la mer.....	89
Figure 66 : Évolution de la surface agricole utile.....	90
Figure 67 : Evolution de la surface agricole utile par EPCI.....	91
Figure 68: Cartographie des emplois touristiques.....	93
Figure 69: Capacité d'accueil touristique.....	94
Figure 70 : Capacité d'accueil touristique par EPCI - Source : INSEE, BPE 2019.....	95
Figure 71 : Cartographie des lits touristiques.....	96
Figure 72 : Cartographie des résidences secondaires.....	96
Figure 73 : Localisation de la sous-cellule 10.....	99

Figure 74 : Vue générale du littoral de Mers-les-Bains avec les ouvrages du port du Tréport en premier plan (source : Ricardo BOIMARE, 2006).....	100
Figure 75 : Synthèse du fonctionnement du littoral au droit de Mers-les-Bains (source : diagnostic du PAPI BSA, 2015, annexe N).....	101
Figure 76 : Vue d'ensemble de la côte à falaises de Mers-les-Bains à Ault (source : copyright©Jean-Michel Goulard).....	102
Figure 77 : Synthèse du fonctionnement du littoral de Mers-les-Bains à Aults-Onival (source : diagnostic du PAPI BSA, juin 2015).....	103
Figure 78 : Transit sédimentaire et extraction au droit des Bas-champs (source : SOGREAH, 1994).	104
Figure 79 : Synthèse du fonctionnement du littoral d'Ault Onival au Hourdel (source : diagnostic du PAPI BSA, juin 2015).....	106
Figure 80 : Photographies aériennes de la transition en aval de la Mollière en décembre 2007, juin 2015 et mars 2017 (source : GoogleEarth).....	108
Figure 81 : Erosion et attaque de la route blanche en septembre 2019 (source : SMBS-GLP).....	109
Figure 82 : Localisation de la cellule 11.....	110
Figure 83 : Synthèse du fonctionnement du littoral au droit de la Baie de Somme (source : diagnostic du PAPI BSA, juin 2015).....	111
Figure 84 : Synthèse du fonctionnement du littoral dans le secteur du Marquenterre (source : diagnostic du PAPI BSA, juin 2015).....	113
Figure 85 : Localisation de la cellule 12.....	114
Figure 86 : Schéma du fonctionnement hydrosédimentaire de la baie d'Authie entre 1989 et 2009 (Sogreah, 2009).....	115
Figure 87 : Bilan hydrosédimentaire de Berck-sur-Mer (In. Etude sur la gestion du trait de côte, des cordons dunaires et de l'optimisation du stock sédimentaire sur le littoral de Berck à Camiers - Artelia, 2017).....	116
Figure 88 : Migration des zones de déferlement (« surf zone »), de jet de rive (« swash zone ») et de déflation éolienne pendant un cycle de marée, sur l'espace intertidal des plages de la côte d'Opale ; exemple de Merlimont (Battiau-Queney, 2014).....	117
Figure 89 : Localisation de la cellule 13.....	118
Figure 90 : Morphologie et fonctionnement de l'estuaire de la Canche (Le Coadou, 2011).....	120
Figure 91 : Localisation de la cellule 14.....	122
Figure 92 : Processus sédimentaires affectant le domaine côtier de Boulogne-sur-Mer à Wissant (Augris et al., 1990).....	123
Figure 93 : Localisation de la cellule 15.....	124
Figure 94 : Moyens utilisés afin de limiter l'érosion de la dune d'Aval (Wissant, 62) ; ganivelles, fascines, pieux bois (brise-lames) (source : Drone Littoral, 2017).....	125
Figure 95 : Localisation de la baie de Wissant (les isobathes correspondent à la bathymétrie de 2002 ; 1 : dunes littorales ; 2 : falaises dunaires ; 3 : brèche ou siffle-vent ; 4 : cordon de galets ; 5 : falaises rocheuses ; 6 : affleurement de tourbe ; 7 : blockhaus ; 8 : digue ; 9 : zone urbanisée ; 10 : localisation approximative du banc à la Ligne (Aernouts, Héquette, 2006 ; d'après Cohen et al., 1999a et Sipka, 1998 ; fond de carte de la partie terrestre modifié d'après Messence, Cohen, 2002).....	126
Figure 96 : Localisation de la cellule 16.....	127
Figure 97 : Localisation de la cellule 17.....	129
Figure 98 : Schéma de synthèse de la circulation hydrodynamique et sédimentaire au sein de la cellule de la plage du Clipon, allant de la jetée des Huttes (jetée ouest) à la jetée de Malo (jetée est) (Bertier, 2009).....	130
Figure 99 : Synthèse du transport sédimentaire en m <sup>3</sup> /an (DHI, 2015).....	131
Figure 100 : Rechargement de la plage de digue du Braek fin octobre 2019 (Cartier et al., 2020).....	132
Figure 101 : Localisation de la cellule 18.....	133



Figure 102 : Taux annuels de transport net moyennés sur la période 1979-2001 au droit de la digue des Alliés. La limite d'action des houles, illustrée par la ligne en pointillés rouge, se situe environ à -2 m CM sur ce secteur. De part et d'autre de cette isobathe, une distinction est faite entre le transport induit par les courants de marée (flèches bleues) et le transit littoral généré par les courants de houle (flèches rouges) (DHI, 2011 ; Grunnet et al., 2012 ; Cartier et al., 2014).....	134
Figure 103 : Présentation de la cellule hydrosédimentaire de la jetée de Malo à la frontière belge ; 1) digue de mer de Dunkerque-Malo-les-Bains, 2) batterie militaire de Zuydcoote, 3) dune Dewulf, 4) cordon dunaire devant l'hôpital maritime de Zuydcoote, 5) front de mer ouvragé de Zuydcoote, 6) digue de mer de Bray-Dunes et 7) plage sauvage des dunes du Perroquet (d'après Maspataud, 2011).....	134
Figure 104 : Bilans volumétriques moyens de 2007 à 2010 sur les dunes de Dewulf et du Perroquet, au centre et à l'est de la cellule hydrosédimentaire (Maspataud, 2011).....	136
Figure 105 : Evolution morphologique de 1985 à 2011 (source : SODRACO).....	136
Figure 106 : Bilan général de l'évolution du secteur rechargé entre mars 2014 et mai 2017 (Spodar, 2018).....	137
Figure 107 : Evolution morphologique et volumétrique par année sur l'ensemble du site et par secteurs (Spodar, 2018).....	138
Figure 108 : Photos avant/après les rechargements de 2011 et 2014 devant la digue des Alliés à Dunkerque (source : DHI).....	139
Figure 109 : Représentation du rechargement massif effectué en 2014 (source : SODRACO).....	139
Figure 110 : Limite du zonage PPRL sur la baie d'Authie.....	141
Figure 111 : Découpage de la donnée PPRL à Ambleteuse à proximité de l'estuaire de la Slack.....	142
Figure 112 : Caractérisation de l'aléa en fonction du PPRL.....	143
Figure 113 : Largeur du zonage en fonction de la tendance d'évolution.....	144
Figure 114 : Logigramme récapitulant la construction de la première variable en fonction du trait de côte.....	146
Figure 115 : Systèmes dunaires étudiés par Artelia dans son étude de 2021.....	148
Figure 116 : Répartition des niveaux en m NGF en fonction des cellules hydro-sédimentaires.....	149
Figure 117 : Logigramme récapitulant le positionnement du linéaire de tendance.....	151
Figure 118 : Erosion sur le secteur du Bois des Sapins et nécessité d'utiliser l'isoligne PHMA 2020 comme base au linéaire de tendance.....	152
Figure 119 : Principe méthodologique pour l'analyse de l'exposition des enjeux aux aléas littoraux	154
Figure 120 : Méthode de calcul des enjeux en zone d'aléas.....	159
Figure 121: Exemples de cartographies des enjeux exposés aux aléas littoraux.....	161
Figure 122: Exemples de cartographies des secteurs à enjeux.....	163
Figure 123: Exemple de carte de synthèse des enjeux exposés.....	164
Figure 124 : Epis de Cayeux-sur-Mer, traits de côtes et ouvrages, quels impacts ?.....	166
Figure 125 : Mise à jour de manques dans le recensement de la donnée ouvrages du CEREMA lié à la mise en place postérieure des épis.....	167
Figure 126 : Résultat des différentes interprétations du trait de côte (CRAPOULET A., 2015).....	168
Figure 127 : Exemple de niveau de PHMA très avancé par rapport à la limite de végétation (source : LiDAR et orthophotographie 2020).....	168
Figure 128 : Exemple de niveau de PHMA correspondant à la limite de végétation et à la rupture de pente (source LiDAR et orthophotographie 2020).....	169

## Table des tableaux

Tableau 1 : Identification et étendue des cellules hydro-sédimentaires de la jetée du Tréport à la Belgique.....	8
Tableau 2 : Estimation du recul sur un secteur de côte meuble fixé par des ouvrages de protection selon le guide PPRL de 2014.....	23
Tableau 3 : Méthodologie utilisée par DHI pour l'érosion (source : DHI).....	27
Tableau 4 : Catégorisation de l'aléa submersion dans le guide PPRL de 2014 par le croisement de la dynamique de submersion et des hauteurs d'eau.....	31
Tableau 5 : Catégorisation de l'aléa submersion dans l'étude DHI de 2013 par le croisement des vitesses et des hauteurs d'eau.....	32
Tableau 6 : Catégorisation de l'aléa submersion par les hauteurs d'eau.....	33
Tableau 7 : Détails de la méthode de l'étude DHI de 2013.....	33
Tableau 8 : Précisions sur les modèles maritimes de DHI de 2013.....	34
Tableau 9 : Précisions sur les modèles de submersion terrestre de DHI de 2013.....	35
Tableau 10 : Périmètres hydrauliques de l'étude d'Artélia de 2015 de l'estuaire de la Bresle à la baie de Somme.....	40
Tableau 11 : Synthèse des scénarios hydroclimatiques étudiés dans le PAPI BSA (source : Artelia)....	41
Tableau 12 : Détails de la méthode de l'étude Artélia de 2015.....	42
Tableau 13 : Précisions sur les modèles maritimes d'Artélia de 2015.....	45
Tableau 14 : Précisions sur le modèle de submersion terrestre d'Artélia de 2015.....	47
Tableau 15 : Éléments sur les modèles fluviaux de l'étude Artélia de 2015.....	51



## Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés. Par ailleurs, la prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Antea Group conseille son Client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son Client.

Le Client autorise Antea Group à le nommer pour une référence scientifique ou commerciale. A défaut, Antea Group s'entendra avec le Client pour définir les modalités de l'usage commercial ou scientifique de la référence.

Ce rapport devient la propriété du Client après paiement intégral de la mission, son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le Client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Pour rappel, les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : <https://www.anteagroup.fr/fr/annexes>

**Mesure**

Air ambiant  
 Air intérieur  
 Exposition professionnelle  
 Eau  
 Pollution atmosphérique

**Environnement**

Due diligence et conseil stratégique  
 Sites et sols pollués  
 Travaux de dépollution  
 Dossiers réglementaires

**Nos services**

**Eau**

Traitement des effluents industriels  
 Eau ressource et géothermies  
 Eau potable et assainissement  
 Aménagement hydraulique

**Data**

Systèmes d'information et data management  
 Solutions pour le data management environnemental

**Infrastructures**

Déconstruction et désamiantage  
 Géotechnique  
 Fondations et terrassements  
 Ouvrages et structures  
 Risques naturels  
 Déchets et valorisation

**Aménagement du territoire**

Projet urbain  
 L'environnement au cœur des stratégies et projets  
 Stratégie territoriale et planification

Références :



SITES ET SOLS POLLUÉS  
 NF X 31-620-3  
 ÉTUDES, ASSISTANCE  
 ET CONTRÔLE

SITES ET SOLS POLLUÉS  
 NF X 31-620-3  
 INGÉNIERIE DES TRAVAUX  
 DE RÉHABILITATION