

Atelier EUCC-France

Côtes du Calvados

14 - 15 octobre 2021

Crédit photo : © Larrey – Conservatoire du Littoral

Le littoral du Bessin, côtes du Calvados

*État des connaissances et stratégies
de gestion*



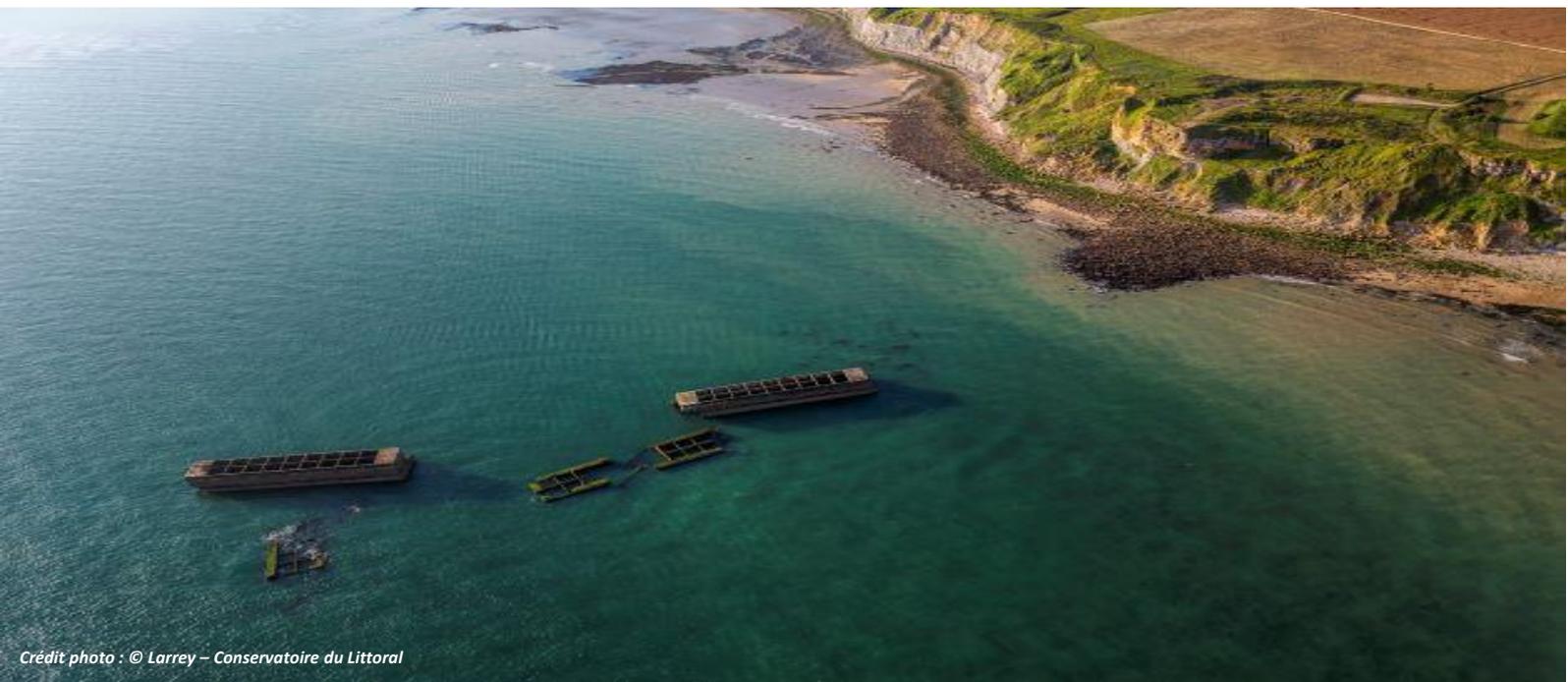
RÉGION
NORMANDIE



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Coordination : Jean-Philippe Lacoste, Conservatoire du Littoral



Crédit photo : © Larrey – Conservatoire du Littoral

AVANT-PROPOS

L'association EUCC-France est née en 1994, sous l'impulsion d'un grand scientifique, *Roland Paskoff*, entouré d'une petite équipe de passionnés du littoral, appuyée par le Conservatoire du littoral, l'ONF et l'EID-Méditerranée. J'ai eu la chance et l'honneur de faire partie dès le départ de cette aventure. Nous voulions que les résultats de la recherche scientifique soient mieux pris en compte par les élus, gestionnaires et tous ces « acteurs » qui, par leurs décisions et interventions, engagent (sans toujours s'en rendre compte) l'avenir du littoral pour 20, 30, voire 50 ans ou plus. Les débuts ont été modestes et tâtonnants. Le déclic est venu en 2000 de la proposition de *Jean Favennec*, chef de la mission littorale de l'ONF, d'organiser, à Merlimont (Pas-de-Calais), un atelier de terrain réunissant, aux côtés des scientifiques, tous les acteurs impliqués dans la gestion du littoral. L'idée fondamentale était de tout centrer sur la connaissance et l'observation directe du terrain. C'est sur le terrain qu'on prend conscience de la complexité des réalités qu'il faut intégrer dans les choix stratégiques de gestion.

En octobre 2021, nous organisons en Normandie le 34^{ème} atelier de terrain d'EUCC-France. Avec le recul, on peut dire sans hésiter que cette « aventure » nous a tous beaucoup appris, que ce soit en métropole ou en outre-mer. Commencé modestement il y a 21 ans, le travail de diffusion de la connaissance scientifique, d'échanges d'expériences, de dialogue avec les élus et autres acteurs, et de sensibilisation des usagers, praticiens et gestionnaires à la fragilité de l'environnement littoral s'est peu à peu renforcé, consolidé. Il a été considérablement aidé par nos partenaires institutionnels et associatifs. En plus des 3 organismes fondateurs cités plus haut, *le BRGM, le CEREMA et l'ANEL* nous accompagnent régulièrement dans l'organisation et la mise en œuvre de nos ateliers. In fine, le soutien du Ministère de la transition écologique nous apporte la reconnaissance de l'État dans notre travail en faveur des politiques publiques de gestion raisonnée et de développement durable du littoral.

Cet atelier sur les côtes du Calvados a été organisé par une équipe réunissant des représentants du Conservatoire du littoral, du ROL (Réseau d'Observation du Littoral de Normandie et des Hauts de France) et de l'Université de Caen. Je tiens à remercier plus particulièrement *Jean-Philippe Lacoste* (délégué de rivages Normandie du Conservatoire du littoral), *Julie Pagny* (directrice du GIP /ROL), *Olivier Maquaire* (Professeur et vice-Président de l'Université de Caen) qui vont nous accompagner sur le terrain en nous faisant profiter de leurs connaissances et de leur expérience de « littoralistes ». Mes chaleureux remerciements vont aussi à *Bénédicte Courteille* (CDL) qui n'a pas ménagé ses efforts pour assurer l'organisation logistique de l'atelier.

Une petite note personnelle pour terminer : ce 34^{ème} atelier sera le dernier sous ma présidence d'EUCC-France. Ce fut une grande satisfaction de contribuer aux activités de cette association. Je l'ai fait avec passion et enthousiasme et je suis sûre que mes successeurs sauront continuer, consolider et même amplifier le travail accompli.

Yvonne Battiau-Queney
Présidente d'EUCC-France
Professeur émérite de l'Université de Lille
Laboratoire CNRS d'Océanologie et Géosciences

Sommaire

INTRODUCTION.....	3
ORGANISATION DES JOURNÉES	5
<i>jeudi 14 octobre : visites de terrain</i>	<i>5</i>
<i>vendredi 15 octobre : restitution et synthèse des échanges.....</i>	<i>5</i>
1. PRÉAMBULE	6
2. CONTEXTE GÉNÉRAL.....	7
2.1 Géographie.....	7
2.2 Caractéristiques géologiques.....	7
2.3 Géomorphologie.....	8
3. FACTEURS HYDRODYNAMIQUES.....	13
3.1 Climatologie.....	13
3.2 Facteurs océaniques.....	18
4. DONNÉES SÉDIMENTOLOGIQUES	23
5. ÉVOLUTION GÉNÉRALE DU LITTORAL ET DES FONDS.....	27
6. BILAN SÉDIMENTAIRE GÉNÉRAL.....	32
7. PLANCHES CARTOGRAPHIQUES RÉALISÉES PAR LE RÉSEAU D’OBSERVATION DU LITTORAL.....	33

En Normandie, l'histoire récente de la gestion de la bande côtière et la contribution du Conservatoire du littoral, introduction à l'atelier EUCC-France dans le Calvados

Jean Philippe LACOSTE, Géographe, délégué de rivages Normandie du Conservatoire du littoral, expert auprès du GIEC normand

La façade littorale normande borde, sur un linéaire de plus de 600 km, 4 départements et 198 communes. Elle est située sur les deux grandes unités géologiques du Massif Armoricaïn et du Bassin Parisien. De nombreux fleuves, souvent côtiers, la subdivisent et accroissent sa géodiversité. Ainsi, sa morphologie particulièrement variée, va des plages de sables et de galets aux hautes falaises, en passant par des marais arrière-littoraux, des rochers escarpés, de vastes havres ou estuaires et des criques sauvages. Le littoral normand est en outre caractérisé par des superficies d'estran particulièrement importantes sous le double effet d'une topographie souvent en déclivité douce et de marnages parmi les plus importants au monde.

Ces espaces littoraux sont le support d'usages multiples. Ils ont parfois été poldérisés et endigués, essentiellement au XIXe siècle, et sont toujours plus convoités depuis le milieu du XXe siècle. Les activités économiques, en lien direct avec la mer ou non, s'y sont tout particulièrement développées ces dernières années. Les activités industrialo-portuaires sont majeures en Normandie, notamment avec le grand complexe des ports de la Seine, ainsi que la production d'électricité de 3 centrales nucléaires, 3 parcs éoliens en mer autorisés à ce jour et un quatrième en projet. Les filières économiques de la pêche maritime, des cultures marines et du tourisme balnéaire et patrimonial sont également structurantes pour l'économie régionale.

À la grande variété du littoral normand répond une non moins grande variété d'aléas. Les côtes sableuses reculent, en particulier sur la côte ouest du Cotentin. Les zones basses arrière-littorales de la Manche et du Calvados connaissent des inondations par remontées de nappes phréatiques. Plusieurs secteurs sont exposés à un risque de submersion marine ou de projection de galets. Les tempêtes Xynthia (février 2010) et Eléonore (janvier 2018) ont engendré d'importants désordres sur, ou en arrière, des digues de protection, notamment à Asnelles, à Ver-sur-Mer (Calvados) et Criel-sur-Mer (Seine-Maritime). En Seine-Maritime, les côtes, essentiellement composées de falaises ou de plages de galets, sont sujettes à des phénomènes d'effondrement de falaise, comme à Dieppe, ou de transit de galets mettant certaines plages à nu.

La Normandie développe, de longue date, une contribution importante à la gestion intégrée de la bande côtière. Dès le début des années 1990, l'université de Caen définit une méthode scientifique et initie un suivi précis des évolutions du trait de côte normand.

Le Conservatoire du littoral en Normandie, avec ses 73 sites d'intervention répartis tout au long du littoral normand est « en première ligne » pour observer, expérimenter et proposer aux acteurs du littoral des projets de territoire, et aussi de s'y associer.

En matière de réchauffement climatique, le Conservatoire a réalisé plusieurs études depuis plus d'une décennie, au plan national, avec le concours de son conseil scientifique. En 2004, une estimation des effets physiques de la montée des eaux marines a montré que 20 % de son domaine pourrait être plus ou moins fréquemment submergé entre 2050 et 2100. En 2012, une étude prospective de ces changements, suivie d'un Atelier, a permis de tester différents scénarii appliqués à différents faciès littoraux (zones humides, estuaires...) : résister, subir ou s'adapter.

A partir de 2011, un nouveau cap important est franchi avec l'intégration pionnière du changement climatique dans l'analyse de l'évolution de la bande côtière et de ses conséquences sur les usages. C'est en effet à partir de cette date que l'initiative **LICCO** (Littoraux et changements côtiers) est lancée. Ce programme « Interreg » mobilise la Normandie et les comtés du littoral Sud de l'Angleterre. L'ambition commune consiste à définir et expérimenter, face au changement climatique, de nouveaux modes de gestion de la bande côtière et de ses usages à moyen et long termes, et à en partager les enseignements avec le public. Il s'agit notamment de répondre aux attentes en matière d'outils de gestion, tant à l'échelle locale qu'à l'échelle régionale. En 2011 est donc également créé, par le Conservatoire du littoral et les régions concernées, le **Réseau d'observation du littoral (ROL)** de Normandie et des Hauts-de-France. Il permet depuis près de dix ans de valoriser la connaissance scientifique et technique existante sur le littoral, d'en produire de nouvelles, d'aider les acteurs à comprendre les phénomènes à l'origine des risques côtiers et d'accompagner les deux régions dans la définition d'une politique littorale centrée sur le développement de solutions alternatives au durcissement du trait de côte. Ce réseau s'est transformé en groupement d'intérêt public en 2020 et associe dorénavant l'Etat.

En 2020, la région Normandie prenait l'initiative de créer un « **GIEC normand** » autour de 21 experts sur 9 thématiques, dont les Systèmes côtiers : risques naturels et restauration des écosystèmes.

Cette mobilisation multi-partenariale permet de commencer à aborder concrètement la question de l'adaptation du littoral au changement global à travers des projets opérationnels et démonstratifs.

Initié en 2015, en association avec de nombreux partenaires locaux et nationaux, le **programme national Life Adapto** du Conservatoire du littoral développe et valorise des solutions de protection par la nature, en accord avec le Plan Climat du gouvernement de 2017. En Normandie, le site de l'estuaire de l'Orne (Calvados) fait partie des dix sites sélectionnés au plan national. Les travaux de remise en eau d'un ancien polder vont débuter avant la fin de cette année.

Depuis plusieurs années, le Conservatoire du littoral (délégation Normandie) anime le **projet territorial de la vallée de la Saône** (Seine-Maritime). Il s'agit d'un projet d'adaptation au changement climatique qui ambitionne de réduire la vulnérabilité de la basse vallée aux risques inondations et submersion marine. Ce projet s'organise à travers une recomposition spatiale du site ; il est entré en phase opérationnelle en 2020 à travers un programme de financement européen transfrontalier PACCO (promouvoir les changements côtiers).

L'opération Fréval (Manche) se situe sur un espace naturel à forts enjeux écologiques, même s'il ne présente que peu d'enjeux en termes de population exposée ou de bâti. Il s'inscrit dans un véritable projet de territoire à différentes échelles spatiales et temporelles et pose très concrètement la question du positionnement des collectivités face au changement climatique et à la désartificialisation du trait de côte. Le projet est accepté localement et permettra d'illustrer, par exemple, l'intérêt d'une libre évolution du trait de côte pour lever les résistances de certains intérêts privés riverains sur les orientations de plus long terme de ce territoire. Il est lauréat de l'appel à projets « des solutions fondées sur la nature pour des littoraux résilients » du ministère en charge de l'écologie.

L'atelier EUCC-France de 2021 permettra d'aborder in-situ ces sujets sur trois sites relevant du Conservatoire du littoral en Normandie, dans le département du Calvados (marais de Graye-sur-mer, marais de Ver et Meuvaines, batterie de Longues-sur-mer) et d'avoir un fructueux dialogue entre les différents acteurs du littoral

ORGANISATION DES JOURNÉES

JEUDI 14 OCTOBRE : VISITES DE TERRAIN

8h30 > Départ en bus du parking de l'hôtel des Balladins – Caen Mémorial

9h30 – 12h30 > Visites de terrain

- Secteur de la côte basse avec cordons littoraux
 - Marais de Graye-sur-mer et la Seulles (cheminer depuis la Croix de Lorraine jusqu'au camping)
 - Marais de Ver-sur-Mer et Meuvaines (emprunter le chemin du marais jusqu'à la Gronde puis le haut de plage pour voir les défenses successives aménagées sur l'estran et limites successives des laisses de mer vers le haut de plage)
- Secteur à falaises rocheuses
 - Depuis la vue panoramique du parking « 360 » d'Arromanches vue vers Tracy, les falaises et le Cap Manvieux

12h30 – 14h00 > Déjeuner à l'Hôtel de Normandie d'Arromanches

14h00 – 15h00 > Visites de terrain

Batterie de Longues-sur-mer

17h30 - 18h00 > retour sur Caen

18h00 - 20h00 > Assemblée Générale d'EUCC-France à l'Hôtel Balladins Caen-Memorial – location d'une salle équipée

20h00 > Le diner aura lieu sous forme de buffet offert par EUCC-France, servi par un traiteur à l'hôtel les Balladins

VENDREDI 15 OCTOBRE : RESTITUTION ET SYNTHÈSE DES ÉCHANGES

8h30- 9h45 : Abbaye-aux-Dames, Place Reine Mathilde, Caen.

Café - accueil offert par le Conseil Régional de Normandie

10h-12h : Salle de l'auditorium de l'Abbaye-aux-Dames de Caen, siège du Conseil Régional de Normandie

Synthèse et restitution de l'atelier. Débat ouvert entre tous les participants

12h00 : Fin de l'atelier - Déjeuner libre

1. PRÉAMBULE

Les éléments de ce livret guide sont extraits du ***Fascicule 3 - Dynamiques et évolution du littoral - : du cap d'Antifer au cap de la Hague, édité par le CEREMA*** comprenant :

- une synthèse des connaissances du cap d'Antifer au cap de la Hague ;
- un atlas cartographique ;

Cet ouvrage collectif a été coordonné par : **Olivier MAQUAIRE** (Université de Caen-Normandie) et **Stéphanie DETOURBE**, en collaboration avec **Noémie COUDRAY**, du Cerema Normandie-Centre.

Il est téléchargeable sur le lien suivant : <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/dynamiques-evolution-du-littoral-fascicule-3-du-cap-antifer>

Nota : dans les extraits ci-dessous, nous avons gardé les numéros des chapitres, sections, figures de l'ouvrage de référence.

Le lecteur est invité également à s'appuyer sur les planches cartographiques préparées par le Réseau d'Observation du Littoral présentées au **chapitre 7**.

2. CONTEXTE GÉNÉRAL

2.1 GÉOGRAPHIE

Au sud de la vallée de la Seine, dans le département du Calvados, une succession de plateaux et de dépressions habille son relief. À l'est, le premier plateau apparaît entre Dives-sur-Mer et Honfleur. Il s'agit du plateau du pays d'Auge où les altitudes varient entre 130 et 200 m. Ce plateau est entrecoupé localement par des dépressions où se sont installés des marais, tel le marais littoral de Pennedepie. Le second plateau à l'ouest, de la zone de subsidence du bassin de Carentan à l'amorce de la cuesta¹ du pays d'Auge, se situe entre 10 et 90 m d'altitude (LETORTU, 2013). Au droit des plateaux et des collines se trouvent des falaises. Au niveau des dépressions se développent de larges plaines alluviales de faible altitude dans lesquelles se sont implantées les populations humaines. Les rivages sont ici constitués de longues plages sableuses, surmontées localement par de fins cordons sableux voire des dunes.

Ces longues plages sableuses et cordons sableux se poursuivent de la baie des Veys à Saint-Vaast-la-Hougue alors que le nord et l'est du Cotentin sont constitués par des côtes armées dans des roches très résistantes. Le relief du Nord-Cotentin est formé de hautes collines, tandis qu'au centre, entre Carentan et Lessay, s'étend une zone de dépression et de marais : le Col du Cotentin. Le Mortainais au sud-est forme les contreforts de la Suisse Normande, avec le point culminant de la Manche, Saint-Martin-de-Chaulieu à 368 m. L'altitude moyenne est d'environ 90 mètres.

2.2 CARACTÉRISTIQUES GÉOLOGIQUES

À l'ouest de l'Orne, les terrains géologiques sont représentés par des calcaires bathoniens de la campagne de Caen, recouverts par un épais manteau de lœss quaternaires (FILY, 1980). Sur le littoral, les petites falaises calcaires d'une dizaine de mètres de hauteur sont constituées par les formations calcaires oolithiques et bioclastiques du Bathonien supérieur, séparées par des unités plus marneuses. Au sommet des falaises, ces bancs calcaires apparaissent délités en plaquettes d'épaisseur décimétrique sous l'action répétée des nombreux cycles de gel et dégel apparus au cours du Pléistocène, avant d'être recouverts par les lœss, poussières éoliennes d'âge pléistocène. Dans la falaise de Saint-Aubin-sur-Mer située sur le territoire de la réserve géologique nationale du Cap-Romain, les calcaires bathoniens sont également tronqués par des sables et graviers de silex, grès ou calcaires d'une ancienne plage quaternaire, située dorénavant entre 3 et 4 m au-dessus de la plage actuelle (LAUTRIDOU, 1985).

Plus vers l'est, en direction d'Arromanches, les plateaux du Bessin s'interrompent sur leur façade littorale par de plus hautes falaises caractérisées à la base par une épaisse série marneuse bathonienne de couleur grisâtre et surmontée par des calcaires coquilliers plus clairs à litage oblique et à accidents siliceux datés du Bathonien moyen. Ces calcaires massifs reposant sur des assises marneuses sont découpés par un réseau de failles (Figure 2.14). Dans les falaises des Hachettes, entre Port-en-Bessin et Sainte-Honorine-des-Pertes, un bombement anticlinal des terrains fait affleurer des couches calcaires plus anciennes d'âges aalénien à bajocien. Entre Courseulles et Asnelles, la falaise calcaire est séparée du rivage actuel par des marais littoraux quaternaires aujourd'hui protégés de la mer par un mince cordon sableux dunaire, comme dans les marais de Ver et de Meuvaines. Entre Ver-sur-Mer et Asnelles, une ancienne tourbière quaternaire conserve des souches d'arbres mais aussi des gastéropodes et des os de mammifères et découvre à marée basse sur le platier. Elle témoigne de l'ancienne forêt de Quintefeuille ensevelie sous les silts et argiles de la transgression holocène.

¹ Forme de relief dissymétrique constituée d'un côté par un front (talus abrupt à profil concave) et, de l'autre, par un revers (plateau en pente douce).

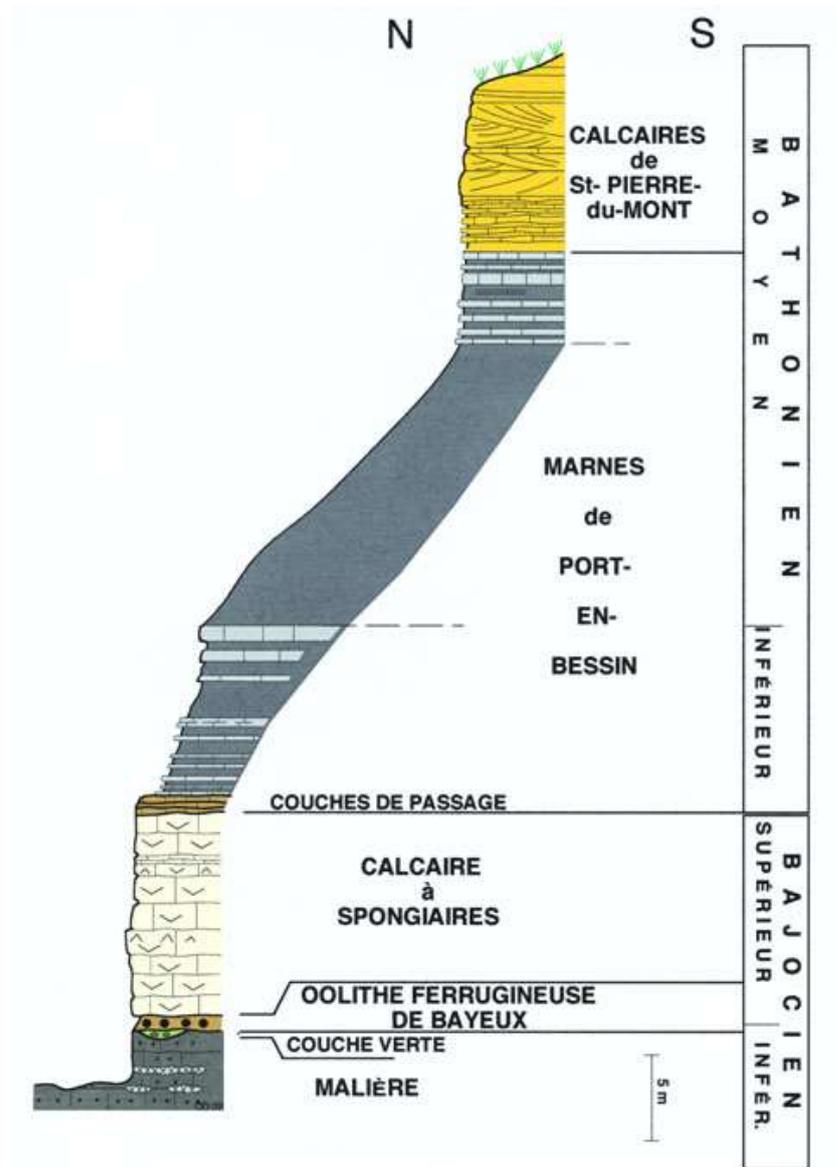


Figure 2.14 : Coupe géologique synthétique de Sainte-Honorine-des-Pertes (d'après Dugué et al., 1998)

2.3 GÉOMORPHOLOGIE

En relation étroite avec les grands ensembles litho-stratigraphiques décrits ci-dessus, les types de côte et les paysages sont d'une très grande diversité (Figure 2.16). Sur de courtes distances se succèdent ainsi :

- des côtes rocheuses, de différentes hauteurs (côtes à falaises) armées par des roches meubles ou cohérentes du Jurassique ou du Crétacé dans la partie orientale ou par des roches très cohérentes magmatiques et métamorphiques (côtes rocheuses accores) dans la partie occidentale, et présentant très souvent un platier rocheux ou une plateforme d'érosion,
- des côtes d'accumulation (côtes sableuses ou sablo-limoneuses ou vaseuses) souvent accompagnées par des cordons dunaires au débouché de vallées drainées ou sèches. En arrière, des plaines maritimes et marais littoraux peuvent y être observés, comme dans les estuaires de la Seine, de la Touques, de la Dives, de l'Orne, de la baie des Veys...

De l'est vers l'ouest, la géomorphologie est décrite selon quatre unités morphosédimentaires principales, chacune étant subdivisée en secteurs caractéristiques.

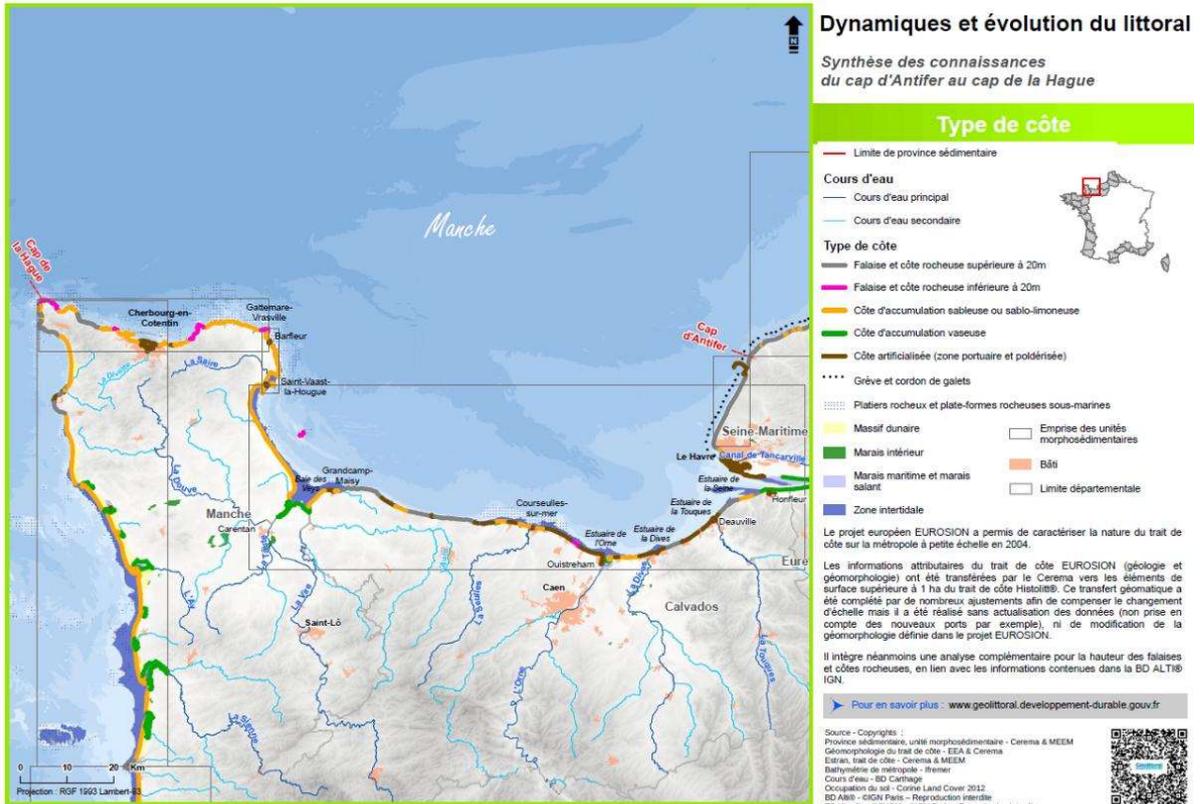


Figure 2.16 : Géomorphologie de la province du cap d'Antifer au cap de la Hague

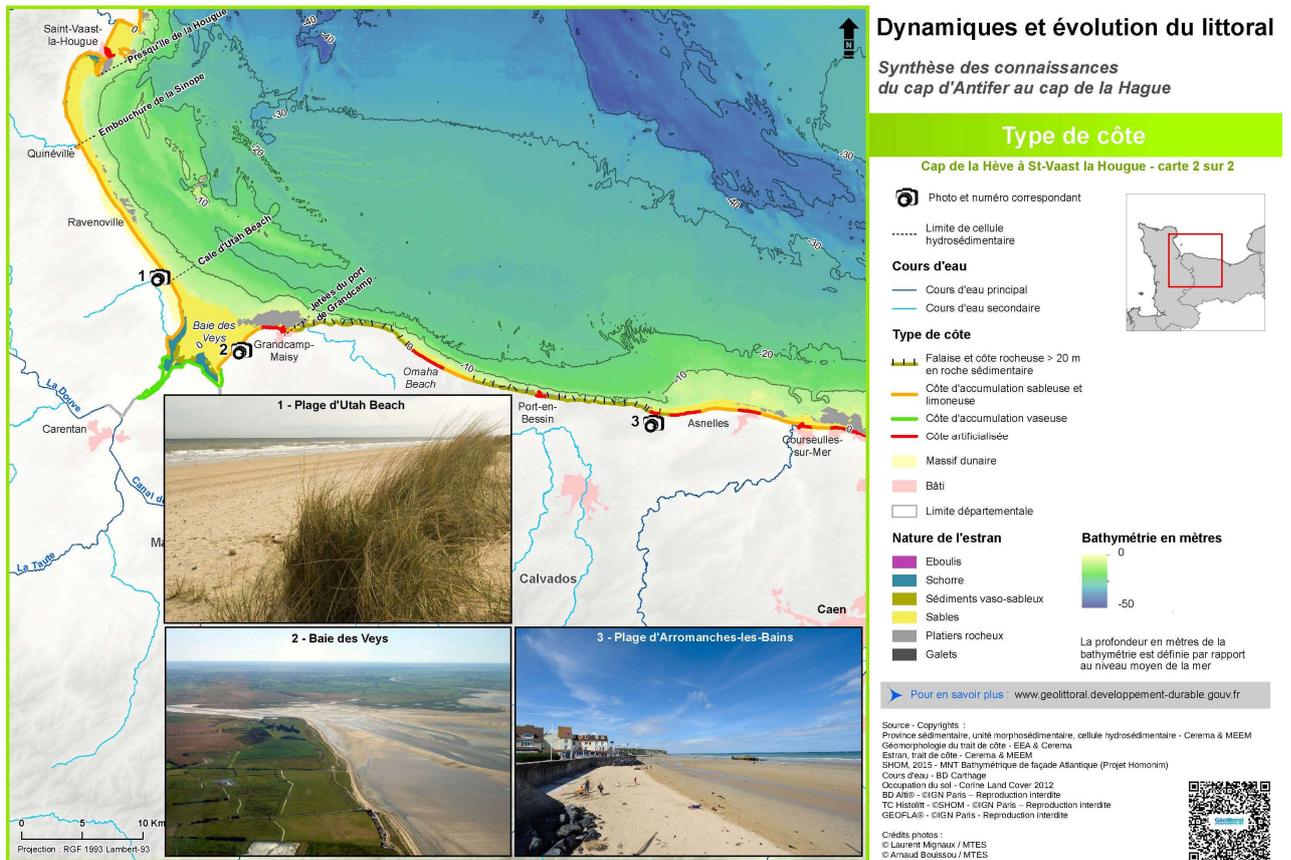


Figure 2.22 : Unité morphosédimentaire de Sainte-Adresse à Saint-Vaast-la-Hougue – carte 2/2

A. D'Houlgate à Saint-Côme-de-Fresné

Sur environ 42,5 km, la côte sableuse domine largement puisqu'un court secteur à falaises n'apparaît qu'entre Saint-Aubin et Lion-sur-Mer. Cette zone est subdivisée en trois entités géomorphologiques spécifiques :

A1) D'Houlgate à Lion-sur-Mer

Un cordon littoral sableux est quasi-continu sur 19,2 km et seulement interrompu par les estuaires de la Dives (Port Guillaume, port de Dives-Cabourg-Houlgate, *Figure 2.26*) et de l'Orne (port de Ouistreham avec son terminal car ferry), aux débouchés desquels, sous l'influence du transit littoral ouest/est, se sont développées vers l'est des flèches littorales. Ces accumulations de matériaux donnent de larges plages ouvertes, en arrière desquelles des cordons dunaires se sont développés, comme à Merville-Franceville (*Petit-Berghem, 2012*).

A2) De Lion-sur-Mer à Saint-Aubin

Entre Lion-sur-Mer et Saint-Aubin (sur 6,6 km), trois petits tronçons de falaises interrompent le cordon sableux : entre Lion-sur-Mer et Luc-sur-Mer, entre l'entrée de Luc-sur-Mer et Langrune et à Saint-Aubin (falaise du Cap-Romain avec sa réserve naturelle). Ces falaises sont taillées dans le calcaire et ne dépassent pas 10 m de hauteur.

A3) De Saint-Aubin à Saint-Côme-de-Fresné

Un cordon littoral formé de sables mais également de galets calcaires sableux de 17,3 km est interrompu par la Seulles, à l'embouchure de laquelle le port de Courseulles-sur-Mer a été construit. En dehors des secteurs très urbanisés (Courseulles-sur-Mer, Ver-sur-Mer et Asnelles), le cordon littoral isole des marais littoraux à haute valeur environnementale et écologique (marais de Meuvaines, Asnelles...).



Figure 2.26 : Vues aériennes du littoral entre Asnelles et Ver-sur-Mer. A. Vue vers l'est avec au 1er plan, le cordon littoral et les parcs ostréicoles d'Asnelles et à l'arrière-plan le bourg de Ver-sur-Mer. B. Vue vers le sud sur le cordon littoral et le marais littoral d'Asnelles (à l'arrière-plan, les paysages ruraux d'openfield du plateau). (clichés Patrick Gigot, 2010 et 2014).

B. De Saint-Côme-de-Fresné à Grandcamp-Maisy

Il s'agit d'une côte à falaises vives, les falaises du Bessin, sur 36,7 km, sauf entre Colleville et la pointe de la Percée, où sur 6 km, un cordon sableux rectiligne limite une zone marécageuse s'étendant jusqu'à une arrière falaise morte (*Figure 2.29-D*). Cette longue plage ouverte est mondialement connue pour être l'un des sites du débarquement de 1944 (Omaha Beach).

Les falaises vives bordant le plateau du Bessin ont une hauteur de 10 à 75 m et sont composites dans leurs aspects topographiques et dans leurs structures géologiques. Les profils sont variables d'une extrémité à l'autre (*Figure 2.28*) et en rapport avec les épaisseurs relatives entre les calcaires (Bajocien et Bathonien) et les marnes de Port-en-Bessin (Bathonien) des assises sédimentaires.

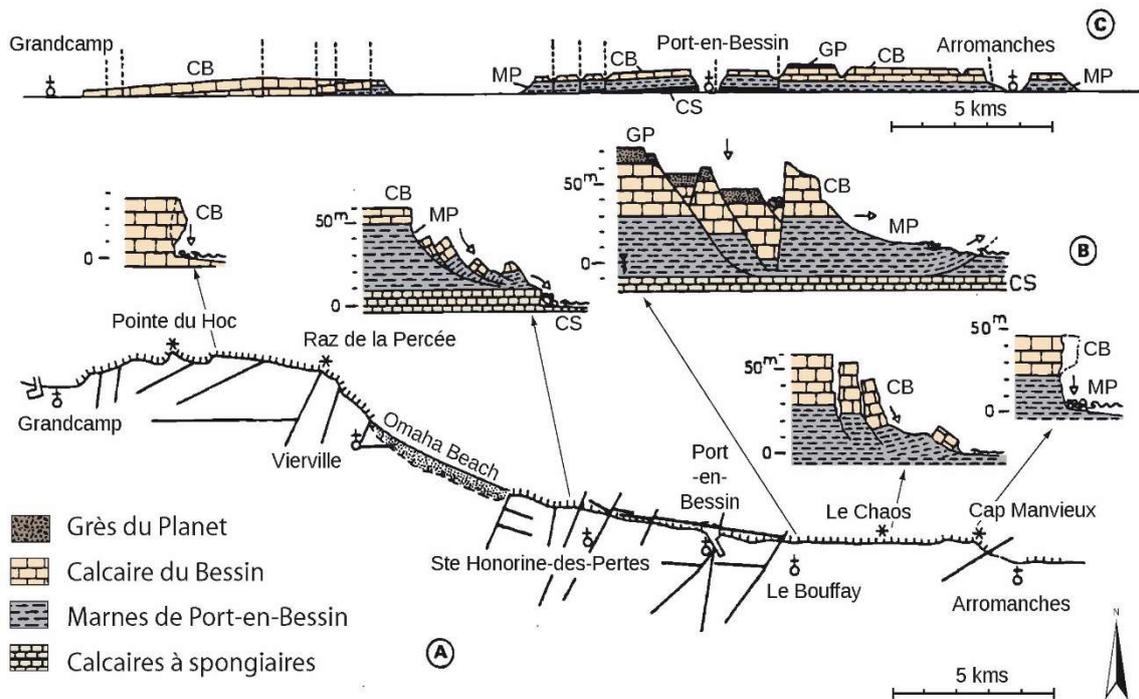


Figure 2.28 : Géomorphologie des falaises du Bessin (MAQUAIRE, 1990)

Ces dernières sont affectées par un bombement anticlinal et par une fracturation tectonique importante (failles orientées N10-20°, N90° et N155°). Les variations de résistance entre les différents affleurements sont à l'origine d'érosions différentielles se retrouvant dans les profils des falaises. Ainsi, trois types de falaises qui évoluent selon des mécanismes hydrogravitaires très variés se succèdent le long de secteurs assez homogènes (MAQUAIRE, 1990) :

- falaise à piédestal tendre marneux surmonté d'une corniche calcaire d'une épaisseur variant de 10 à 25 m environ (Figure 2.29-A et B) : le profil présente généralement un surplomb plus ou moins marqué ou bien un talus plus ou moins large et chaotique avec escarpements et contre-pentes en avant d'une arrière-falaise (de Saint-Côme-de-Fresné à Le Bouffay et de Vierville au raz de la Percée) ;
- falaise à piédestal résistant dans les marno-calcaires du Bathonien inférieur ou les calcaires du Bajocien (Figure 2.29-C) : à l'escarpement basal subvertical d'une dizaine de mètres de hauteur (ressaut basal) succède un talus en pente douce et régulière ou chaotique dans les marnes, l'ensemble étant coiffé par une corniche calcaire (du Bouffay à Sainte-Honorine-des-Pertes) ;
- falaise simple subverticale, d'une hauteur de 10 à 40 m armée par le calcaire bathonien (du raz de la Percée au pont du Hable, Figure 2.29-E)², puis une microfalaise subverticale ou au profil adouci de 7-8 m de hauteur, entaillée dans les limons ou un head limoneux sur 500 m de longueur (du pont du Hable à Grandcamp, Figure 2.29-F) avec un cordon de galets développé à son pied.

Un platier forme une lanière de plus de 300 m de large entre Colleville et Le Bouffay. Ailleurs, il se rétrécit fortement ou bien il est au contraire très étendu, comme devant Grandcamp où il atteint 1 500 m de largeur. Quelques zones de sédimentation dans le haut estran peuvent être observées, comme à l'est de la pointe du Hoc, dans l'anse du Bouffay ou dans le chaos de Longues-sur-Mer.

² Le site historique de la pointe du Hoc (débarquement de 1944) est situé dans ce secteur.



Figure 2.29 : Vues aériennes des falaises du Bessin. A. Falaise au droit du cap Manvieux (à l'arrière-plan, quelques caissons du port artificiel d'Arromanches). B. Falaise au droit de l'ancien sémaphore de Longues-sur-Mer. C. Falaise sur la commune de Sainte-Honorine-des-Pertes. D. Falaise morte au droit du cimetière américain de Colleville. E. Falaise sub-verticale calcaire à l'ouest du raz de la Percée. F. Vue aérienne oblique vers l'est depuis Grandcamp-les-Bains. (clichés Stéphane Costa, 2013 ; Patrick Gigot, 2004, 2007, 2010, 2014 ; DIREN-BN, 2001).

3. FACTEURS HYDRODYNAMIQUES

3.1 CLIMATOLOGIE

3.1.1 CLIMATOLOGIE ATMOSPHÉRIQUE

3.1.1A CLIMATOLOGIE ATMOSPHÉRIQUE GÉNÉRALE

Le contexte météo-climatique est fortement conditionné par une position moyenne entre les hautes pressions subtropicales et les basses pressions subpolaires (*Figure 3.3*). De ce fait, la façade occidentale de l'Europe bénéficie le plus souvent d'un flux d'ouest donc océanisé et rythmé par le passage de perturbations plus ou moins actives selon la saison. En hiver, la migration vers le sud et le creusement de la dépression d'Islande sont synonymes d'un surcroît d'humidité et de vent (voire de tempêtes) dans une ambiance rafraîchie, alors qu'en été la remontée vers le nord de l'anticyclone des Açores assure un temps doux et plus agréable, même s'il n'est pas dépourvu de séquences perturbées. Ces conditions dynamiques expliquent les quatre principales composantes du climat : i) douceur et faible amplitude saisonnière des températures ; ii) régularité des précipitations, mais avec un net renforcement en automne et en début d'hiver ; iii) fréquence élevée des vents forts ; iv) ensoleillement assez faible.

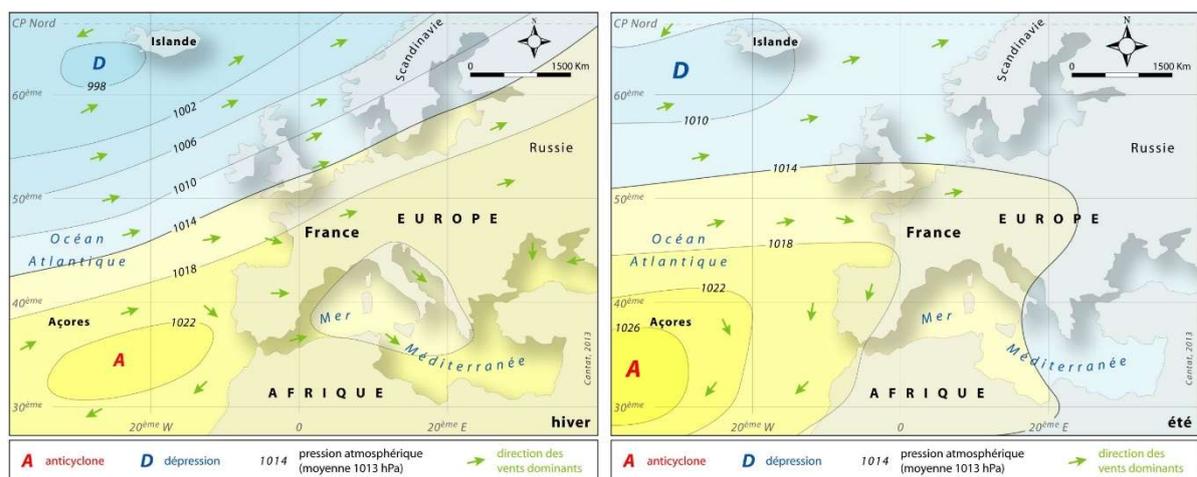


Figure 3.3 : Configurations barométriques moyennes saisonnières et flux résultants sur l'Europe. Réalisation O. Cantat, Université de Caen Normandie (DREAL, 2015)

Le climat tempéré océanique est ici nuancé par des effets d'abri ou d'exposition qui jouent sur la force du vent mais également sur les précipitations et les températures (*Figures 3.4 et 3.5*). Les reliefs de l'arrière-pays du Cotentin, du Pays d'Auge et du Pays de Caux sont ainsi plus frais et arrosés que le littoral de la Baie de Seine et les bas plateaux. La saisonnalité des précipitations est plus marquée sur la frange Ouest de la province. L'éloignement de la côte et une position plus intracontinentale accroissent la fréquence des jours de gelée et des jours de chaleur, et diminuent un peu l'ensoleillement. En conséquence, les types de temps sensibles - croisement des précipitations, température, vent et ensoleillement - sont différenciés entre la côte et l'intérieur d'une part, et la partie ouest et est de la province d'autre part.

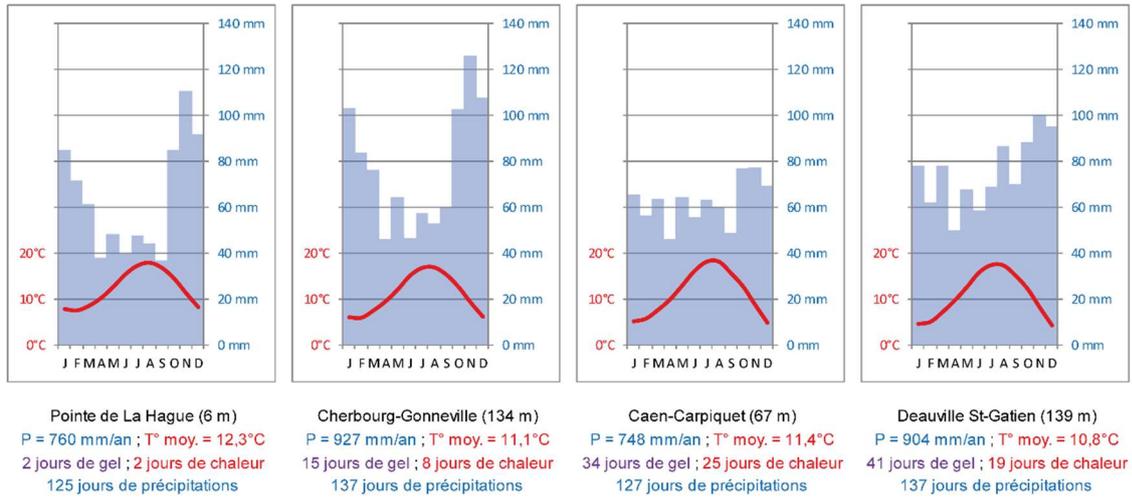
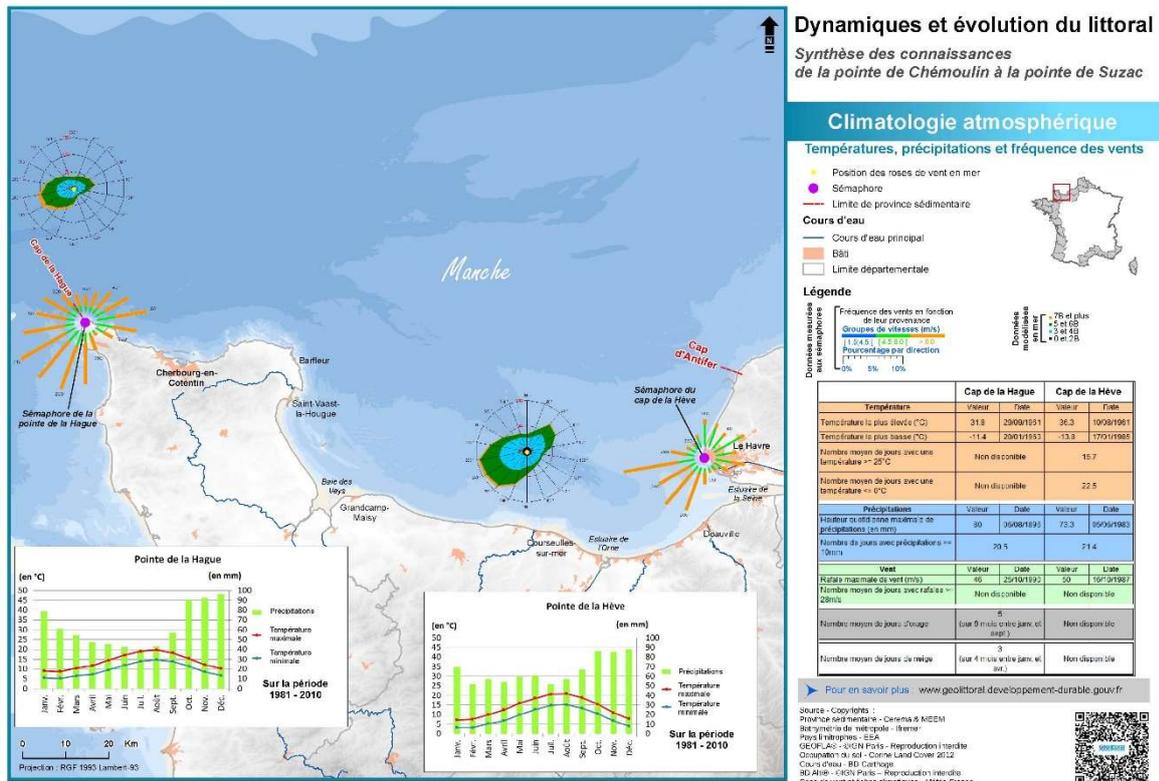


Figure 3.4 : Diagrammes ombrothermiques et principaux caractères climatiques sur la période 2001-2010 pour les stations de La Hague, Cherbourg-Gonneville, Caen-Carpiquet et Deauville St-Gatien. Réalisation O. Cantat, Université de Caen Normandie, d'après données Météo-France

Une vue synthétique des climats de Normandie a été réalisée par O. Cantat et F. Beauvais (Université de Caen) pour le profil environnemental CLIMAT de la DREAL Normandie (DREAL Normandie, 2020). Les profils environnementaux Climat et Air ont été publiés. Vous pouvez les consulter sur internet à l'adresse suivante :

<http://www.normandie.developpement-durable.gouv.fr/les-profil-environnementaux-r307.html>



3.1.1.B. TYPOLOGIE DES PERTURBATIONS

La figure 3.6 résume les trajectoires des centres dépressionnaires ayant provoqué des submersions sur le littoral de la province au cours de ces dernières décennies, toutes intensités confondues (LETORTU *et al.*, 2012). Pour la Baie de Seine qui compose l'essentiel de cette province, les risques sont moins nombreux comparativement à la portion de côte exposée aux flux de composante Ouest du nord Cotentin et s'étendant du Cap de La Hève au Cap d'Antifer. De la Pointe de Barfleur à l'estuaire de l'Orne, les littoraux sont surtout sensibles aux coups de vent de Nord-Est alors que le fond de Baie de Seine est structurellement plus affecté par les flux de Nord-Ouest.

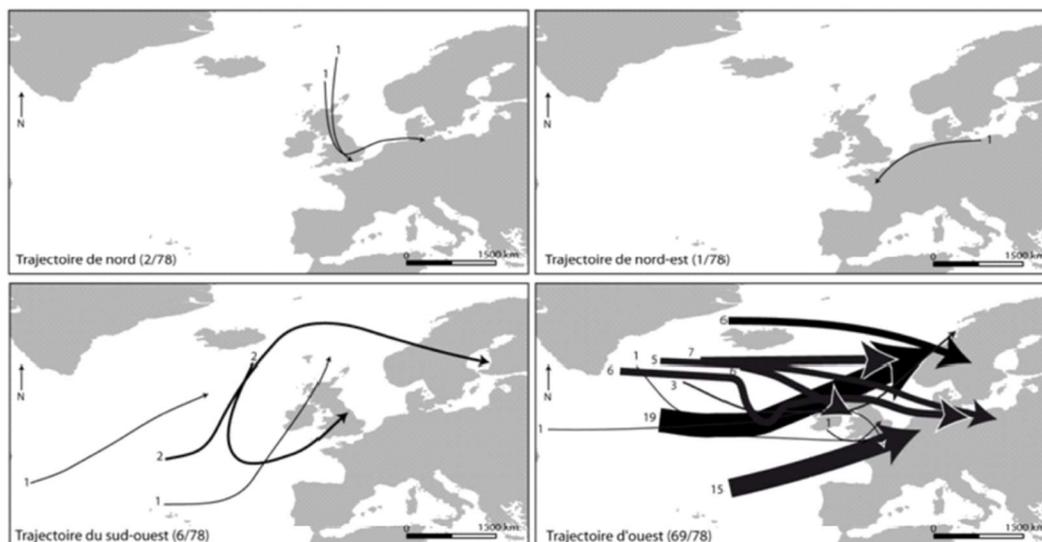


Figure 3.6 : Trajectoires des centres dépressionnaires ayant provoqué des submersions (toutes intensités confondues) sur le littoral du Pays de Caux et de la Baie de Seine. Source : (LETORTU *et al.*, 2012)

Le tableau 3.1 répertorie quelques tempêtes et leurs conséquences (pertes humaines et dommages matériel) sur la période historique. Les données de vent enregistrées à la station de Caen-Carpiquet entre 1981 et début 2018 présentent l'occurrence des tempêtes en fonction de leur intensité et de la direction des vents (Tableau 3.2 et 3.3). Le premier tableau se réfère aux rafales maximales instantanées et le second à la valeur maximale du vent moyen sur 10 mn, plus révélateur de l'efficacité morphogène potentielle des tempêtes. Une analyse exhaustive de toutes les tempêtes survenues en France métropolitaine est disponible sur le site de Météo-France : <http://tempetes.meteo.fr/spip.php?rubrique6>.

Depuis 1981, à Caen, 11 cas ont été observés avec des rafales de vent supérieures à 120 km/h (très forte tempête) et 14 cas avec des vents moyens sur 10 mn excédant les 80 km/h. On retrouve dans cette liste les célèbres tempêtes du 16 octobre 1987 (« L'Ouragan ») et du 26 décembre 1999 (« Lothar » : vitesse maximale record de 151 km/h, la trajectoire et la vitesse maximale du vent en France).

3.1.1.C. CARACTÉRISATION DES VENTS ET PRESSIONS

Les vents dominants sont de secteur ouest à sud-ouest (Figures 3.5 et 3.7). Par rapport au vent « libre », le relief peu marqué de la région ne modifie pas fondamentalement les directions (pas de canalisation comme en vallée du Rhône, par exemple). En revanche, sa force apparaît notablement diminuée en Baie de Seine, secteur qui bénéficie d'une position d'abri entre le Cotentin, qui fait barrière aux flux d'ouest à nord-ouest, et le Pays de Caux qui la protège en partie des flux de nord-est. Le phénomène d'abri est particulièrement net sur la Côte Fleurie en raison de sa position plus enclavée. Ici les vents assez forts à forts ne représentent que 13% du total, contre 21% sur la Côte de Nacre et 29% dans la Baie des Veys qui dispose d'une double ouverture aux flux de nord-est et au flux d'ouest en raison de l'absence de relief dans cette direction (Marais de Carentan). De ce fait les valeurs sont assez proches de celles modélisées au large de Barfleur (31%) mais restent éloignées de celles observées en mer entre France et Angleterre (38%). Au large du Havre, l'exposition aux vents

forts de composante ouest devient à nouveau beaucoup plus sensible mais le Pays de Caux protège le secteur des coups de vent de nord-est. Pour les vents faibles et les calmes, les dispositions sont logiquement inversées, variant de près de 42% sur la Côte Fleurie à moins de 23% en Manche « libre ».

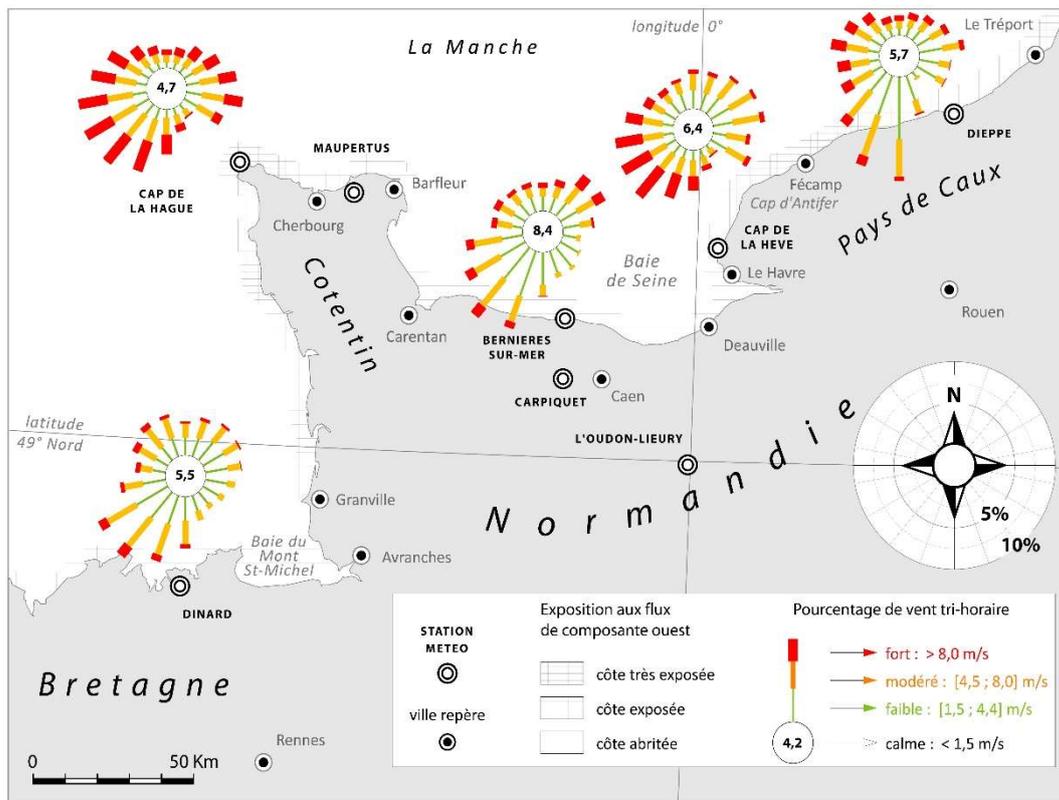


Figure 3.7 : Cartographie de la force et de la direction du vent sur la période 1999-2009. Réalisation O. Cantat, Université de Caen Normandie, d'après données modélisées Météo-France

Ces différences entre les secteurs plus exposés du Cotentin et la Baie de Seine se retrouvent dans le vent moyen et la fréquence des fortes rafales : 6,9 m/s et 132 jours par an à La Hague, contre 4,6 m/s et 70 jours à Bernières-sur-Mer. Les contrastes sont surtout marqués par un flux de composante Ouest. Enfin, saisonnièrement, les vents sont plus forts en automne et en hiver (passage des perturbations actives) qu'au printemps et en été : à La Hague, le vent moyen varie ainsi de 7 à 9 m/s d'octobre à mars et de 5 à 6 m/s d'avril à septembre. En Baie de Seine, les contrastes saisonniers sont moins accentués (Figure 3.8).

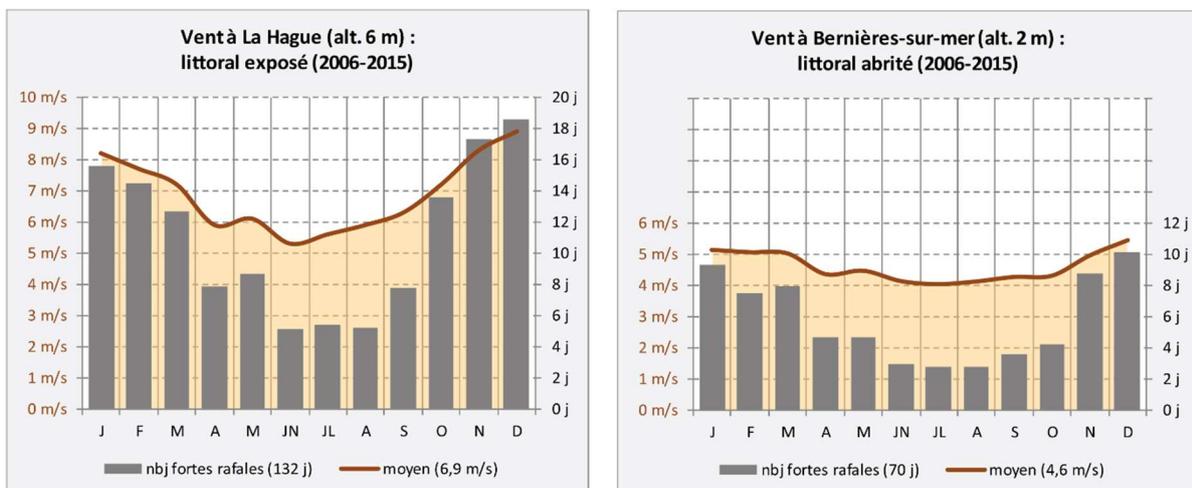


Figure 3.8 : La saisonnalité du vent. Comparaison pour les stations de La Hague et de Bernières-sur-Mer sur la période 2006-2015. Réalisation O. Cantat, Université de Caen Normandie, d'après données Météo-France

Sur la période 1961-2010, les données homogénéisées de force moyenne annuelle du vent montrent une grande variabilité interannuelle, entre 6,3 et 9,2 m/s pour la Pointe de La Hague et entre 4,4 et 7,1 m/s pour le Cap de La Hève (Annexe 3.1.11 cf. Fascicule 3 du CEREMA). On observe des ondulations d'ordre pluri annuelles, pas nécessairement en phase pour les deux postes mais en revanche un minimum commun au cours de la dernière décennie. Concernant le futur, les divers scénarios ne projettent pas de changement significatif.

3.1.1.D. PRÉCIPITATIONS

La répartition et l'occurrence des précipitations soulignent l'influence combinée de l'exposition aux flux d'ouest porteurs d'humidité et des effets des reliefs situés en arrière immédiat de la côte (Figure 3.9). Les différences sont déjà très notables à l'échelle du Cotentin, entre les reliefs exposés de la façade ouest très arrosés (hauteurs à La Hague > 1100 mm/an) et l'extrémité est - sous le vent - qui présente un déficit important tant en quantité qu'en fréquence (secteur de Barfleur < 600 mm/an).

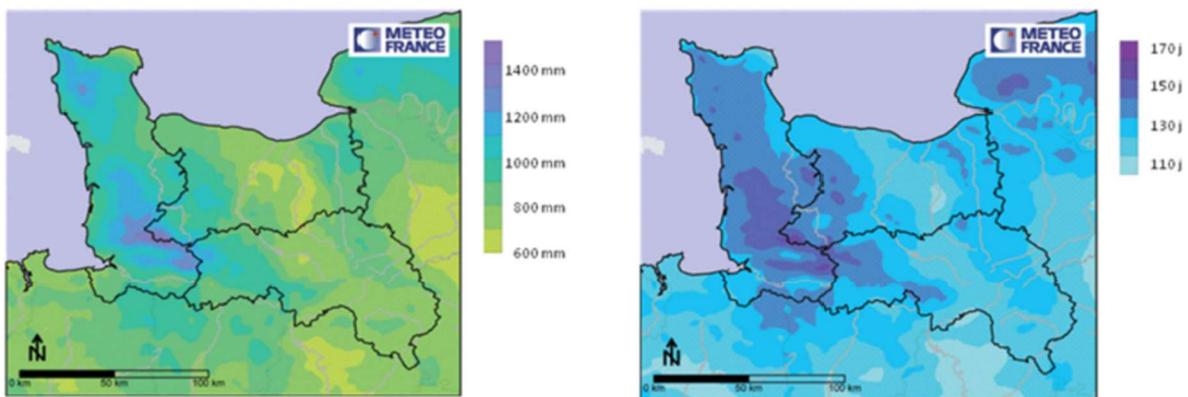


Figure 3.9 : Précipitations totales annuelles (à gauche) et nombre annuel de jours de précipitations significatives (supérieures à 1 mm/jour) (à droite), sur la période 1981-2010. Source : Météo-France, pour DREAL, 2015

Pour une même exposition regardant vers le Nord, la Baie de Seine présente des différences de pluviométrie notables traduisant avant tout la topographie de la frange côtière et la position longitudinale : les précipitations sont plus présentes (800 à 1000 mm) là où le relief d'arrière côte est vigoureux (Pays d'Auge à l'est) et là où il y a une ouverture au flux d'ouest (Bessin, à l'ouest), comparativement aux faibles apports de la partie centrale du littoral calvadosien (600 à 800 mm), « abrité » sous le vent des collines de Normandie. Les différences entre la côte et les hauteurs peuvent être très nettes en quelques kilomètres seulement : sur la période vicennale 1996-2015, l'aéroport de St-Gatien-des-Bois (à 2 km de la côte et 139 m d'altitude) a enregistré une pluviométrie annuelle 11% supérieure à celle de la station voisine de l'hippodrome de Deauville, sur la Côte Fleurie (916 mm contre 824 mm).

Au nord de la Seine, le Pays-de-Caux reproduit le même schéma que le Cotentin en raison de sa forte exposition aux flux d'ouest et de sa topographie contrastée (hautes falaises de craie sur le littoral entre le Cap de La Hève et le Cap d'Antifer) : les précipitations augmentent de 200 à 300 mm en quelques kilomètres. Tel est le cas sur la décennie 2001-2010 entre Fécamp (787 mm) et Goderville (1124 mm), une douzaine de kilomètres plus au sud dans l'intérieur des terres.

Si la région n'est pas soumise à des abats pluvieux aussi intenses que dans le domaine méditerranéen, l'exemple de Caen-Carpiquet traduit toutefois l'existence d'épisodes extrêmes très marqués (Tableau 3.4 et 3.5). Les valeurs maximales sur la période 1967-2012 montrent la possibilité de recevoir plus de 50 mm en 2 heures, comme ce fut le cas le 25 juin 2006 (Figure 3.10). Cette journée record (93,0 mm) fut marquée par des orages violents issus du contact entre l'air chaud de surface à l'Est du pays et l'air froid associé au talweg d'altitude progressant à partir de l'Ouest (Figure 3.1.12, cf. Fascicule 3 du CEREMA). Sur quelques minutes, au plus fort des averses orageuses, le cumul peut atteindre de 10 à 20 mm en 6 minutes, entraînant inondations et coulées boueuses.

Durée de retour	de	Hauteur estimée sur 2 heures	Hauteur estimée sur 1 heure	Hauteur estimée sur 30 minutes	Hauteur estimée sur 15 minutes	Hauteur estimée sur 6 minutes
5 ans		28,8 mm	23,0 mm	19,1 mm	14,4 mm	8,8 mm
10 ans		34,6 mm	26,7 mm	22,4 mm	17,1 mm	10,3 mm
20 ans		41,0 mm	30,4 mm	25,9 mm	19,8 mm	11,7 mm
30 ans		45,0 mm	32,6 mm	28,0 mm	21,5 mm	12,6 mm
50 ans		50,4 mm	35,3 mm	30,6 mm	23,7 mm	13,7 mm
100 ans		58,5 mm	38,9 mm	34,3 mm	26,7 mm	15,1 mm

Tableau 1: Durée de retour de précipitations fortes à Caen-Carpique sur la période 1967-2012. Réalisation O. Cantat, Université de Caen Normandie, d'après données Météo-France.

Hauteur observée	Date								
55,4 mm	25/06/06	34,4 mm	25/06/06	32,8 mm	10/08/83	27,4 mm	10/08/83	19,9 mm	10/08/83
43,7 mm	21/08/75	32,9 mm	10/08/83	24,0 mm	02/06/81	16,5 mm	21/08/75	11,0 mm	21/08/75
39,6 mm	10/08/83	30,0 mm	21/08/75	23,4 mm	02/06/02	15,6 mm	24/07/69	10,8 mm	15/08/04
34,6 mm	19/07/94	29,6 mm	19/07/82	23,1 mm	12/07/82	15,4 mm	15/08/04	9,8 mm	01/06/03
34,5 mm	24/07/69	28,4 mm	02/06/02	22,6 mm	24/07/81	14,0 mm	02/06/81	8,3 mm	25/06/67

Tableau 2: Valeurs maximales observées de l'échantillon traité (1967-2012). Réalisation O. Cantat, Université de Caen Normandie, d'après données Météo-France.

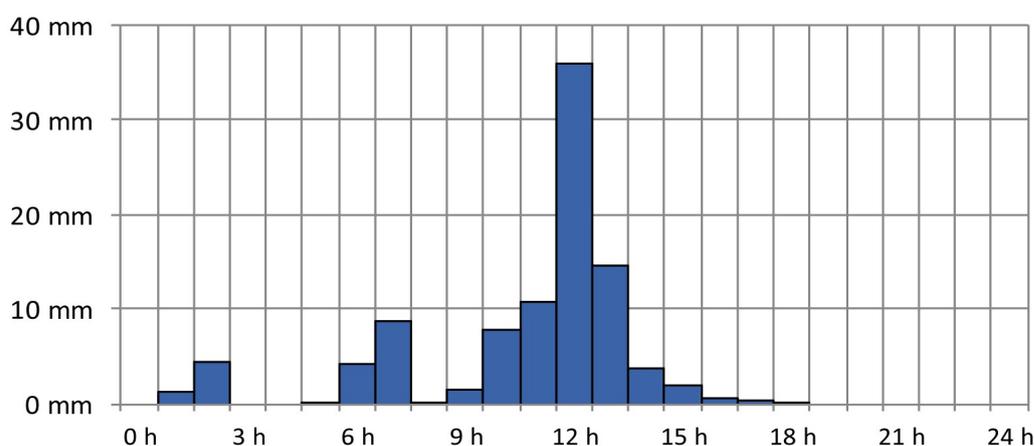


Figure 3.10 : Précipitations horaires à Caen-Carpique le 25 juin 2006. Cumul journalier = 96,6 mm ; Normale 1981-2010 du mois de juin = 57,9 mm). Réalisation O. Cantat, Université de Caen Normandie, d'après données Météo-France

3.2 FACTEURS OCÉANIQUES

Voir détails dans l'ouvrage « **Dynamiques et évolution du littoral - Fascicule 3** »

3.2.1. MARÉE ASTRONOMIQUE

La marée semi-diurne présente chaque jour deux pleines mers et deux basses mers se succédant avec un intervalle moyen de 6 heures 13 minutes. Néanmoins, l'onde de marée présente souvent de petites inégalités diurnes qui se manifestent par des différences de hauteur (0,1 à 0,2 m) aux pleines

mers ou aux basses mers d'une même journée et une dissymétrie se traduisant par un montant plus court que le perdant, surtout en fort coefficient. Des prédictions de marée sont diffusées par le SHOM pour certains ports de la province.

Le marnage sur la province croît d'ouest en est (Figure 3.20), entre 5 m à Cherbourg en vives-eaux (2 m en mortes-eaux) et 6 m au cap d'Antifer en vives-eaux (2,5 m en mortes-eaux). L'amplitude maximale est estimée à plus de 8 m à l'est de la province pour le coefficient 120.

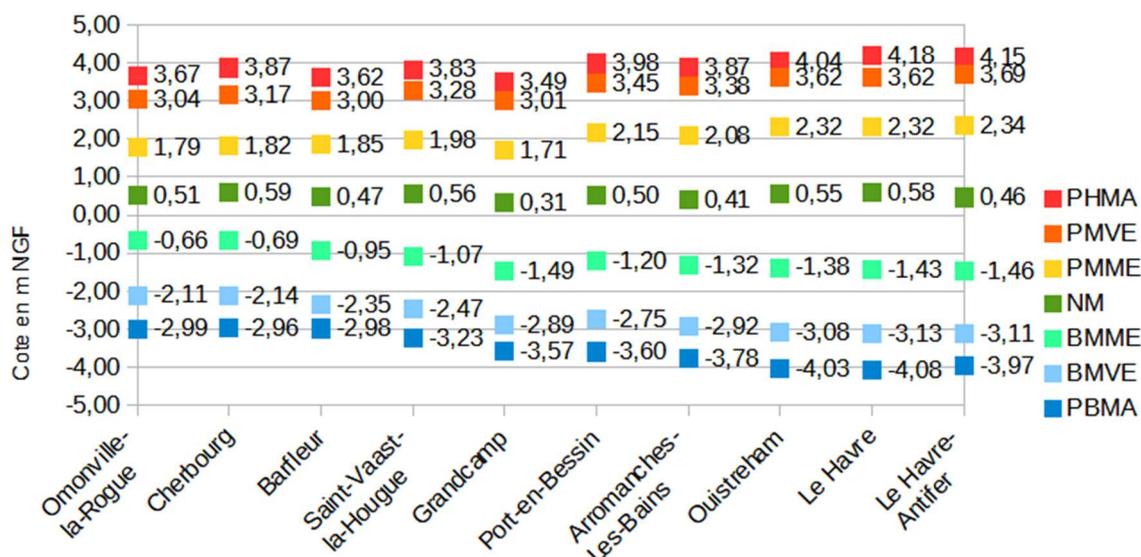


Figure 3.20 : Altitude de différents niveaux marins en mètre NGF (IGN 69) au niveau des ports de référence et secondaires de la province ; plus basses mers astronomiques (PBMA), de vives-eaux (BMVE) et de mortes-eaux (BMME), niveau moyen (NM) et plus hautes mers de mortes-eaux (PMME), de vives-eaux (PMVE) et astronomiques (PHMA) (Source : SHOM)

3.2.2 ÉTATS DE MER

3.2.2.A. CLIMATOLOGIE MOYENNE ET VALEURS EXTRÊMES

Climatologie moyenne

Les roses des houles issues des bases CANDHIS, ANEMOC 2, BOBWA et AVAG (Figure 3.29 et 3.30) montrent qu'en termes de climatologie moyenne, la province sédimentologique est principalement influencée par les états de mer :

- au large de Cherbourg : en provenance de l'océan Atlantique et remontant la Manche (direction de provenance des vagues de secteur sud-ouest à ouest) ;
- et au large du Havre : en provenance de l'océan Atlantique et remontant la Manche (direction de provenance des vagues de secteur ouest à ouest-nord-ouest) et descendant de la mer du Nord (direction de provenance des vagues de secteur de provenance nord-est).

Ainsi, conformément aux flux d'ouest perturbés dominants sur l'Europe de l'Ouest, la direction prédominante des houles est de quadrant ouest (sud-ouest à nord-ouest), avec une prédominance de nord-ouest. Les vents et donc les houles d'autres secteurs sont minoritaires en fréquence et en intensité. Cependant, les coups de vents de nord à nord-est forment des vagues de hauteur plus modeste (et généralement de courtes périodes) mais qui peuvent générer des phénomènes d'érosion et de franchissement par la mer importants sur le littoral du Calvados et l'est-Cotentin (ROLNP, 2016).

Les roses des houles issues de l'analyse des données AVAG (points Ouistreham et Cotentin), dissociant la part liée à la mer de vent et celle liée à la houle primaire montrent :

- au large du Cotentin que les houles primaires et les mers de vent sont plutôt de direction centrée sur l'ouest-sud-ouest ;

- et au large de Ouistreham que les houles primaires sont plutôt de direction nord-ouest et les mers de vent de direction centrée sur l'ouest-sud-ouest.

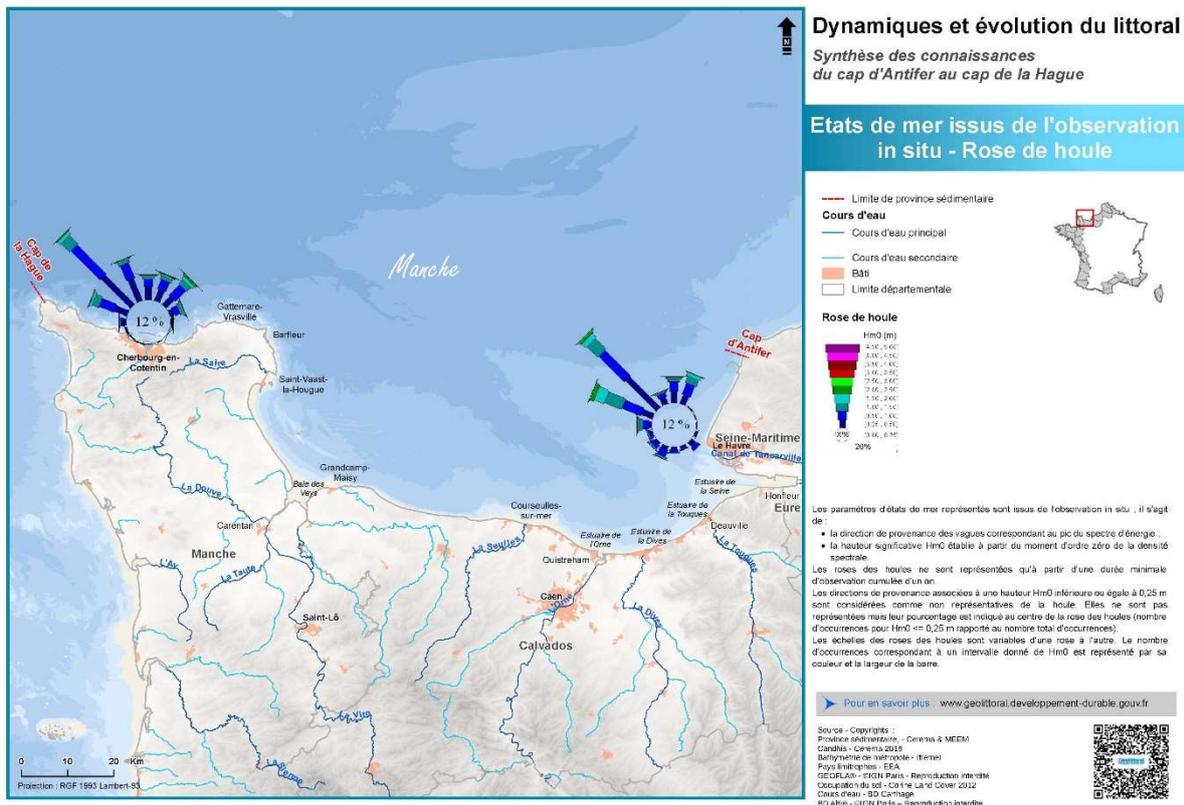


Figure 3.29 : Roses des houles issues de l'analyse des données de mesure in situ CANDHIS

L'analyse des corrélogrammes issus de CANDHIS, ANEMOC 2 et BOBWA montre que les périodes de pics sont généralement comprises entre 5 et 7 s (induites par des mers du vent) et rarement supérieures à 10 s en baie de Seine. Ces corrélogrammes ainsi que les roses des houles AVAG montrent que les plus fortes vagues sont liées majoritairement aux mers de vent, plutôt qu'aux houles primaires sur la province : les hauteurs de vagues les plus fortes correspondent en effet à des périodes de pics comprises entre 2 et 7 s, plutôt caractéristiques d'une mer de vent. Des hauteurs de vagues correspondant à des périodes supérieures à 8 s sont présentes surtout à l'ouest de la zone d'étude, qui est plus exposé aux houles océaniques en provenance de l'océan Atlantique.

Sur la province, les hauteurs significatives de houle ainsi que ses périodes sont étudiées :

- par analyse temporelle (vague à vague), notée $H_{1/3}^1$, pour les sept sites du réseau CANDHIS : Cherbourg (grande rade Ouest, grande rade Est, petite rade, extérieur), Le Havre (LHA_2, LHA_Metzinger) et Antifer,
- par analyse spectrale, notée H_{m0}^2 , pour dix points des bases de données ANEMOC 2 et BOBWA.

Les hauteurs significatives de vagues H_{m0} diminuent le long des côtes de la province d'ouest en est, comme l'indiquent les quantiles à 99 % issus d'ANEMOC 2 (Figure 3.31 et Annexe 3.10 cf. Fascicule 3 du CEREMA) entre le large de Cherbourg (Q99 % = 4,64 m au point Coast4634) et de Bayeux (Q99 % = 3,58 m au point Coast7296).

3.2.2.B. PROPAGATION DU LARGE À LA CÔTE

La propagation des houles dépend de la bathymétrie et de la présence d'îles (phénomène de réfraction des houles sur les fonds marins et/ou de diffraction). Ainsi, à proximité de la côte, leur hauteur et leur direction peuvent varier très sensiblement d'un point à un autre pour une même houle au large. Par ailleurs, le dessin du trait de côte (orientation par rapport aux houles incidentes) explique les conditions très variables de transports des sédiments sur le littoral, en particulier sur les côtes nord et est du Cotentin (de Barfleur à la baie des Veys). Plus à l'est, en baie de Seine, les fonds

et le dessin du trait de côte sont moins irréguliers ; les conditions de propagation de la houle sont alors moins disparates.

En baie de Seine, les premiers plans de houles à petite échelle (ou plan d'approche) ont été réalisés par ELHAÏ (1963), pour une houle de période 7 s et de directions nord-nord-ouest, nord-ouest, nord-nord-est et nord-est. Ces plans ont été tracés manuellement après un calcul des angles de déviation des orthogonales au franchissement des isobathes et à partir d'abaques permettant de connaître les célérités en fonction des caractéristiques de la houle au large et la hauteur d'eau. D'autres plans de houles à petite échelle ont été réalisés en utilisant le modèle mathématique WEVERNG (MAY, 1974), permettant de tracer les orthogonales de houles en tenant compte des seuls phénomènes de réfraction, pour les quatre directions (nord-ouest, nord-nord-ouest, nord-est et ouest-nord-ouest) pour des périodes de houle de 8 et 9 s (MAQUAIRE, 1990). Seuls quelques plans locaux à grande échelle ont été réalisés dans le cadre d'aménagement portuaires (ports de Ouistreham et de Deauville). Ces différents plans concordent globalement sur les caractéristiques de propagation des houles à la côte (Tableau 3). Ainsi, dans la partie est de la baie de Seine, les plans de houle montrent l'existence d'une nette obliquité avec le littoral lorsqu'elles proviennent du secteur nord-ouest qui est à l'origine d'un transit littoral ouest-est sur cette côte. Pour les directions de houles de nord-nord-ouest et nord-ouest, le secteur entre l'Orne et Deauville est en position d'abri derrière le Cotentin ; cette zone d'atténuation des houles permet l'engraissement des fonds observé dans la zone Deauville-Trouville (LCHF 1986).

Direction des houles	Propagation des houles	Commentaires
Nord-nord-ouest	Orthogonales peu déviées jusqu'à proximité de la côte Zone de convergence marquée vers Arromanches-Saint-Côme et à l'ouest de Deauville Zone de calme à l'est de Dives-sur-Mer Orthogonales se courbant vers l'ouest, au niveau de la pointe du Hoc	Différence sensible avec les plans d'Elhaï où la zone de calme est un peu plus à l'ouest, entre l'estuaire de l'Orne et Dives-sur-Mer Obliquité faible entre la pointe du Hoc et la baie des Veys, d'où une dérive littorale existante mais sans doute réduite
Nord-ouest	Littoral abrité par la presqu'île du Cotentin à l'ouest de Port-en-Bessin Large zone de divergence entre Ouistreham et l'est de Deauville Concentration de l'énergie des houles autour de Deauville et dans l'embouchure de la Seine dû à la réfraction des houles dans l'axe de la paléovallée de la Seine	Forte concentration et forte obliquité des houles dans les secteurs d'Arromanches, Saint-Côme et Asnelles (recul du littoral et dérive des matériaux d'ouest en est)
Nord-nord-est	Quelques convergences locales entre Arromanches et Courseulles, à l'ouest de la Dives et dans la baie des Veys	A l'ouest de la pointe de la Percée, la disposition des orthogonales est à l'origine d'une dérive vers l'ouest
Nord-est	Côte protégée à l'est de Saint-Aubin-sur-Mer Obliquité marquée des orthogonales à l'ouest de la pointe du Hoc Concentration des houles en face de Courseulles	

Tableau 3.3 : Propagation des houles de différentes directions. Description des plans de houle issus de ELHAÏ, (1963), MAY, (1974) et MAQUAIRE, (1990)

3.2.3.B. COURANTS DE MARÉE

Sur la province, les courants de marée jouent un rôle important dans les mouvements sédimentaires, en particulier, dans les fonds inférieurs à environ - 8 m, où l'action des courants est prépondérante sur celles des houles (LCHF 1986). Dans toute la baie de Seine, le régime des courants est dominé par le phénomène des marées, qui est quasi-alternatif sur toute la province, avec deux directions de flot et de jusant bien marquées. Les courants tournent dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. **Le courant de flot porte vers l'est tandis que le jusant porte vers l'ouest à sud-ouest.** Les directions des courants correspondent aux grandes orientations du littoral, mais localement, à l'approche du rivage, les courants tendent à s'orienter parallèlement au trait de côte. L'intensité des courants de marée décroît vers l'est. Les figures 3.41 et 3.42 représentent les roses de courants établies en vives-eaux et mortes-eaux moyennes à partir de mesures in situ issues de la base de données du Shom « Tide database ». Certaines de ces statistiques sont diffusées sur les cartes marines sous forme de tableaux de courants (référencés par rapport à une pleine mer ou basse mer d'un port de référence).

4. DONNÉES SÉDIMENTOLOGIQUES

4.3.2 MODES ET AGENTS DE TRANSPORT À LA CÔTE

Aux abords des côtes, l'association des courants de marée et de houle, notamment lorsque l'incidence de la houle est oblique, engendre un courant parallèle au rivage appelé « dérive littorale » (concept introduit par Longuet-Higgins, 1970). Ce courant de dérive contribue au transit sédimentaire en déplaçant des volumes importants de sédiments le long de la côte (Garlan et Marches, 2010). Elle est orientée vers le sud pour la côte du Pays de Caux et la côte est du Cotentin et vers l'est pour la façade du département du Calvados et sa vitesse maximale est de l'ordre de 1 m/s (LCHF, 1986) (Figure 4.17).

Le transport sédimentaire s'effectue globalement dans le sens de propagation de la houle : 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 et Inman, 1970). Pour des vagues obliques au rivage, le jet de rive transporte les sédiments vers le haut dans le sens de la vague, lors du déferlement et sur l'estran. Le retrait de la vague entraîne les sédiments vers le bas selon la plus grande pente : cela produit un transport sédimentaire en dents de scie (voir La gestion du trait de côte, MEEDDM, 2010).

Dans les baies et estuaires de la province, le régime sédimentologique est lié au transport des vases et des particules fines, notamment par les courants de marée (LCHF, 1986).

Sur les plages de la province, composées de sables ou de galets, des mouvements sédimentaires dans le profil sont présents. Ils agissent sur la variation du profil de plage qui est en équilibre dynamique avec les conditions de forçage. Ainsi, en fonction des vents, de la houle et des courants (voir Chapitre 3 *Facteurs hydrodynamiques*), il est possible d'observer une alternance de période pendant laquelle le profil connaît une érosion et une période où le profil de plage connaît un engraissement (MEEDDM, 2010).

Le littoral du cap d'Antifer au cap de la Hague comporte quelques plages macrotidales dont les processus sédimentaires ont fait l'objet de recherches. Par exemple, dans les secteurs de systèmes de barres et barres-bâches présents sur la province, l'évolution de la topographie intertidale est rythmée par des phases de construction et de destruction des barres sableuses. Ces phases traduisent des réorganisations du stock sédimentaire intertidal, dont le volume est stable à moyen terme, en réponse aux variations du forçage hydrodynamique observées à court-terme. Ainsi, les phases de construction des barres résultent de longues périodes d'agitation faible ($H_s < 1$ m), pendant lesquelles les barres se construisent et migrent vers le haut de plage, alors que leur destruction découle d'une augmentation rapide de la hauteur des houles ($H_s > 1$ m) lors des tempêtes (Stépanian *et al*, 2001 ; Stépanian et Levoy, 2003)

Le mouvement des barres de jet de rive (swash) joue un rôle important dans la dynamique sédimentaire par l'apport discontinu de grands volumes de sable à la côte, ce qui permet une meilleure compréhension de l'évolution du trait de côte et des flèches de sable à crochons multiples (Pellerin Le Bas et Levoy, 2018).

Les mouvements de sédiments dans le profil ont été également observés (Bonte, 2013). Les expérimentations menées mettent en évidence la capacité du jet de rive à détruire la berme de haut de plage induisant parfois des affouillements à la base des ouvrages longitudinaux. Le rôle de la marée et de son plan d'eau lors des vives-eaux est également essentiel dans le processus de destruction.

Près des côtes, les échanges sédimentaires entre le domaine marin proprement dit, et plus précisément les « petits-fonds », les plages et les dunes sont permanents. Ces échanges sont limités à une bande côtière d'une largeur variable en fonction des conditions générales (importance de la marée, orientation des courants et des houles dominantes, pente des fonds) (Augris et Clabaut, 2001).

Sur les plages macrotidales, la dynamique sédimentaire éolienne est puissante. Des observations mais sans mesures précises (Bretel, 2003 ; Petit-Berghem, 2012) rapportent que lorsque que vent

souffle sur l'estran découvert à marée basse, l'accumulation éolienne en haut de plage peut être très rapide. Cela contribue à la constitution de stocks de sable (prismes d'accrétion) en haut de plage et à la l'engraissement des massifs dunaires.

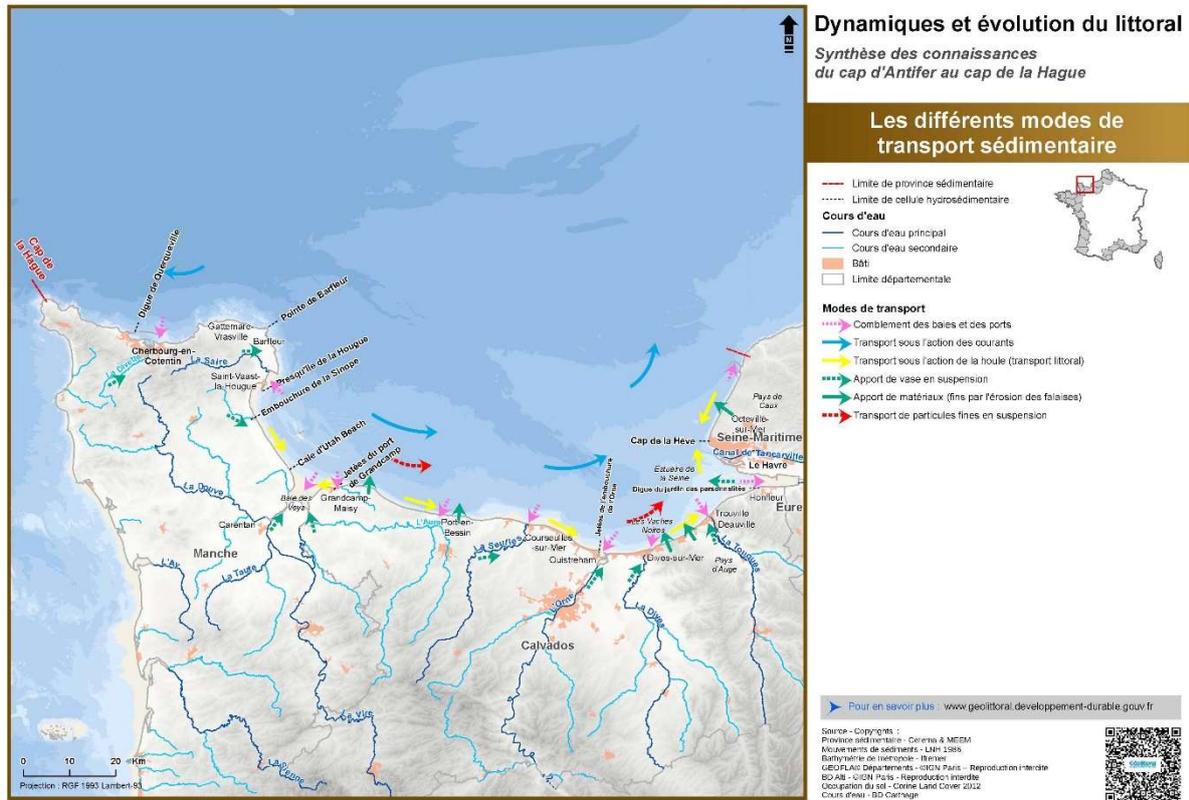


Figure 4.17 : Les différents modes de transport sédimentaire de la province du cap d'Antifer au cap de la Hague

4.3.6 CELLULE HYDROSÉDIMENTAIRE DE JETÉES DE L'EMBOUCHURE DE L'ORNE AUX JETÉES DU PORT DE GRANDCAMP (4)

Dans cette cellule hydrosédimentaire et comme pour la précédente, les mouvements sédimentaires sont décrits depuis les jetées du port de Grandcamp, de l'ouest vers l'est, c'est à dire dans la direction principale de la dérive littorale. Cette cellule comprend l'estuaire de la Seulles.

4.3.6.A. SENS ET INTENSITÉ DES MOUVEMENTS LONGITUDINAUX DE SÉDIMENTS

Dans cette cellule, la Pointe de la Percée, située à environ 10 km à l'Est du port de Grandcamp, est une zone de divergence des transports sédimentaires longitudinaux résultants par dérive littorale. A l'ouest de la Pointe, ces transports sont dirigés vers la baie des Veys. Cette dérive littorale vers l'ouest est bien visible sur la figure 4.30A qui montre bien l'accumulation des sédiments contre la jetée est du port de Grandcamp.



Figure 4.30 : Vues aériennes de la Pointe de la Percée au port de Grandcamp (A) et au droit de Courseulles et de son port (B) (clichés Patrick Gigot, 2011 et 2014)

A l'est de la Pointe de la Percée, les houles de nord-ouest étant dominantes, les transports s'effectuent vers l'estuaire de l'Orne (Stépanian, 2002). Ces derniers atteignent un maximum d'intensité entre Saint-Aubin et l'estuaire de l'Orne (LCHF, 1986 ; Levoy et Larssonneur, 1995).

Entre Port-en-Bessin et l'Orne, la zone littorale est soumise à une érosion intense. Larssonneur (1971) estime que cette zone est la plus exposée aux influences du large : les houles de nord-ouest ou de nord-est ont un impact maximum sur ce secteur de côte. Le transit résultant est orienté vers l'Est comme en témoignent les flèches aux embouchures de la Seulles et de l'Orne (cf. précédemment). De même, les jetées de Courseulles ont subi des accumulations à l'Ouest et des érosions à l'Est (Figure 4.30B). D'après Larssonneur (1971), le transit littoral à proximité de Port-en-Bessin est faible en liaison avec une orientation défavorable des vents de mer et la présence d'un platier rocheux. Il affirme que la plage d'Omaha, entre Vierville et Colleville, constitue une unité sédimentaire à part entière. L'auteur donne aussi quelques précisions sur le rôle d'épi joué par le port artificiel d'Arromanches face au transit. Celui-ci contribuerait en partie à l'érosion des secteurs en aval (entre Arromanches et Courseulles) malgré la présence d'ouvrages de protection. Ces zones sont en effet mal alimentées par le transit induit par les houles de nord-ouest. Cette tendance érosive menaçait sérieusement, en 1971, les plages de Ver et Asnelles (Larssonneur, 1971).

Pourtant, suivant la provenance des houles, **le transit effectif est orienté alternativement vers l'Est (houle de nord-ouest) ou vers l'Ouest (houle de nord-est)**. Cette tendance est plus marquée d'après Larssonneur (1971) entre Saint-Aubin et Lion-sur-Mer. Mais Hommeril (1958) avait déjà émis cette hypothèse suite à ses observations sur la plage de Saint-Aubin (Levoy et Larssonneur, 1995).

4.3.6.B. SENS ET INTENSITÉ DES MOUVEMENTS DE SÉDIMENTS DANS LE PROFIL

Au droit des falaises du Bessin, aucune information n'existe pour définir la dynamique sédimentaire dans le profil. Il peut seulement être envisagé une certaine continuité avec une action des agents marins sur le pied de falaise avec un amenuisement progressif des blocs anguleux en galets et le transport de matériaux érodés dans le profil.

Au droit des plages sableuses, 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 (LCHF, 1986).

Pour ce qui est des quelques cordons dunaires de la cellule, Petit-Berghem (2012) a observé que : a) soit c'est le front dunaire qui recule du fait de l'action destructrice des houles généralement hivernales, le recul pouvant alterner avec des phases de reconstruction par houles de beau temps ; b) soit c'est l'ensemble de la masse sableuse toujours émergée qui recule à cause des transferts de

sédiments par le vent. Sur le long terme, des phases de reculs du cordon peuvent alterner avec des phases de stabilisation ou même de progression du trait de côte. Si les dunes jouent un rôle tampon de modération de l'érosion marine, elles ne remplissent plus toujours leur rôle de digue naturelle, car leur état de conservation n'est pas satisfaisant (forte dégradation...).

Les mouvements sédimentaires transversaux qui caractérisent cette cellule peuvent être décrits au travers de ceux qui s'opèrent sur la plage d'Omaha Beach, et étudiés par Stépanian (2002) dans le cadre de sa thèse. Ce dernier a réalisé un suivi de la plage entre avril 1999 et février 2001 afin de comprendre le comportement saisonnier de cette plage à barres et à bâches .

5. ÉVOLUTION GÉNÉRALE DU LITTORAL ET DES FONDS

6.1.4 CELLULE HYDROSÉDIMENTAIRE DES JETÉES DE L'EMBOUCHURE DE L'ORNE AUX JETÉES DU PORT DE GRANDCAMP

Trois secteurs spécifiques peuvent être distingués dans cette cellule hydrosédimentaire.

6.1.4.B. DE LA JETÉE OUEST DU PORT DE COURSEULLES-SUR-MER À SAINT-CÔME-DE-FRESNÉ Évolution historique

De la jetée ouest du port de Courseulles-sur-Mer à Saint-Côme-de-Fresné, entre 1947 et 2010 (ROLNP/DREAL-BN, 2014), le cordon littoral sableux présente (*Figure 6.30 et tableau 6.11*) :

- **des secteurs stabilisés** et fixés par des ouvrages longitudinaux (perrés en enrochements ou maçonnés) associés à des épis, principalement à Ver-sur-Mer sur près de 2 km ou bien à Asnelles-sur-Mer et Saint-Côme-de-Fresné sur près de 2,3 km ;

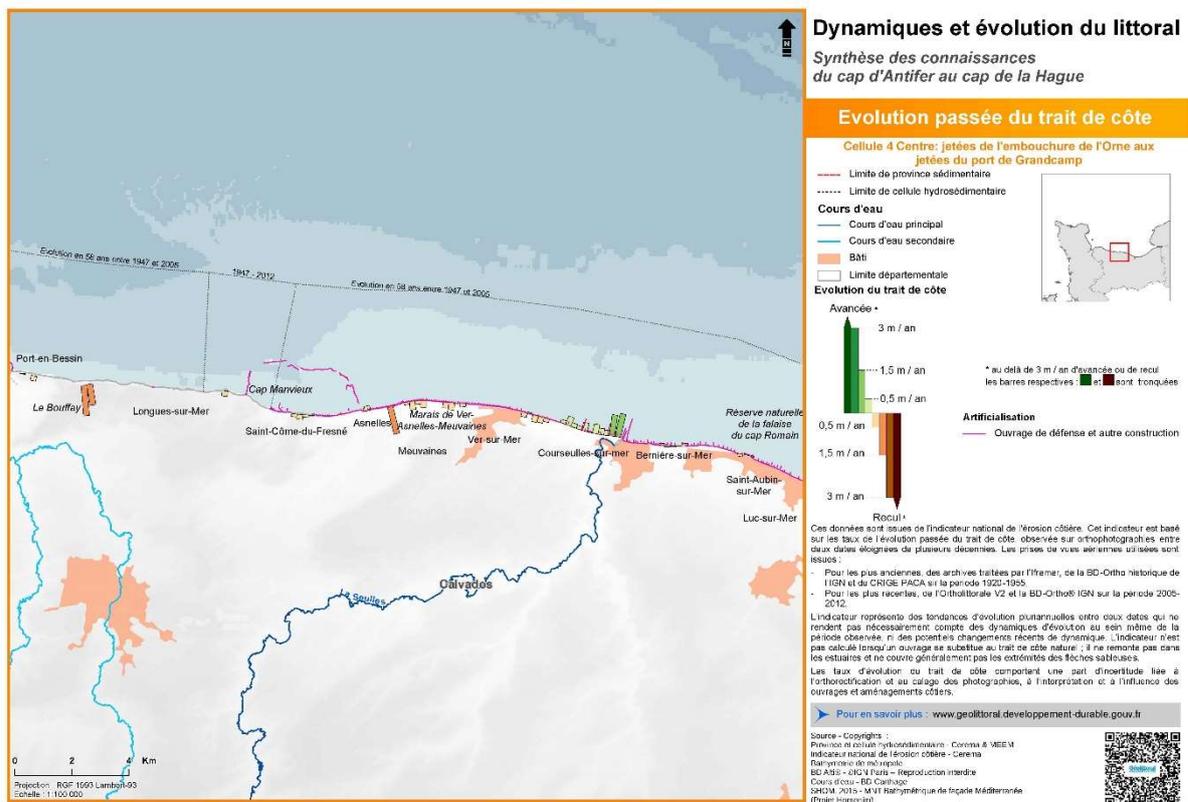


Figure 6.30 : Évolution passée du trait de côte de l'ouest de Saint-Aubin-sur-Mer à Port-en-Bessin

- **des secteurs en accrétion**, comme sur environ 2,6 km à l'ouest des jetées du chenal du port de Courseulles-sur-Mer (accrétion de + 0,14 à + 0,54 m/an, favorisée par les jetées en amont de la dérive littorale), ou bien sur 200 m, à l'ouest du bourg de Ver-sur-Mer, avec une avancée du trait de côte de + 0,38 m/an, favorisée par la présence de trois épis ;
- **des secteurs en érosion**, comme à l'est de Ver-sur-Mer, sur 1 km, avec un recul de - 0,24 m/an, ou bien encore, au droit des marais maritimes, à l'ouest de Ver-sur-Mer jusqu'à Asnelles sur près de 2,4 km, avec un recul de - 0,23 à - 0,26 m/an, mais atteignant une valeur de - 1,00 m/an, sur un tronçon de 300 m à l'est du bourg d'Asnelles. A noter que dans l'ancien catalogue (LCHF, 1986), il était indiqué que le cordon littoral entre Ver-sur-Mer et Asnelles avait reculé de - 1 m/an de 1900 à 1944. A Meuvaines, le recul aurait atteint 2 m/an (100 m sur 50 ans, sans indiquer la période). Ces forts reculs avaient conduit à la réalisation des ouvrages de défense. Le GRESARC (2006) montre que l'évolution du trait de côte entre Ver-sur-Mer et Asnelles sur la période 1947-2005 est clairement érosive avec en 58 ans une intensité croissante de l'est allant de - 15 m à l'est à - 75 m vers l'Ouest. Sur ce secteur, ces

tendances sont confirmées par l'indicateur national de l'érosion côtière (Cerema, 2015) avec un recul entre -0,1 et -1 /an (1947-2005).

Secteur	Période	Quantification (en m/an)	Sources
Secteurs en accrétion : Ouest des jetées du port de Courseulles-sur-Mer & à l'ouest du bourg de Ver-sur-Mer	1947 - 2010	+ 0,14 à + 0,54	ROLNP/DREAL-BN, 2014
	1947 - 2005	Entre 0 et + 0,8	CEREMA/MEDDE, 2015
	1995 – 2011	+ 0,30 à + 0,40	CREC, 2012a
Secteurs en érosion : Est de Ver-sur-Mer, sur 1 km et à l'ouest de Ver-sur-Mer jusqu'à Asnelles sur près de 2,4 km	1900 - 1944	- 1,00	LCHF, 1986
	1947 - 2010	- 0,23 à - 0,26 - 1,00 (max à l'est d'Asnelles)	ROLNP/DREAL-BN, 2014
	1947 - 2005	Entre -0,1 et - 1	CEREMA/MEDDE, 2015
	1995 – 2011	- 0,90	CREC, 2012a

Tableau 6.11 : Vitesse moyenne d'évolution du trait de côte depuis la jetée ouest du port de Courseulles-sur-Mer à Saint-Côme-de-Fresné

Évolution récente des plages

Le suivi de l'évolution du trait de côte et de l'altimétrie des plages à partir de profils transversaux a été réalisé par le CREC pour le compte du CG14 entre octobre 1995 et septembre 2011 sur ce secteur, à partir de 12 stations (dont six pour le suivi du trait de côte) installées au droit du cordon dunaire protégé ou non par un enrochement longitudinal (CREC, 2012a).

Le volume sédimentaire de la plage varie dans le temps et le long de chaque profil. Sur cette période de 16 années, la tendance, depuis le début des suivis, est soit négative avec un abaissement de l'altimétrie de la plage de -1,2 à -11,1 cm/an pour quatre stations, soit positive avec un engraissement de la plage de +1,4 à +1,6 cm/an pour seulement deux stations. Pour les autres stations, les valeurs calculées sont dans la marge d'erreur des mesures, à savoir $\pm 0,1$ cm/an sur le long terme et $\pm 0,5$ cm/par an sur le court terme.

Pour ce qui concerne l'évolution du trait de côte, entre octobre 1995 et septembre 2011, la tendance depuis le début des suivis varie de +0,30 à -0,90 m/an, soit une évolution résiduelle variant de -9,30 m à +3,10 m. Pour deux stations, les valeurs calculées sont dans la marge d'erreur des mesures, à savoir $\pm 0,1$ m/an sur le long terme et $\pm 0,5$ m/par an sur le court terme (CREC, 2012a).

6.1.4C. DE SAINT-CÔME-DE-FRESNÉ AUX JETÉES DU PORT DE GRANDCAMP

Sur environ 32 km (*Figures 6.30 et 6.31*), ce secteur correspond aux falaises vives du Bessin, excepté sur 5,5 km entre Colleville-sur-Mer et Vierville-sur-Mer avec un littoral correspondant à un cordon littoral sableux (Cf. Chapitre 2 du Fascicule 3). Ce cordon sableux est fixé sur 3 km par des ouvrages longitudinaux (perrés en béton et en enrochements) associés à quelques épis (Cf. chapitre 5 du Fascicule 3).

Évolution historique et récente

Pour les falaises, sur une période de l'ordre de 150 années basée sur la comparaison de plans cadastraux datés de 1809 ou 1823 et de photographies aériennes datées de 1947 à 1984 (*Figure 6.32 et Figure 6.33*), les vitesses moyennes de **retrait du pied de falaise** sont variables selon la nature des matériaux (*Figure 6.34*) : compris entre -0,05 et -0,10 m/an pour les falaises entièrement taillées dans les calcaires (Bajocien) et de l'ordre de -0,15 m/an voire localement -0,20 m/an pour les falaises à pied marneux, avec un maximum de -0,25 m/an au Cap Manvieux (*MAQUAIRE, 1990 ; Vioget, 2015*).

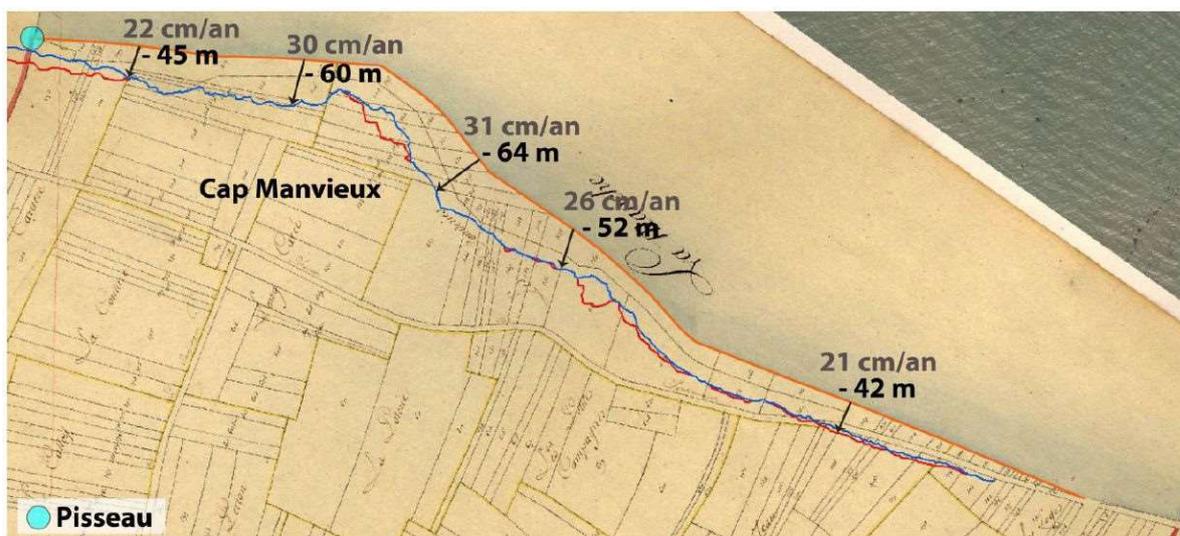


Figure 6.32 : Cadastre Napoléonien de Tracy-sur-Mer de 1809 (en orange : ligne de crête de 1809, en bleu : ligne de crête de 1947, en rouge : ligne de crête de 2012) (in Vioget, 2015)



Figure 6.33 : Cadastre Napoléonien de Manvieux de 1809 (en orange : ligne de crête de 1809, en bleu : ligne de crête de 1947, en rouge : ligne de crête de 2012) (in Vioget, 2015)

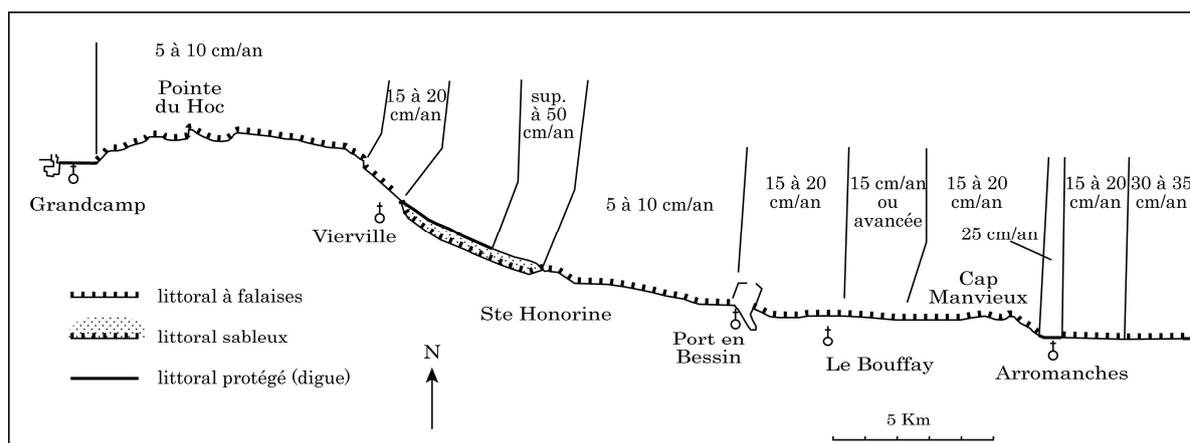


Figure 6.34: Bilan du recul historique des falaises du Bessin entre 1809-1823 et 1984 (in Maquaire, 1990)

Les documents photographiques et les récits permettent aussi d'avancer des ordres de grandeur du recul historique des falaises du Bessin (Tableau 6.14). Dans la région de Longues-sur-Mer, si la date donnée (1750-1760) dans le récit de Skrodski (1888 in ELHAÏ, 1963) est exacte, et en supposant que l'éboulement ait effectivement laissé les trois blocs calcaires, formant les célèbres 'Demoiselles de Fontenailles', plaqués contre le pied de la falaise, le recul moyen serait de l'ordre de -0,40 m/an sur

une période de 150 ans soit plus du double des $-0,15$ à $-0,20$ m/an proposés précédemment par MAQUAIRE (1990). Des cartes postales anciennes de 1901 ou 1902 montrent en effet un bloc calcaire d'une hauteur de 25 m 'la grande demoiselle de Fontenailles' situé sur le platier à environ 70 mètres du pied de la falaise (Figure 6.35).

Ainsi, comme précisé dans l'introduction de ce chapitre, la valeur moyenne de recul de $-0,50$ m/an indiquée dans l'ancien catalogue (LCHF, 1986) est largement surestimée et très variable selon la nature des matériaux armant le pied des falaises.



Figure 6.35 : La demoiselle de Fontenailles, Longues-sur-Mer (Calvados) (carte postale, fond Archives départementales du Calvados)

Pour les falaises, sur la période 1947 et 2005 ou 2012, l'évolution peut être appréhendée par comparaison de différents traits de côte issus de photographies aériennes (Tableau 6.14). Cette évolution du haut de falaise permet de mettre en évidence seulement des reculs très localisés liés aux événements ponctuels (glissements, écroulements, etc. décrits dans la section 6.2) avec des reculs de 6-10 à 20 m (MAQUAIRE et LEVOY, 2005 ; Vioget, 2015).

Les valeurs données par ROLNP/DREAL-BN (2014), sur une période d'une soixantaine d'années et synthétisées par tronçons homogènes sont très faibles (de 0 à $-0,19$ m/an), ne reflètent que partiellement la dynamique de la falaise. En effet, celle-ci tend plutôt à reculer de manière hétérogène, par indentations successives, liées à des événements ponctuels (Figure 6.32 et Figure 6.33). À la pointe du Hoc et pour sauvegarder le poste de commandement de la 2nd guerre mondiale, l'ABMC (American Battle Monuments Commission) a effectué des travaux pour renforcer la falaise et la préserver de l'érosion marine (Cf. 5.1.2.c, chapitre 5 du Fascicule 3).

Secteur	Période	Quantification (en m/an)	Sources
Falaises du Bessin (sauf Omaha Beach)	?	- 0,50	LCHF, 1986
De Saint-Côme-de-Fresné à Colleville-sur-Mer (falaises)	1809 - 1984	- 0,05 à - 0,20 - 0,25 (cap Manvieux)	Maquaire, 1990 ; Vioget, 2015
	1947 - 2010	De 0 à - 0,19 - 0,59 (Le Bouffay)	ROLNP/DREAL-BN, 2014
	1947 - 2005	Entre 0 et - 0,5 ponctuellement Entre - 0,7 et - 1 (Le Bouffay)	CEREMA, 2015
Omaha Beach (côte basse)	1809 - 1984	- 0,50	Maquaire, 1990
	1947 - 2010	- 0,10 à + 0,30	ROLNP/DREAL-BN, 2014
	1947 - 2005	Entre - 0,2 et + 0,1 (secteur non protégé)	CEREMA, 2015
	1995 – 2011	Aucune tendance significative	CREC, 2012
De Vierville-sur-Mer à la jetée du port de Grandcamp (falaises)	1809 - 1984	- 0,05 à - 0,20	Maquaire, 1990
	1947 - 2010	- 0,01	ROLNP/DREAL-BN, 2014
	1947 - 2005	- 0,1 à +0,1 (entre Cricqueville-en-Bessin et la jetée du port de Grandcamp)	CEREMA, 2015

Tableau 6.14 : Vitesse moyenne d'évolution du trait de côte de Saint-Côme-de-Fresné à la jetée du port de Grandcamp

6. BILAN SÉDIMENTAIRE GÉNÉRAL

Dynamiques et évolution du littoral Synthèse des connaissances du cap d'Antifer au cap de la Hague

Bilan sédimentaire actuel

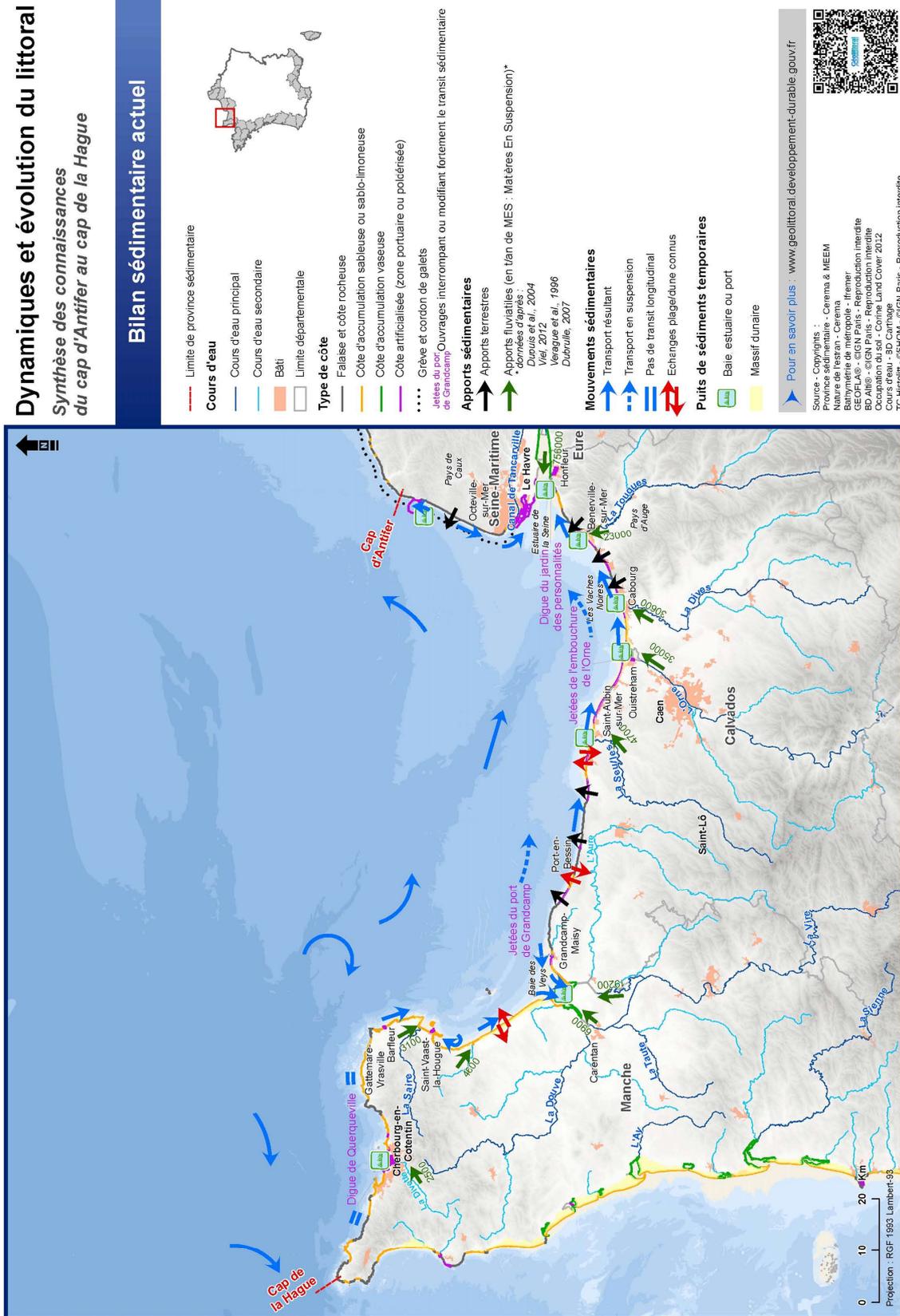
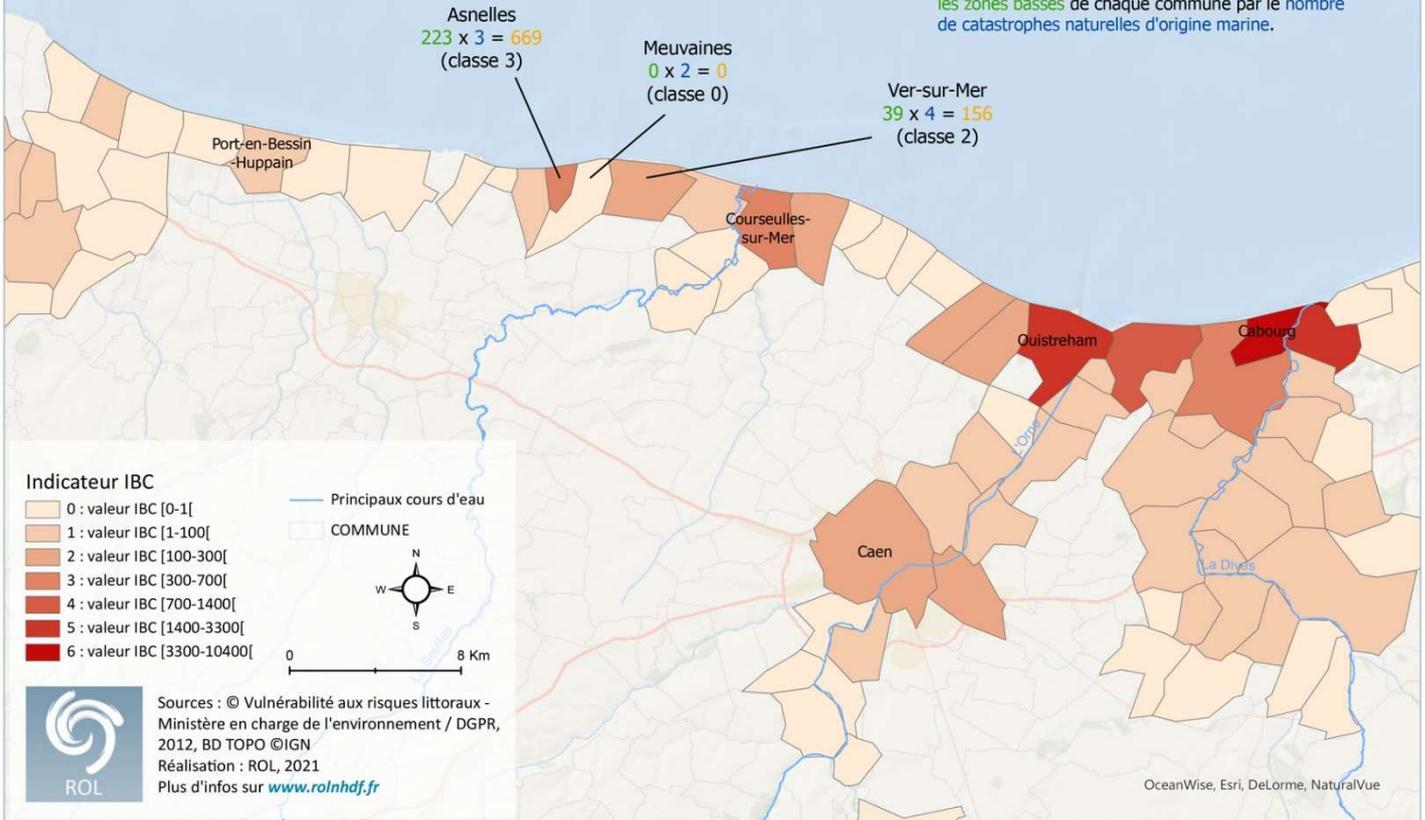


Figure 7.2 : Bilan sédimentaire actuel sur la province du cap d'Antifer au cap de la Hague

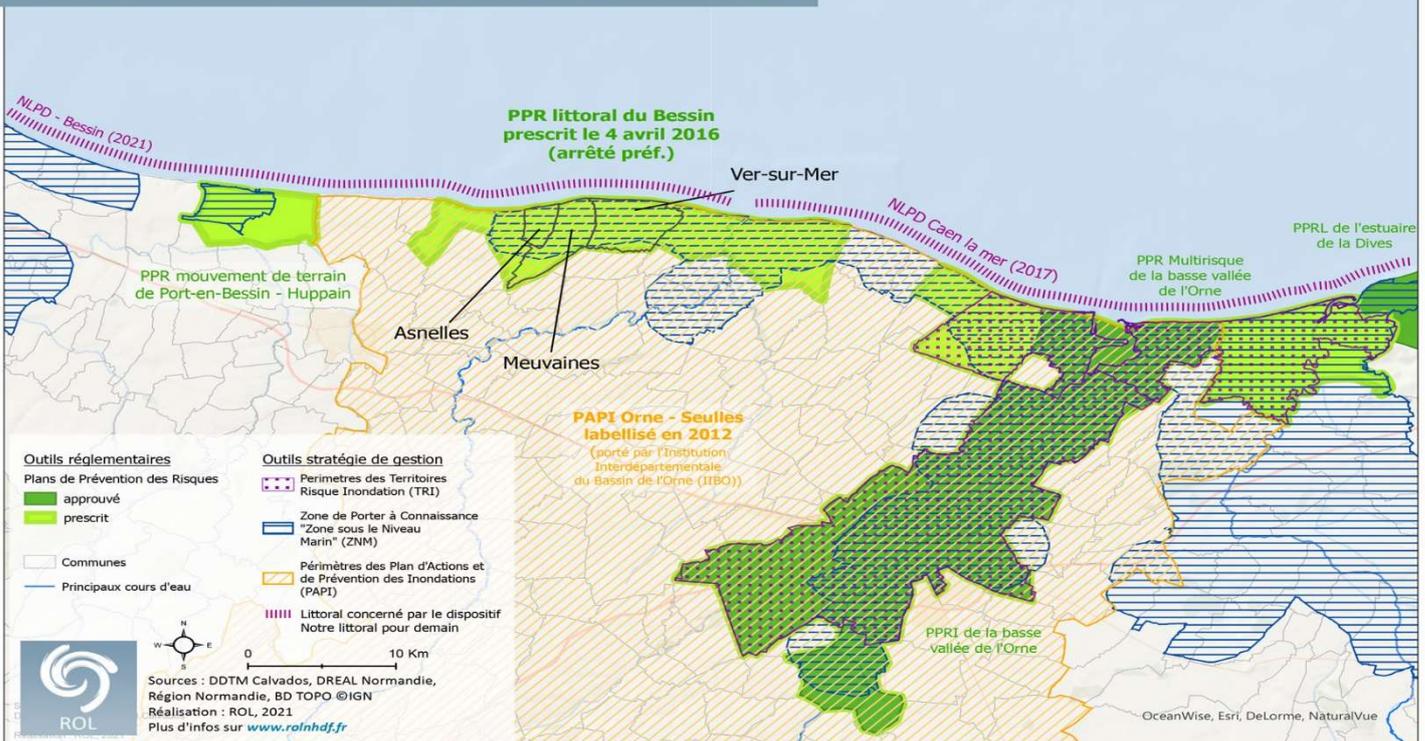
7. PLANCHES CARTOGRAPHIQUES RÉALISÉES PAR LE RÉSEAU D'OBSERVATION DU LITTORAL

Vulnérabilité des communes au risque de submersion marine sur la côte du Bessin, selon l'indicateur IBC

i L'indicateur IBC représente le degré d'intensité du bâti situé dans les zones basses sous les niveaux marins centennaux et dans les communes ayant fait l'objet d'un arrêté de catastrophes naturelles d'origine marine. Répartie en 7 classes, la **valeur IBC** résulte de la multiplication du **nombre de bâtiments situés dans les zones basses** de chaque commune par le nombre de catastrophes naturelles d'origine marine.



Périmètres réglementaires et stratégies de gestion sur le littoral du Bessin



Evolution de la frange côtière du Bessin entre 1947 et 2020 :
Asnelles



Evolution de la frange côtière du Bessin entre 1947 et 2020 :
d'Asnelles à Ver-sur-Mer



Evolution de la frange côtière du Bessin entre 1947 et 2020 : marais de Meuvaines et Ver-sur-Mer



Evolution de la frange côtière du Bessin entre 1947 et 2020 : Ver-sur-Mer



Dynamique littorale du Bessin : transit sédimentaire et évolution du trait de côte entre 1947 et 2010

i Le ROL en partenariat avec la DREAL Normandie a réalisé en 2015 une expertise pour comprendre la tendance évolutive du littoral du Calvados et de la Manche. Les traits de côte de 1947 et 2010 étant déjà identifiés par le CEREMA, le ROL a, selon la même méthodologie, digitalisé les traits de côte de 1977, 1982, 1992 et 2001 à une échelle spatiale fine et à une échelle temporelle suffisamment large (60 ans) pour pouvoir traduire le film de l'évolution de ce littoral. Cette information synthétisée est également disponible sous forme d'histogrammes au pas de 10 mètres, consultable sur l'atlas en ligne du ROL et sur les cartes suivantes.



Dynamique littorale du Bessin : évolution du trait de côte entre 1947 et 2010 Arranches / Saint-Côme-de-Fresné



Traits de côte

- 2010 (CEREMA)
- 2001 (ROLNP_DREALBN)
- 1992 (ROLNP_DREALBN)
- 1982 (ROLNP_DREALBN)
- 1977 (ROLNP_DREALBN)
- 1947 (CEREMA)
- artificiel (ouvrages)

Evolution du trait de côte de 1947 à 2010 (histogrammes, tous les 10m)

- Accrétion forte : plus de 3 m/an
- Accrétion modérée : de 1 à 3 m/an
- Accrétion faible : de 0 à 1 m/an
- Stabilité relative
- Erosion faible : de 0 à 1 m/an
- Erosion modérée : de 1 à 3 m/an
- Erosion forte : plus de 3 m/an

Evolution du trait de côte 1947 - 2010 par tronçon homogène de même tendance

- Erosion de plus d'1 m/an
- Erosion de 0 à 1 m/an
- Accrétion de 0 à 1 m/an
- Accrétion de plus d'1 m/an



Sources : Evolution du littoral de la Manche (50) et du Calvados (14) de 1947 à 2010 (ROL - DREAL Normandie, 2015), BD TOPO ©IGN
Réalisation : ROL, 2021 | Plus d'infos sur www.rolnhdf.fr

**Dynamique littorale du Bessin :
évolution du trait de côte entre 1947 et 2010**
Secteur du Cap Manvieux / Tracy-sur-Mer



Traits de côte

- 2010 (CEREMA)
- 2001 (ROLNP_DREALBN)
- 1992 (ROLNP_DREALBN)
- 1982 (ROLNP_DREALBN)
- 1977 (ROLNP_DREALBN)
- 1947 (CEREMA)
- artificiel (ouvrages)

Evolution du trait de côte de 1947 à 2010

(histogrammes, tous les 10m)

- Accrétion forte : plus de 3 m/an
- Accrétion modérée : de 1 à 3 m/an
- Accrétion faible : de 0 à 1 m/an
- Stabilité relative
- Erosion faible : de 0 à 1 m/an
- Erosion modérée : de 1 à 3 m/an
- Erosion forte : plus de 3 m/an

Evolution du trait de côte 1947 - 2010

par tronçon homogène de même tendance

- Erosion de plus d'1 m/an
- Erosion de 0 à 1 m/an
- Accrétion de 0 à 1 m/an
- Accrétion de plus d'1 m/an



Sources : Evolution du littoral de la Manche (50) et du Calvados (14) de 1947 à 2010 (ROL - DREAL Normandie, 2015), BD TOPO ©IGN
Réalisation : ROL, 2021 | Plus d'infos sur www.rolnhdf.fr

**Dynamique littorale du Bessin :
évolution du trait de côte entre 1947 et 2010**
Asnelles / Meuvaines



Traits de côte

- 2010 (CEREMA)
- 2001 (ROLNP_DREALBN)
- 1992 (ROLNP_DREALBN)
- 1982 (ROLNP_DREALBN)
- 1977 (ROLNP_DREALBN)
- 1947 (CEREMA)
- artificiel (ouvrages)

Evolution du trait de côte de 1947 à 2010

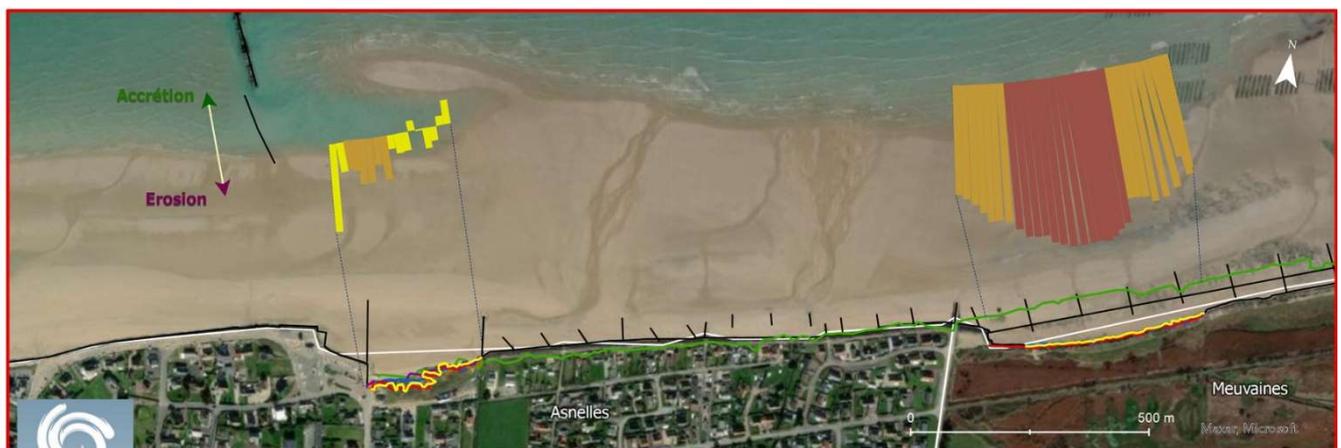
(histogrammes, tous les 10m)

- Accrétion forte : plus de 3 m/an
- Accrétion modérée : de 1 à 3 m/an
- Accrétion faible : de 0 à 1 m/an
- Stabilité relative
- Erosion faible : de 0 à 1 m/an
- Erosion modérée : de 1 à 3 m/an
- Erosion forte : plus de 3 m/an

Evolution du trait de côte 1947 - 2010

par tronçon homogène de même tendance

- Erosion de plus d'1 m/an
- Erosion de 0 à 1 m/an
- Accrétion de 0 à 1 m/an
- Accrétion de plus d'1 m/an



Sources : Evolution du littoral de la Manche (50) et du Calvados (14) de 1947 à 2010 (ROL - DREAL Normandie, 2015), BD TOPO ©IGN
Réalisation : ROL, 2021 | Plus d'infos sur www.rolnhdf.fr

**Dynamique littorale du Bessin :
évolution du trait de côte entre 1947 et 2010**
Meuvaines / Ver-sur-Mer

Traits de côte

- 2010 (CEREMA)
- 2001 (ROLNP_DREALBN)
- 1992 (ROLNP_DREALBN)
- 1982 (ROLNP_DREALBN)
- 1977 (ROLNP_DREALBN)
- 1947 (CEREMA)
- artificiel (ouvrages)

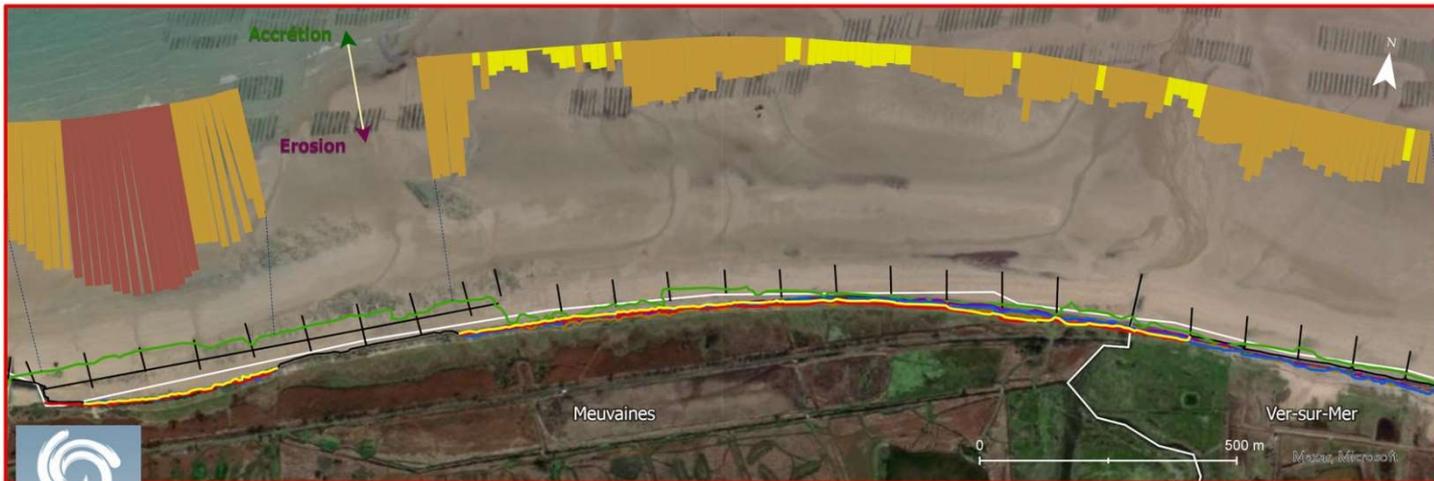
Evolution du trait de côte de 1947 à 2010
(histogrammes, tous les 10m)

- Accrétion forte : plus de 3 m/an
- Accrétion modérée : de 1 à 3 m/an
- Accrétion faible : de 0 à 1 m/an
- Stabilité relative
- Erosion faible : de 0 à 1 m/an
- Erosion modérée : de 1 à 3 m/an
- Erosion forte : plus de 3 m/an



Evolution du trait de côte 1947 - 2010
par tronçon homogène de même tendance

- Erosion de plus d'1 m/an
- Erosion de 0 à 1 m/an
- Accrétion de 0 à 1 m/an
- Accrétion de plus d'1 m/an



Sources : Evolution du littoral de la Manche (50) et du Calvados (14) de 1947 à 2010 (ROL - DREAL Normandie, 2015), BD TOPO ©IGN
Réalisation : ROL, 2021 | Plus d'infos sur www.rolnhdf.fr

**Dynamique littorale du Bessin :
évolution du trait de côte entre 1947 et 2010**
Ver-sur-Mer

Traits de côte

- 2010 (CEREMA)
- 2001 (ROLNP_DREALBN)
- 1992 (ROLNP_DREALBN)
- 1982 (ROLNP_DREALBN)
- 1977 (ROLNP_DREALBN)
- 1947 (CEREMA)
- artificiel (ouvrages)

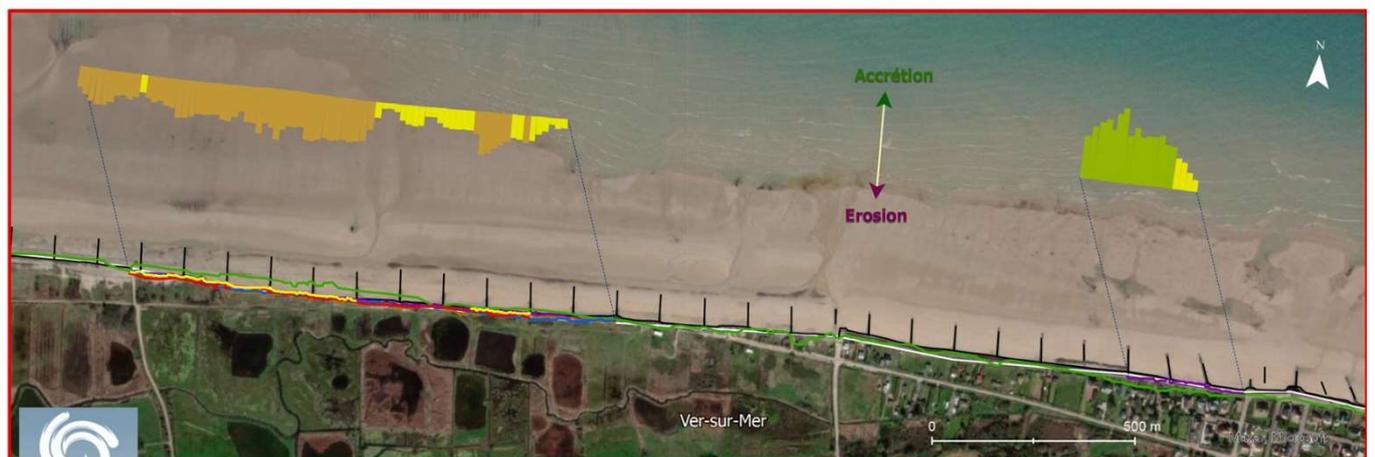
Evolution du trait de côte de 1947 à 2010
(histogrammes, tous les 10m)

- Accrétion forte : plus de 3 m/an
- Accrétion modérée : de 1 à 3 m/an
- Accrétion faible : de 0 à 1 m/an
- Stabilité relative
- Erosion faible : de 0 à 1 m/an
- Erosion modérée : de 1 à 3 m/an
- Erosion forte : plus de 3 m/an



Evolution du trait de côte 1947 - 2010
par tronçon homogène de même tendance

- Erosion de plus d'1 m/an
- Erosion de 0 à 1 m/an
- Accrétion de 0 à 1 m/an
- Accrétion de plus d'1 m/an



Sources : Evolution du littoral de la Manche (50) et du Calvados (14) de 1947 à 2010 (ROL - DREAL Normandie, 2015), BD TOPO ©IGN
Réalisation : ROL, 2021 | Plus d'infos sur www.rolnhdf.fr

Vulnérabilité des communes au risque de submersion marine et catastrophes naturelles liées à la mer sur la côte du Bessin

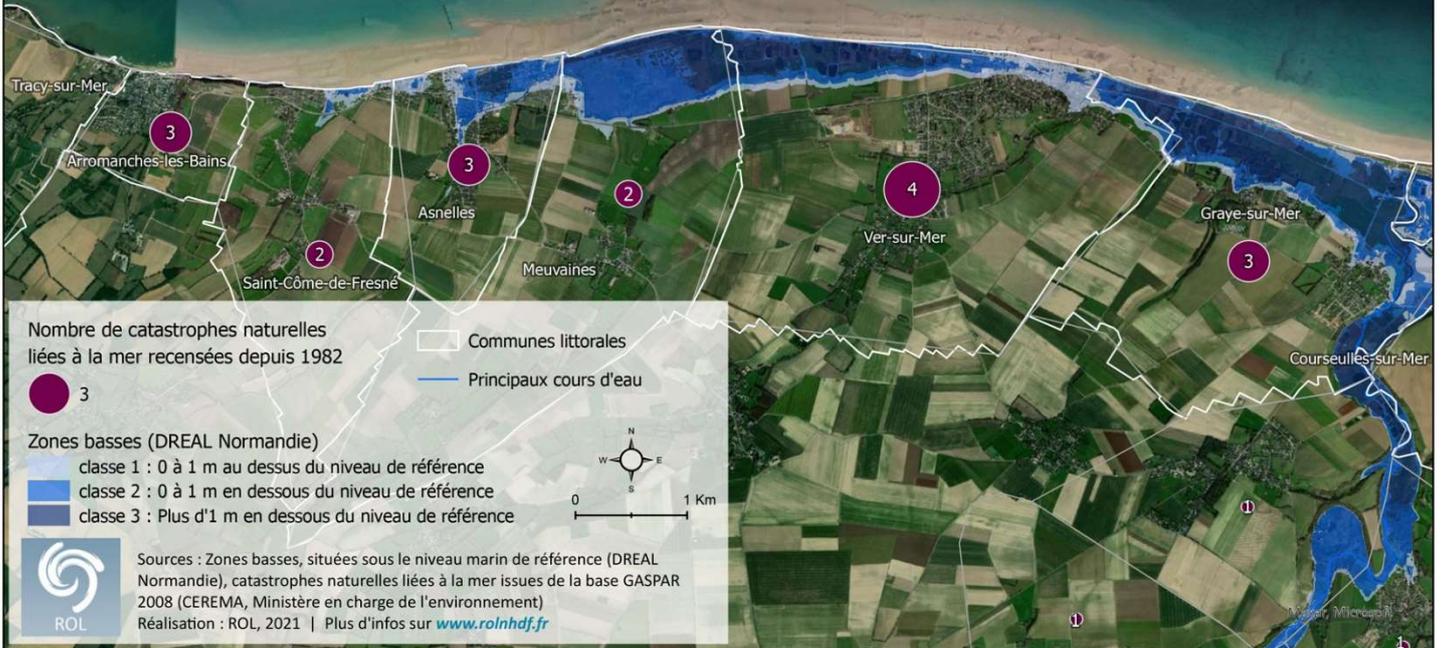
Les **catastrophes naturelles liées à la mer** considérées à partir de la base CATNAT (2008) sont :

- de type "chocs mécaniques liés à l'action des vagues"
- de type "tempête"

+ tempête de 1999 classée en "inondations, coulées de boue et mouvements de terrain"

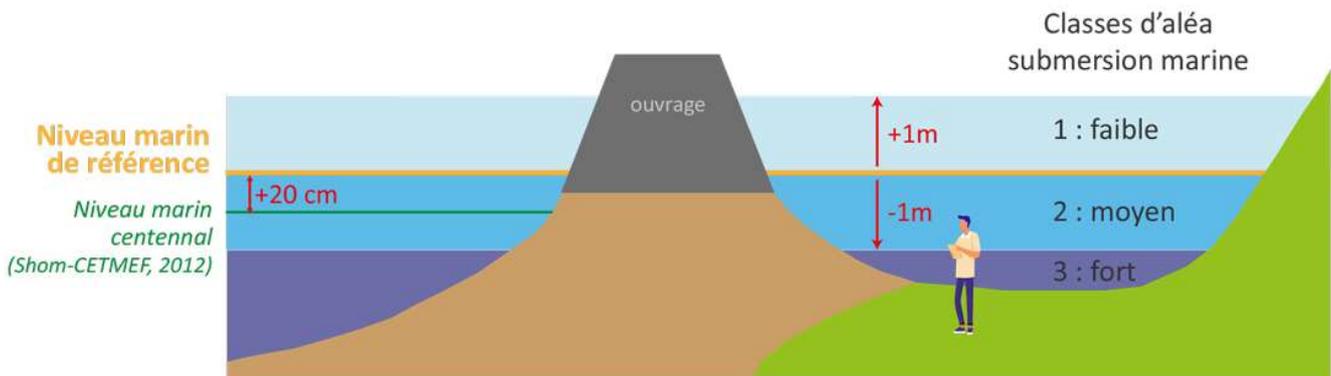
i L'atlas des Zones sous le Niveau Marin (ZNM) cartographie l'ensemble des territoires topographiquement situés sous un niveau marin de référence. Cette cote (NMR) a été défini en prenant le **niveau marin centennal** (établi par le Shom en 2012), auquel **20 cm** ont été ajoutés pour prendre en compte l'élévation du niveau de la mer dû au changement climatique (cf. guide PPRL). On considère que tout ce qui se trouve en dessous de cette cote est vulnérable à la submersion marine. Ce niveau est donc projeté sur un Modèle Numérique de Terrain (résolution 1m) pour déterminer les zones dites "basses".

Le **niveau marin de référence** pour les communes d'Asnelles, Meuvaines et Ver-sur-Mer est de $4,4 + 0,2 = 4,6 \text{ m IGN69}$.



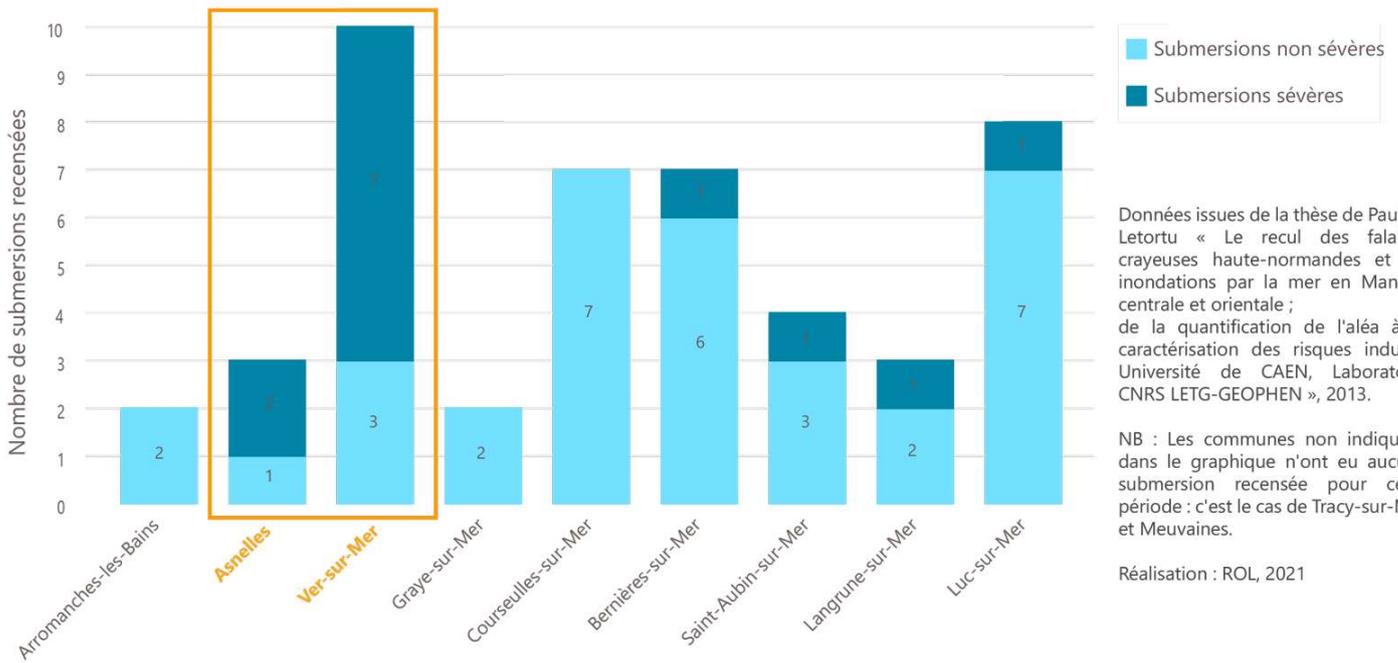
ZONES BASSES - COUPE TOPOGRAPHIQUE

ROL, 2021



* prise en compte de l'élévation du niveau de la mer liée au changement climatique (guide méthodologique PPRL, 2014)
Schéma issu de la notice ZNM DREAL Normandie (2014) adapté par le ROL

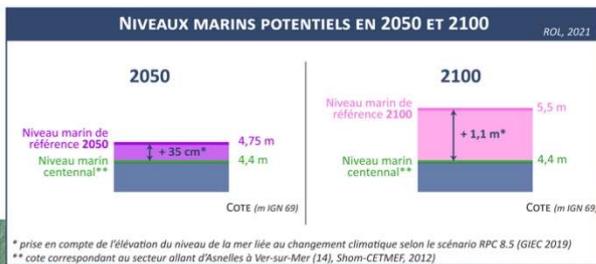
Submersions marines recensées entre 1950 et 2010 d'Arromanches-les-Bains à Luc-sur-Mer



Données issues de la thèse de Pauline Letortu « Le recul des falaises crayeuses haute-normandes et les inondations par la mer en Manche centrale et orientale ; de la quantification de l'aléa à la caractérisation des risques induits » Université de CAEN, Laboratoire CNRS LETG-GEOPHEN », 2013.

NB : Les communes non indiquées dans le graphique n'ont eu aucune submersion recensée pour cette période : c'est le cas de Tracy-sur-Mer et Meuvaines.

Réalisation : ROL, 2021



Le littoral du Bessin face au changement climatique : submersions potentielles à horizon 2050 et 2100



zone située en dessous du niveau marin centennal (4,4 m NGF)

Prise en compte de l'élévation du niveau marin selon le scénario RPC8.5 du GIEC (2019) :

zone située en dessous du niveau marin centennal (4,4 m NGF) + valeur haute d'élévation du niveau marin pour 2050 (+0,35 m)

zone située en dessous du niveau de référence centennal (4,4 m NGF) + valeur haute d'élévation du niveau marin pour 2100 (+1,1 m)

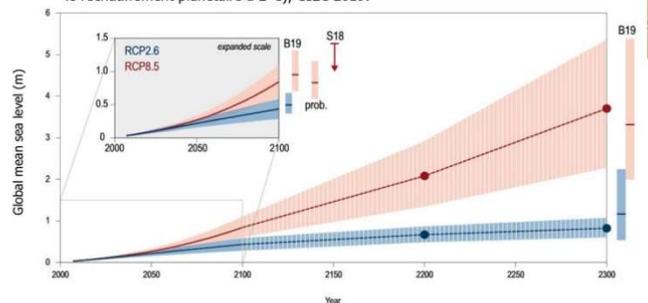


Sources : niveau d'eau de référence centennal issu du PPRU du Bessin (2019), valeurs d'élévation du niveau marin moyen (GIEC, 2019), altimétrie MNT 1m et ortho littorale 10cm (ROL Normandie - Hauts-de-France, 2020), communes BD TOPO ©IGN

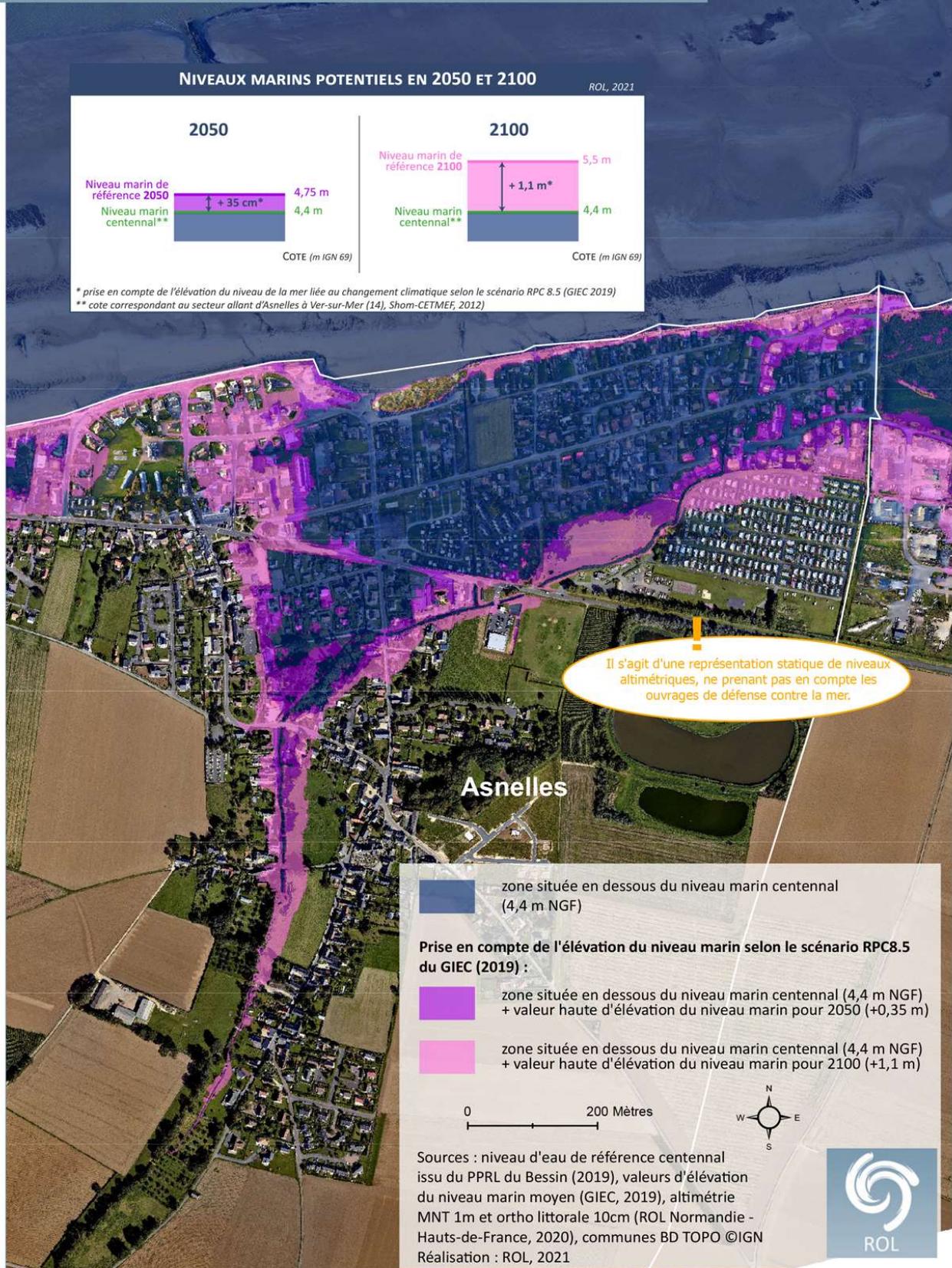


0 1 Km

Scénarios d'élévation du niveau marin moyen sous l'effet du changement climatique jusqu'en 2300 : comparaison du profil RCP 8.5 (scénario le plus pessimiste) au profil RCP 2.6 (intégration des effets de politiques de réduction des émissions afin de limiter le réchauffement planétaire à 2°C), GIEC 2019.



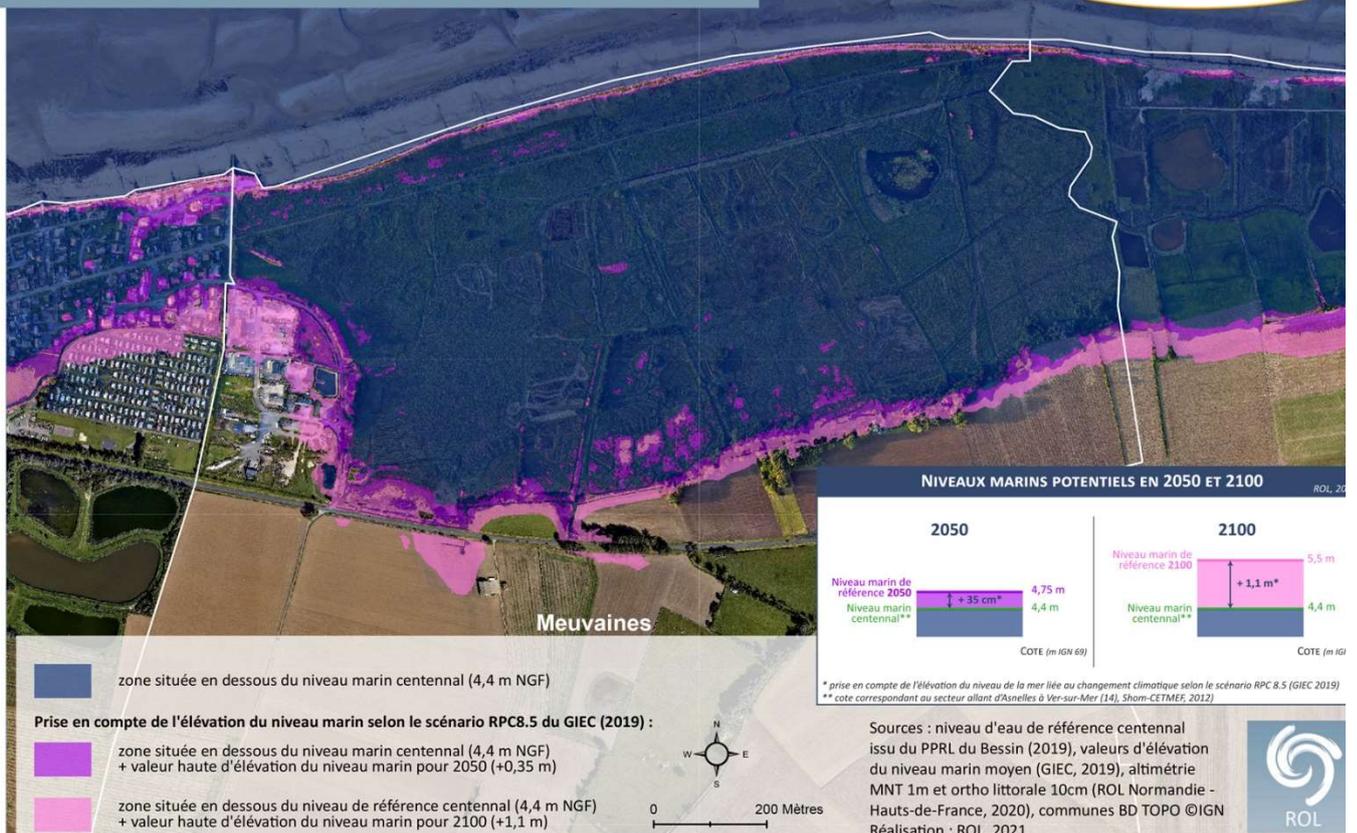
Le littoral du Bessin face au changement climatique : submersions potentielles à horizon 2050 et 2100 - Asnelles



Le littoral du Bessin face au changement climatique : submersions potentielles à horizon 2050 et 2100 - Ver-sur-Mer



Le littoral du Bessin face au changement climatique : submersions potentielles à horizon 2050 et 2100 - Meuvaines



NIVEAUX MARINS POTENTIELS EN 2050 ET 2100

ROL, 2021



* prise en compte de l'élévation du niveau de la mer liée au changement climatique selon le scénario RPC 8.5 (GIEC 2019)

** cote correspondant au secteur allant d'Asnelles à Ver-sur-Mer (14), Shom-CETMEF, 2012)



Crédit photo : © Larrey – Conservatoire du Littoral



Crédit photo : © Larrey – Conservatoire du Littoral



Crédit photo : © Larrey – Conservatoire du Littoral



Crédit photo : © Larrey – Conservatoire du Littoral



Crédit photo : © Larrey – Conservatoire du Littoral



Crédit photo : © Larrey – Conservatoire du Littoral



Crédit photo : © Larrey – Conservatoire du Littoral

