

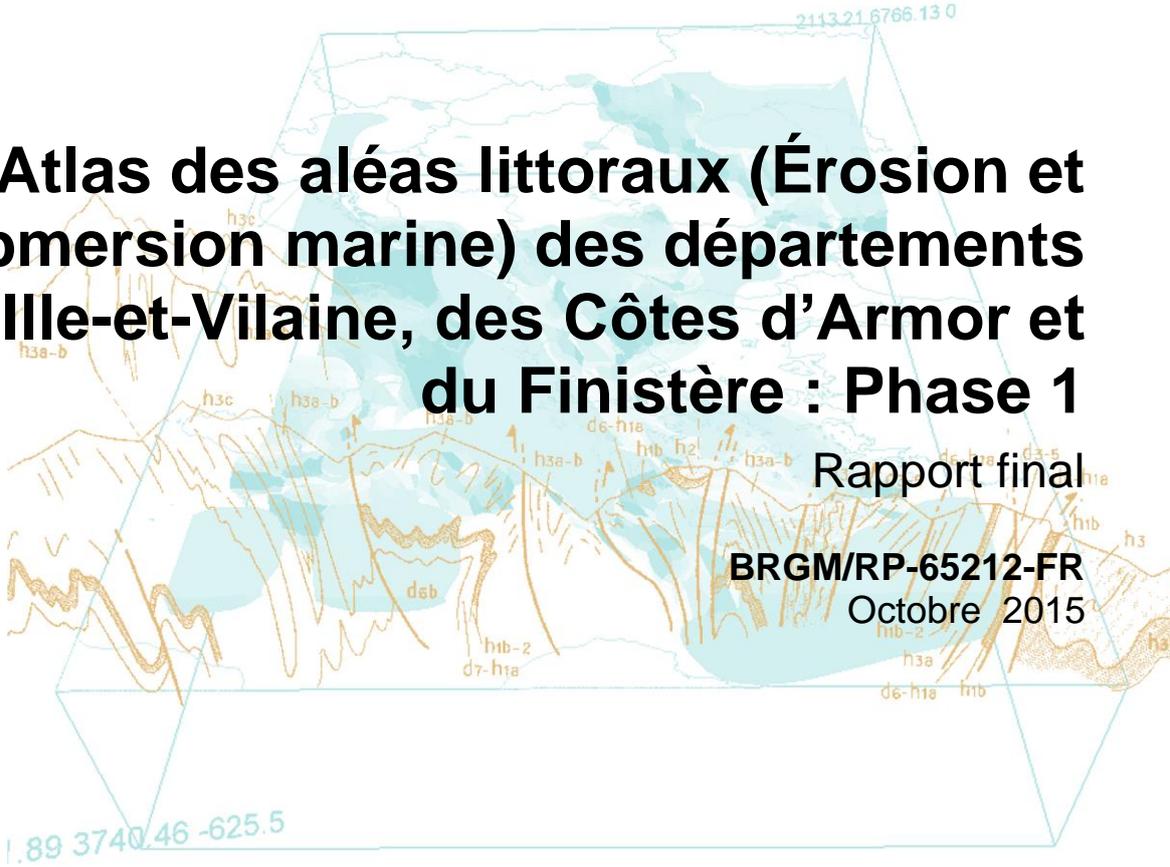


# Atlas des aléas littoraux (Érosion et Submersion marine) des départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère : Phase 1

Rapport final

BRGM/RP-65212-FR

Octobre 2015





# Atlas des aléas littoraux (Érosion et Submersion marine) des départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère : Phase 1

Rapport final

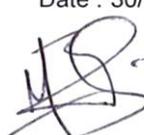
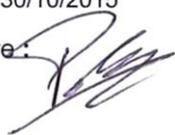
**BRGM/RP-65212-FR**

Octobre 2015

Étude réalisée dans le cadre des opérations (projets) de Service public (Recherche) du BRGM 11-LIT-A34

**J.-M. SCHROËTTER et E. BLAISE**

Avec la collaboration de V. DEBERT, B. LE GALL, G. GILBERT, H. TISSOT, F. MEUNIER, J. AUDO, F. PILLIOS, M. PREMALLION, B. GOUYGOU ET S. SUANEZ

<p><b>Vérificateur :</b></p> <p>Nom : Yann BALOUIN / Eric PALVADEAU</p> <p>Date : 30/10/2014 – 30/10/2015</p> <p>Signature:  </p>
---

<p><b>Approbateur :</b></p> <p>Nom : Eric GOMEZ</p> <p>Date : 30/10/2015</p> <p></p>
---

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

# Avertissement

Pour des commodités de lecture, ce rapport a été organisé en neuf rapports (**10 chapitres**) :

- **un chapitre** de présentation du contenu, et rappel contractuel etc. ;
- et **neuf chapitres** correspondant au découpage réalisé des côtes d'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère, appelé « **Compartiment** », tel que : **Baie du Mont-Saint-Michel, Côte d'Émeraude, Baie de Saint-Brieuc, Côtes du Trégor-Goélo, Côtes du Nord-Finistère, Iroise, Baie d'Audierne et côtes du Sud-Finistère.**

Pour chaque rapport/chapitre, les différentes méthodologies ont été rappelées afin qu'une personne intéressée que par un seul « Compartiment » par exemple : Côte d'Émeraude, n'est à lire que le chapitre 1 et le chapitre 4 : **Compartiment 3 : Côte d'Émeraude.**

Ce rapport est accompagné de données numériques constituant un Système d'Information Géographique (SIG) du littoral des départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère, d'environ 2 070 km de linéaire de côtes.

La caractérisation du trait de côte a été réalisée pour une validité cartographique au 1/15 000<sup>ème</sup>.

**Mots-clés** : Littoral, Aléa, Submersion, Érosion, Géomorphologie, Tempêtes, Bretagne, Finistère, Côtes-d'Armor et Ille-et-Vilaine

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**SCHROËTTER J.-M. et BLAISE E., avec la collaboration de V. DEBERT, B. LE GALL, G. GILBERT, H. TISSOT, F. MEUNIER, J. AUDO, F. PILLIOS, M. PREMALLION, B. GOUYGOU, E. PLAVADEAU ET S. SUANEZ (2015) - Atlas des aléas littoraux (Érosion et Submersion marine) des départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère : Phase 1, Rapport final, BRGM/RP-65212-FR, 1282., 861 ill., 19 annexes, 1 CD.**

© BRGM, 2015, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

**C**et atlas des aléas littoraux des départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère, est composé pour chaque compartiment de deux parties distinctes :

1. une partie synthèse bibliographique ;
2. et une partie acquisition de données.

La **Partie « synthèse bibliographique »** contient :

- une présentation du milieu humain et naturel (géographie, géomorphologie et géologie) ;
- des paramètres hydrodynamiques (Agitations de la mer) ;
- et des aléas érosion et submersion marine déclinés en éléments : ponctuels (points), linéaires de côtes en érosion et surfaciques (surface submergée),

tirés de la littérature sur le trait de côte des trois départements.

La **Partie « acquisition »** contient :

- le relevé et compilation de l'ensemble des mouvements de terrain littoraux ;
- le relevé et compilation de l'ensemble des cavités littorales ;
- des observations de dégâts ou de réparations sur des ouvrages littoraux ;
- une caractérisation géomorphologique du trait de côte ;
- l'analyse cinématique sur 60 ans environ des côtes d'accumulation,

qui ont permis la définition d'une prédisposition à l'érosion des côtes à falaises et l'analyse de la cinématique des côtes d'accumulation (plages de sables ou de galets), permettant de déterminer leur tendance à l'érosion ou à l'accrétion.

Cette partie intègre également le **recensement des tempêtes ou évènements dommageables à la côte** pour les trois départements en faisant la synthèse de données déjà existantes.

L'analyse porte sur **2 070 km de côtes**. Ainsi, pour faciliter la lecture, les données sont regroupées en neuf compartiments distincts nommés : Baie du Mont-Saint-Michel, la Côte d'Émeraude, la Baie de Saint-Brieuc, la côte du Trégor-Goélo, les côtes du Nord-Finistère, l'Iroise, la Baie d'Audierne et les côtes du Sud-Finistère.

L'ensemble des données issues des parties synthèse bibliographique et acquisition de terrain a été **géoréférencé**, et un **Système d'Information Géographique (SIG)** a été créé pour une meilleure utilisation future. L'échelle de validité est celle du **1/15 000**.



# Sommaire

<b>Liste des Sigles</b> .....	<b>7</b>
<b>Glossaire</b> .....	<b>8</b>
<b>Liste des illustrations</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Chapitre 1 - Introduction</b> .....	<b>15</b>
<b>2. Chapitre 1 – Contexte &amp; Organisation du projet</b> .....	<b>19</b>
2.1. LA POLITIQUE PUBLIQUE EN FAVEUR DU LITTORAL .....	19
2.1.1. Quelques rappels fondamentaux : <i>les notions d'aléa, enjeu, risque et vulnérabilité</i> .....	19
2.1.2. La gestion du trait de côte, l'émergence d'une approche responsable et durable .....	20
2.1.3. L'application d'une stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières.....	21
<b>3. Chapitre 1 - Le projet d'Atlas des aléas littoraux</b> .....	<b>23</b>
3.1. LES OBJECTIFS .....	23
3.2. DEROULEMENT .....	23
3.3. ARTICULATION DE LA PHASE 1 .....	23
3.4. ORGANISATION DE LA PHASE 1 .....	24
<b>Chapitre 2 - COMPARTIMENT 1</b> .....	<b>29</b>
<b>Baie du Mont Saint-Michel</b> .....	<b>29</b>
<b>4. La Baie du Mont-Saint-Michel : Présentation</b> .....	<b>37</b>
<b>4.1. GEOGRAPHIE « HUMAINE »</b> .....	<b>38</b>
<b>4.2. PORTS PRINCIPAUX</b> .....	<b>42</b>
4.3. ARRETES DE CATASTROPHES NATURELLES ET PLAN DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS LITTORAUX (PPRNL) .....	43
4.4. GEOMORPHOLOGIE ET GEOLOGIE LITTORALE .....	44
<b>5. Paramètres / Agents hydrodynamiques</b> .....	<b>59</b>
5.1. LA MAREE .....	59
5.2. ETAT DE MER (VAGUES, HOULES ET NIVEAUX EXTREMES).....	62
5.2.1. La Houle (et les vagues).....	62
5.2.2. Niveaux extrêmes : surcotes et décotes .....	64
5.3. LES VENTS.....	69
<b>6. Analyse historique des aléas littoraux</b> .....	<b>73</b>
6.1. RISQUE NATUREL : QUELQUES RAPPELS .....	73
6.1.1. Les aléas .....	73
6.1.2. Les enjeux .....	73
6.1.3. Les risques .....	73
6.1.4. La vulnérabilité .....	73
6.2. L'EROSION LITTORALE ET LA SUBMERSION MARINE.....	74

6.2.1.	L'aléa « érosion littorale » .....	74
6.2.2.	L'aléa « submersion marine » .....	79
6.2.3.	L'aléa « inondation estuarienne» .....	82
<b>7.</b>	<b>Acquisitions de terrain (Géomorphologie, Prédiposition à l'érosion et Cinématique du trait de côte).....</b>	<b>85</b>
7.1.	« GEOMORPHOLOGIE » DU TRAIT DE COTE .....	85
7.1.1.	Eléments de méthodologie .....	85
7.1.2.	La « géomorphologie » du trait de côte des trois départements.....	90
7.2.	PREDISPOSITION A L'EROSION DES COTES A FALAISES .....	94
7.2.1.	Le levé de terrain ayant trait à l'érosion .....	94
7.2.2.	Synthèse des éléments relevés lors de la phase terrain .....	97
7.2.3.	Les critères d'évaluation de la prédiposition des côtes rocheuses à l'érosion .....	106
7.2.4.	La prédiposition à l'érosion des falaises littorales.....	109
7.3.	LES COTES D'ACCUMULATION.....	112
7.3.1.	INTRODUCTION .....	112
7.3.2.	METHODOLOGIE .....	113
7.3.3.	CINEMATIQUE DU TRAIT DE COTE DU COMPARTIMENT C1.....	116
<b>8.</b>	<b>Evènements tempétueux dommageables.....</b>	<b>121</b>
8.1.	INTRODUCTION.....	121
8.2.	METHODOLOGIE .....	121
8.2.1.	La Base de Donnée de l'UBO (Université Bretagne Occidentale) .....	121
8.2.2.	Les évènements recensés lors de PPRL .....	121
8.2.3.	Création d'un format pour une base de données commune.....	122
8.2.4.	Établissement de fiches récapitulatives .....	123
8.3.	ANALYSE DES RESULTATS.....	124
8.4.	REPARTITION DES EVENEMENTS UR LE COMPARTIMENT C1 .....	127
<b>9.</b>	<b>Synthèse &amp; conclusions .....</b>	<b>131</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliographie &amp; Webographie.....</b>	<b>133</b>
<b>11.</b>	<b>Annexe 1 : Recensements des évènements dommageables .....</b>	<b>137</b>

## Liste des Sigles

- ADEME** : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
- ARS** : Agences Régionales de Santé
- BNF** : Bibliothèque Nationale de France
- BRGM** : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
- CETE** : Centre d'Études Techniques et d'Équipements
- CETMEF** : Centre d'Études Techniques Maritimes Et Fluviales
- COCORISCO** : COonnaissance, COmpréhension et gestion des RISques CÔtiers
- DDTM** : Directions Départementales des Territoires et de la Mer
- DREAL** : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
- EROCOVUL** : ÉROsion COtière et VULnérabilité du trait de côte en Bretagne
- GRESARC** : Groupe de Recherches sur les Environnements Sédimentaires Aménagés et les Risques Côtiers (Université de Caen Basse Normandie)
- IFREMER** : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER
- IGN** : Institut géographique national
- ISO** : International Organization for Standardization
- LRPC** : Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées
- LNHE** : Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement
- MATE** : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
- MEDDE** : Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie
- MET** : Ministère de l'Équipement et des Transports
- PLU** : Plans Locaux d'Urbanisme
- PPRL** : Plans de Prévention des Risques Littoraux
- SCoT** : Schémas COhérence Territoriale
- SHOM** : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
- SIG** : Système d'Informations Géographiques
- SOGREAH** : SOciété GRenobloise d'Études et d'Applications Hydrauliques

## Glossaire

**Aléa** : Phénomène naturel d'occurrence et d'intensité donnée.

**Cellules ou compartiments sédimentaires** : secteur littoral ayant un fonctionnement sédimentaire relativement autonome par rapport aux secteurs adjacents. Ses limites sont naturelles (caps, embouchures, etc.) ou artificielles (ouvrages maritimes portuaires, etc.).

**Coefficient de marée** : utilisé uniquement en France, c'est un nombre entre 20 et 120, indiquant l'amplitude de la marée, par référence aux valeurs calculées pour le port de Brest. Le coefficient maximal de 120 correspond aux marées extraordinaires de vive-eau d'équinoxe. Le coefficient minimal de 20 correspond aux marées de morte-eau les plus faibles.

**Courant résiduel lagrangien** : les mesures lagrangiennes permettent une approche globale de la connaissance des excursions des masses d'eau sur une longue période. Ces mesures sont calculées en suivant les déplacements d'une masse d'eau.

**Détritique** : qui est formé en totalité ou en partie de débris

**Diffraction** : processus subi par des ondes au voisinage d'un obstacle, se traduisant par une redistribution locale de l'énergie, qui se manifeste pour la houle par un changement d'amplitude, de longueur d'onde, de direction.

**Enjeux** : personnes, biens, activités, moyens, patrimoine, etc. susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.

**Estran** : zone comprise entre les hautes et les plus basses mers connues ou zone de balancement des marées.

**Fetch (longueur de)** : distance, en mer ou sur un plan d'eau, sur laquelle les vagues sont formées et où souffle un vent donné sans rencontrer d'obstacle depuis l'endroit où il est créé ou depuis une côte s'il vient de la terre.

**Grève** : étendue littorale couverte de matériaux grossiers (galets, graviers et sables grossiers), située en bord de mer sur l'estran ou au bord d'un cours d'eau.

**Hermelles** : annélide polychète (animal invertébré vermiforme) sédentaire des mers froides ou tempérées, édifiant des tubes de sable ou de gravier agglutinés pouvant former des masses importantes.

**Hydrodynamisme** : état d'agitation des masses d'eau; ensemble des événements impliqués dans le déplacement des masses d'eau (courants, houle, marées, turbulences).

**Limons** : dépôts détritiques (formés de débris) meuble, argileux et silteux à grain très fin, continental et d'origine fluviale, lagunaire ou encore éolienne.

**Lithologie** : nature des roches d'une formation géologique

**Marnage** : amplitude d'une marée

**Progradation** : avancée vers le large d'une construction sédimentaire (marge continentale, estran, front de delta, etc.) due à un budget sédimentaire positif.

**Risque naturel** : pertes probables en vies humaines, en biens et en activités consécutives à la survenance d'un aléa naturel.

**Roches magmatiques** : roches résultant de la cristallisation d'un magma.

**Roches métamorphiques** : formées sans fusion à partir de roches préexistantes, et cela essentiellement par des recristallisations dues à des élévations de température et de pression.

**Roches sédimentaires** : résultant de l'accumulation d'éléments (fragments minéraux, débris coquilliers, etc.) et/ou de précipitations à partir de solutions.

**Platier rocheux** : hauts fonds ou estrans rocheux affleurant à marée basse.

**Réfraction** : déformation de la houle (hauteur, période, et direction) résultant de la variation de la profondeur.

**Schorre** : Partie supérieure d'un marais maritime, submergé exclusivement par pleine mer de vive-eau et constitué de vasières colonisées par une végétation exigeant une forte concentration en sel.

**Seiche** : Oscillation libre ayant le caractère d'une onde stationnaire de la surface d'un plan d'eau fermé ou semi-fermé (lac, baie, bassin), de période supérieure à la minute.

**Slikke** : partie inférieure d'un marais maritime, inondée à marée haute et constituée de vasières nues découvertes à marée basse.

**Tidal** : relatif à la marée.

**Trait de côte** : ligne d'intersection de la surface topographique avec le niveau des plus hautes mers astronomiques. Par extension, limite entre la mer et la terre.

**Vulnérabilité** : au sens le plus large, exprime le niveau de conséquence prévisible d'un phénomène naturel sur les enjeux.

## Liste des illustrations

Illustration 1 : En haut : interactions entre les différents facteurs à l'origine des évolutions morphologiques côtières (modifié d'après Billeaud, 2007) ; En bas : l'émergence des risques côtiers : dynamiques convergentes du trait de côte et de l'occupation du rivage (modifiée d'après Meur-Férec et Morel, 2004). ....	17
Illustration 2 : Schéma synthétique des définitions d'aléas, enjeux et risques (COCORISCO)..	20
Illustration 3 : Organisation de la phase 1 du projet. ....	24
Illustration 4 : Découpage du littoral breton en compartiments. ....	26
Illustration 5 : Définition des neuf compartiments hydro-sédimentaire, et organisation des rapports par compartiments. ....	27
Illustration 6 : Localisation du compartiment C1, entre la presqu'île du Cotentin (composée du département de la Manche) et les côtes nord bretonnes (des départements de l'Ille-et-Vilaine (35) et des Côtes d'Armor (22)). ....	37
Illustration 7 : Communes bretonnes de la Baie du Mont-Saint-Michel (en rouge plein : trait de côte SHOM-IGN HistLittV2.0, rouge en pointillé : limite d'extension à terre des marais (BRGM, compilation entre Scan25IGN et Cartes géologiques au 1/50 000 BRGM), en noir : le bâti. ....	38
Illustration 8 : Classe de population pour les communes du compartiment C1 : Baie du Mont-Saint-Michel (Source INSEE, 2009). ....	39
Illustration 9 : Indice de vieillissement pour les communes du compartiment C1 : Baie du Mont-Saint-Michel (Source INSEE, 2009). ....	40
Illustration 10 : Rapport résidences secondaires/logement principaux pour les communes du compartiment C1 : Baie du Mont-Saint-Michel (Source INSEE, 2010). ....	41
Illustration 11 : Carte de localisation des ports dans la baie du Mont-Saint-Michel (Source : RefMar2012 du SHOM). ....	43
Illustration 12 : Références Altimétriques Maritimes pour les sites de la zone de marée des abords de Saint-Malo et de la baie du Mont-Saint-Michel. ....	43
Illustration 13 : Arrêtés de catastrophes naturelles « Tempête » pour les communes de la baie du Mont-Saint-Michel (Source GASPARD ; prim.net ). ....	44
Illustration 14 : Carte géologique et sédimentologique simplifiée de la baie du Mont-Saint-Michel (Tessier, 2003 d'après Larsonneur, 1989 ; L'Homer et al., 1999). ....	45
Illustration 15 : Géomorphologie et bathymétrie de la Baie du Mont-Saint-Michel. ....	47
Illustration 16 : Le prisme sédimentaire holocène en baie du Mont-Saint-Michel (Ehrhold, 1999 d'après Morzadec, 1974 in Larsonneur, 1989). ....	48
Illustration 17 : Schéma de reconstruction des dépôts successifs du marais de Dol depuis 8 000 ans (d'après les données stratigraphiques de M.T. Morzadec-Kerfoun pour la partie marais noir dans Bonnot-Courtois et al., 2002). ....	49
Illustration 18 : Courbes des principales fluctuations du niveau marin atteint par les marées de vive-eau en baie du Mont-Saint-Michel depuis 9000 ans BP (les fluctuations des valeurs du marnage pour cette même période sont intégrées, Bonnot-Courtois et al., 2002). ....	50
Illustration 19 : Les étapes de la transgression flandrienne dans la baie du Mont-Saint-Michel (D'après M.-T. Morzadec-Kerfoun et A. Lautridou, 1982 ; dans Lefeuvre et Mouton, 2009). ....	51
Illustration 20 : Mille trois cents ans de conquêtes de la terre sur la mer par l'homme, dans le marais de Dol (Deboise-Delvreuil, 1998 dans Lefeuvre et Mouton, 2009). ....	52

Illustration 21 : Deux limites sédimentaires et géomorphologiques de la baie du Mont-Saint-Michel : en haut, limite du schorre en bas, bancs de sables coquilliers (Tiré de Lefeuvre et Mouton, 2009). .....	53
Illustration 22 : Répartition des sédiments dans la baie du Mont-Saint-Michel (D'après Bonnot-Courtois et al., 2009) et évolution des gradients sédimentaires (le gradient s'atténue vers le sud et vers l'ouest). .....	54
Illustration 23 : Localisation sur l'estran et profils topographiques des bancs d'estran Type A (en vert), de Type B (en rouge) et C (en jaune) (Tessier et Bonnot-Courtois, 2004 ; Bonnot-Courtois et al., 2002). .....	56
Illustration 24 : Caractéristiques topographiques et morphologiques des bancs d'estran de la partie occidentale de la baie (d'après Bonnot-Courtois et al., 2004). .....	57
Illustration 25 : Bilan sédimentaire de l'estran cancalais de 1829 à 1978 (d'après Nikodic, 1981). .....	57
Illustration 26 : Amplitude du marnage en Bretagne (d'après les données du SHOM) (dans Stephan, 2009). .....	59
Illustration 27 : Roses des courants de marée en baie du Mont-Saint-Michel (Bonnot-Courtois et al., 2002). .....	61
Illustration 28 : Balayage de la zone intertidale par les marées pour différents coefficients .....	61
Illustration 29 : Fréquences moyennes d'apparition des marées sur une année (d'après Le Rhun, 1982). .....	62
Illustration 30 : Marées (en cm par rapport au zéro hydrographique) en Baie du Mont-Saint-Michel (source : SHOM). .....	62
Illustration 31 : En haut : hauteur maximale des houles sur diverses périodes (d'après L.C.H.F., 1986) ; En bas : plan de vagues de secteur ouest en baie du Mont-Saint-Michel (Bonnot-Courtois, 2012). .....	63
Illustration 32 : À gauche : rose d'agitation pour le site de Videcoq (Levoy, 1994) ; à droite : rose des houles en baie du Mont-Saint-Michel (d'après L.C.H.F., 1986). .....	64
Illustration 33 : Résultats des statistiques pour le port de Saint-Malo (SHOM et CETMEF, 2012). Détailler gauche/droite car on a l'impression de voir la même info (en haut, mais avec des valeurs différentes) .....	65
Illustration 34 : Niveaux extrêmes de pleine-mer (en m IGN 69) pour différentes périodes de retour (© CETMEF/SHOM 2008). .....	66
Illustration 35 : Carte des niveaux extrêmes de pleine mer sur une période de retour de 10, 50 et 100 ans (SHOM et CETMEF, 2012). .....	67
Illustration 36 : Illustration de la surcote de pleine mer et de la décote de basse mer (CETMET/SHOM, 2012). .....	68
Illustration 37 : En haut : orientations et vitesses de vent au sémaphore de Granville ; en bas : orientations et vitesses de vent au sémaphore de la Pointe du Grouin (Ehrhold, 1999). .....	69
Illustration 38 : Roses mensuelles des fréquences des vents sur 29 années à la Pointe du Roc, Granville (en haut) et à la Pointe du Grouin (en bas) (Ehrhold, 1999). ....	71
Illustration 39 : Schéma synthétique des définitions d'aléas, enjeux et risques (COCORISCO). .....	73
Illustration 40 : Évolution des bancs coquilliers dans le secteur de Cherrueix : la vitesse de déplacement est plus importante en bas d'estran qu'en remontant vers le haut estran (Tessier et Bonnot-Courtois, 2004). .....	75
Illustration 41 : Altitudes et dynamiques des bancs sablo-coquilliers entre 1993 et 1999 (d'après Bonnot-Courtois et al., 2004). .....	76

Illustration 42 : Évolution des schorres et des bancs coquilliers entre 1980 et 1995 (Tessier et Bonnot-Courtois, 2004). .....	76
Illustration 43 : à gauche : évolution du schorre au Vivier-sur-Mer ; évolution des bancs coquilliers à Cherrueix (au centre) ; idem qu'à gauche au niveau du polder (à droite) (Bonnot-Courtois et al., 2002) .....	78
Illustration 44 : Photo prise le 17 octobre 2012, coefficient de marée 109, niveau théorique : 13,95 m au dessus du ZH, 1 heure après la pleine mer, Vagues d'Ouest (0.75 à 1 m ; Prévimer) ; Quartier de la Houle, Cancale. 80	
Illustration 45 : Topographie de la baie du Mont-Saint-Michel au pas de 25 m (IGN) : ligne rouge Trait de côte HistoLitt V2.0 SHOM-IGN .....	81
Illustration 46 : Évolution de la partie estuarienne de la Baie du Mont-Saint-Michel (F. Verger, marais et estuaires français, 2005). .....	82
Illustration 47 : Progression de la bordure de l'herbus (schorre) de 1851 à 1938 (L'Homer 2001 dans Bonnot-Courtois et al., 2002). .....	83
Illustration 48 : Coupes à travers l'ancien estuaire du Couesnon : Phases de progression et regression entre 1912 et 1992, L'Homer 2001 dans Bonnot-Courtois et al., 2002). .....	83
Illustration 49 : Vue du Mont-Saint-Michel, Couesnon et du schorre, lors d'une marée de PM de printemps (Photo Bonnot-Courtois dans Tessier et Bonnot-Courtois, 2004). .....	84
Illustration 50 : Sources composants le trait de côte HistoLittV2.0 pour la Bretagne. ....	86
Illustration 51 : Schéma de principe de caractérisation du trait de côte. ....	86
Illustration 52 : Patchwork des cartes géologiques au 1/50 000 pour les trois départements concernés (en rouge : harmonisation de l'Ille-et-Vilaine ; en rose : des Côtes-d'Armor et en bleu : du Finistère ; en surcharge : harmonisation des trois départements). .....	87
Illustration 53 : Minute de terrain au niveau de Camaret-sur-Mer (29). ....	88
Illustration 54 : Module de Young et coefficient de Poisson pour quelques familles de roches (Mestat, 1993). .....	89
Illustration 55 : Ordre de résistance des minéraux à l'altération (Goldich, 1938). ....	90
Illustration 56 : Synthèse du linéaire côtier étudié pour les départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère. ....	90
Illustration 57 : Tableau des formations géologiques littorales simplifiées des côtes rocheuses des départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère (Sont présents les linéaires altérés, sains et érodés). .....	91
Illustration 58 : Linéaire en kilomètre des différents linéaires de cotes rocheuses. ....	92
Illustration 59 : Tableau des formations géologiques littorales simplifiées des côtes meubles des départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère (Sont présents les linéaires altérés, sains et érodés). .....	94
Illustration 60 : GPS © Trimble Juno3B. ....	95
Illustration 61 : Dictionnaire d'attributs réalisé pour cette étude. ....	97
Illustration 62 : Schéma de principe d'un glissement de terrain (Landevennec, 29). ....	98
Illustration 63 : Schéma de principe d'un glissement banc sur banc (A : Binic, 22 ; B : Cap à la Chèvre, 29). ....	98
Illustration 64 : Schéma de principe d'un glissement de dièdres (A : Kerfany, 29 ; B : Plouha, 22). .....	99
Illustration 65 : Schéma de principe d'un éboulement/Chute de blocs (A : Pointe du Van, 29 ; B : Planguenoual, 22). ....	99

Illustration 66 : Ravinement important des formations superficielles composées de sols sombres épais (1 m) sur un manteau latéritique (Cap à la Chèvre, 29). .....	100
Illustration 67 : Sous-cavage (A : secteur Saint-Coulomb, 35 ; B : Plouha, 22). .....	100
Illustration 68 : Effondrement sur la bordure nord de l'anse de Dinan (Camaret, 29). .....	101
Illustration 69 : A : Glissement de terrain en tête de falaise sur la base des altérites meubles (Cap à la Chèvre, Crozon 29) ; B : Glissement le long de failles orientées vers le vide et formation de cavité dans la zone d'action des vagues (Morgat, Crozon 29) ; C : Erosion différentielle et formation de boutonnières d'érosion (Pointe de Pen Hir, Camaret 29) ; D : Bloc glissé de plusieurs milliers de m <sup>3</sup> , entre Camaret et la pointe des Espagnols (29), suivant un plan N150 satellite de la faille Kerforne. ....	103
Illustration 70 : Recensement des mouvements de terrain, des cavités et impacts ou réparation sur ouvrages littoraux. ....	105
Illustration 71 : Tableau d'attribution des notes du degré d'altération pour les formations géologiques littorales. ....	107
Illustration 72 : Tableau d'attribution des notes du degré d'érosion pour les formations géologiques littorales. ....	107
Illustration 73 : Tableau d'attribution des notes en fonction de la densité de mouvements de terrain (nombre de mouvements de terrain par kilomètre linéaire pour chaque formation géologique littorale). ....	108
Illustration 74 : Tableau d'attribution des notes en fonction de la densité cavités (nombre de cavités par kilomètre linéaire pour chaque formation géologique littorale). ....	109
Illustration 75 : Note finale de prédisposition à l'érosion des formations géologiques littorales des départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère. ....	110
Illustration 76 : Note finale de prédisposition à l'érosion des côtes à falaises du compartiment C1 .....	111
Illustration 77 : En haut : physionomie des plages selon l'exposition : A. plage de fond de baie – B. plage ouverte – C. plage d'estuaire – D. plage de poche ; En bas : Physionomie des plages selon la morphologie : A. plage adossée – B. cordon dunaire – C. forme fuyante. ....	113
Illustration 78 : Limite de trait de côte retenue : A et B. limite de la végétation dunaire – C. sommet ou pied de falaise – D. pied de l'aménagement de protection. ....	114
Illustration 79 : Campagnes photographiques disponibles. ....	115
Illustration 80 : Principe du Digital Shoreline Analysis System. ....	116
Illustration 81 : Synthèse du linéaire côtier de la zone d'étude. ....	116
Illustration 82 : Cinématique du trait de côte pour les plages du compartiment C1.....	118
Illustration 83 : Synthèse de la géomorphologie des côtes meubles du trait de côte du compartiment C1 .....	119
Illustration 84 : Champs créés pour chaque évènement tempétueux dommageable : à gauche : leur thématique, à droite : le nom de chaque champ. ....	123
Illustration 85 : En haut : nombres de tempêtes par décennie ; à droite : nombre de tempêtes par saison enfin en bas : Nombre de tempêtes par mois de d'année par compartiments. ....	125
Illustration 86 : En haut : nombre de tempêtes par département, en bas : nombre de tempête. ....	126
Illustration 87 : En haut : type d'aléa avant et après 1950 : en bas : type d'aléa par tempêtes. ....	127
Illustration 88 : Carte synthétique des évènements dommageables pour le compartiment C1	129



## **Chapitre 1 - *Présentation***

# 1. Introduction

L'une des particularités du littoral breton est sa diversité. Une diversité qui se décline autant par sa géologie (véritable « patchwork » de roches sur 2 milliards d'années), sa géomorphologie (altitudes des côtes qui oscillent entre 5 et 100 m NGF), sa géographie humaine, mais aussi par le perpétuel « va-et-vient » de la mer, qui offre au pratiquant de l'estran un paysage renouvelé plusieurs fois par jour. Car les marées bretonnes, les plus hautes d'Europe et parmi les plus hautes au monde, balayent une variation du niveau de la mer de près de 15 mètres, ce qui rend le trait de côte difficile à appréhender.

On retrouve aussi cette diversité lorsque l'on s'essaie à mesurer le littoral de la Bretagne, où il est important d'en préciser la méthode, de définir le trait de côte utilisé, de déterminer si par exemple les abers doivent être intégrés et jusqu'où. Car la limite entre la mer et le continent, est pour cette région une limite tout aussi diversifiée, de falaises dures à meubles, s'intercalent des cordons dunaires et de galets, qui abritent des marais maritimes, et où se développent des flèches ou des tombolos. Cette limite est mobile avec des vitesses instantanées horizontales qui peuvent parfois être très fortes (recul ou avancée de plusieurs mètres) et des vitesses séculaires à semi-séculaires beaucoup plus difficiles à évaluer, mais aussi des limites verticales lors de la conjoncture de niveaux de mer élevés avec des événements tempétueux.

Ainsi les événements remarquables de mars 2008 ou la tempête *Xynthia* de février-mars 2010, et sans aller chercher plus loin, les événements climatiques de l'hiver 2014, sont venus une fois de plus révéler le besoin et la nécessité de mieux connaître cette interface terre-mer, support des aléas littoraux (érosion et submersion marine).

Sans enjeu, l'analyse des aléas littoraux tient plus du domaine de la connaissance, et donc de la recherche. Mais le littoral exerce une certaine attractivité qui contribue à accroître la pression démographique (l'urbanisation), qui participe à sa dégradation et qui modifie les processus naturels, Cet augmentation d'enjeux, par effet de bilan, augmente le risque.

La convergence des dynamiques du trait de côte (aléa érosion et submersion) et de l'occupation du rivage (enjeux), sont à l'origine de l'augmentation des risques côtiers depuis les années 1960 (Illustration 1 ; Meur-Férec et Morel, 2004).

« En passant du "territoire du vide" (Corbin, 1988) au territoire du plein, voire du "trop plein" (Paskoff, 2005), la côte est progressivement devenue un territoire à "hauts risques" (Forum National de Rivages de France, 2005) » (COCORISCO, 2009).

Ainsi les aléas littoraux constituent-ils un paramètre essentiel à intégrer dans la perspective de gestion intégrée de la zone côtière (GIZC). La mise au point de stratégies cohérentes à long terme constitue une préoccupation importante pour les services de l'état comme pour les collectivités locales face au développement des zones côtières dans les prochaines décennies. Pour cette raison, les études sur les environnements côtiers se multiplient, avec un objectif commun : une meilleure compréhension pour prédire leur évolution et optimiser leur gestion.

Les espaces côtiers sont complexes à appréhender, leurs évolutions temporelles s'appréhendent selon plusieurs fréquences : journalière, saisonnière, annuelle, décennale et centennale etc. (MEDDE, 2010). L'approche systémique s'impose à la dynamique de ce milieu, en permettant la compréhension à la fois de ses caractéristiques morphologiques (relations entre formes et processus), de l'influence des agents hydrodynamique et des activités humaines responsables de son érosion ou son accrétion.

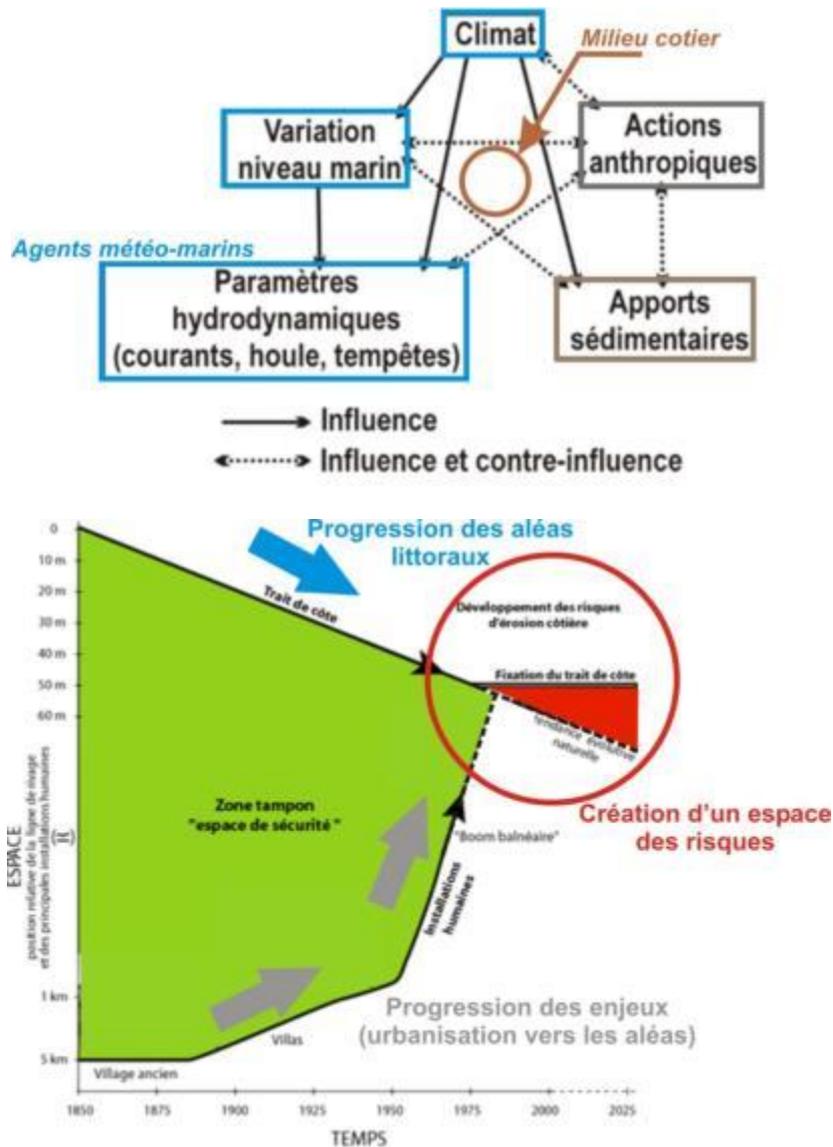


Illustration 1 : En haut : interactions entre les différents facteurs à l'origine des évolutions morphologiques côtières (modifié d'après Billeaud, 2007) ; En bas : l'émergence des risques côtiers dynamiques convergentes du trait de côte et de l'occupation du rivage (modifiée d'après Meur-Férec et Morel, 2004).

L'Atlas des aléas littoraux des départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère : Phase 1, s'inscrit dans ce contexte avec pour objectif principal une meilleure connaissance des aléas littoraux (Érosion et Submersion marine) et une meilleure connaissance de la géomorphologie du linéaire côtier de ces trois départements bretons.



## 2. Contexte & Organisation du projet

### 2.1. LA POLITIQUE PUBLIQUE EN FAVEUR DU LITTORAL

#### 2.1.1. Quelques rappels fondamentaux : *les notions d'aléa, enjeu, risque et vulnérabilité*

##### **Les aléas**

L'aléa est la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel donné. On ajoute à cette notion la notion d'intensité, de durée du phénomène. En ce qui concerne le littoral, il est possible d'en distinguer quatre types d'aléas :

L'**aléa submersion marine** se caractérise par une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques combinant fortes marées et fortes zones dépressionnaires, auxquelles s'ajoutent des vents de mer. Elle envahit des terrains situés en dessous du niveau des plus hautes mers, mais aussi parfois des terrains situés au-dessus, par la projection d'eaux marines.

L'**aléa érosion continentale** se caractérise par des apports d'eau continentales qui par infiltration et ruissellement, déstabilisent les formations géologiques littorales.

L'**aléa érosion marine** résulte de l'activité érosive des facteurs hydrodynamiques (action des houles et des vagues, des courants et des marées) sur les formations géologiques ou sur les ouvrages de protection du littoral.

Enfin l'**aléa érosion anthropique** est générée ou accélérée par l'homme, et à plusieurs aspects : le piétinement et la sur-fréquentation de milieux littoraux fragiles, l'extraction de matériaux soit sur le littoral soit en avant de celui-ci ou encore la construction d'ouvrages côtiers qui perturbent l'hydrodynamique sédimentaire et accentue les phénomènes d'érosion.

##### **Les enjeux**

Les enjeux est la mise en confrontation de biens et personnes face à des aléas divers. Ces enjeux peuvent prendre diverses formes comme la valeur humaine, la valeur économique ou encore la valeur environnementale des éléments affectés par un phénomène naturel.

##### **Les risques**

La notion de risque est la prise en considération des deux dimensions que sont les aléas et les enjeux. Le risque est caractérisé par le niveau de danger, c'est-à-dire la probabilité d'occurrence d'un événement donné et de l'intensité de l'aléa. Mais aussi par la gravité des conséquences de l'évènement pouvant affecter les enjeux.

Ainsi des aléas forts face à peu d'enjeux feront des risques faibles, alors que des aléas faibles face à des enjeux forts, feront des risques forts. Ceci est résumé par l'illustration 3 ci-dessous.

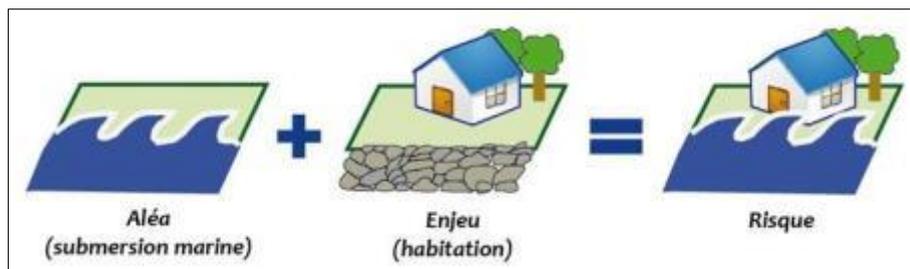


Illustration 2 : Schéma synthétique des définitions d'aléas, enjeux et risques (COCORISCO).

## La vulnérabilité

La vulnérabilité résulte de la combinaison de tous ces facteurs (Meur-Férec *et al.*, 2008). Elle exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux. On peut distinguer la vulnérabilité économique et la vulnérabilité humaine. La première traduit le degré de perte ou d'endommagement des biens et des activités exposés à l'occurrence d'un phénomène naturel d'intensité donnée. La vulnérabilité humaine évalue les préjudices potentiels aux personnes, dans leur intégrité physique et morale. Elle s'élargit également à d'autres composante de la société (sociale, psychologiques, culturelles, etc.) et tente de mesurer sa capacité de réponse à des crises. La vulnérabilité dépend des éléments exposés et de leurs résistances, comportements. Elle est caractéristique d'un site à un moment donné et n'est pas intrinsèque, il existe une vulnérabilité pour chaque aléa. Cette grandeur est fonction de l'activité humaine, elle est donc évolutive.

### 2.1.2. La gestion du trait de côte, l'émergence d'une approche responsable et durable

Les changements climatiques annoncés, qui se manifestent par une élévation du niveau marin, qui s'est accéléré puis les années 1990, et qui est estimée, à l'échéance de 2100, à minima entre 0,2 à 0,6 mètre, accompagné de la recrudescence des événements tempétueux sur le territoire, viennent rappeler la vulnérabilité des territoires littoraux et amènent à se poser de quel stratégie doit être mise en place pour en réduire les risques sur les biens et les personnes.

L'attractivité qu'a connu le littoral et l'essor démographique considérable, lié à des changements de mode de vie, sont venus accroître très fortement les enjeux et les risques. Aujourd'hui, la frange littorale est affectée par une urbanisation linéaire qui a eu pour effet d'accroître la valeur des dommages en cas d'érosion ou de submersion. La mise au point de stratégies cohérentes et à long terme sur la question de la gestion des risques littoraux constitue une préoccupation pour les communes littorales et les services de l'État face au développement des littoraux dans les prochaines décennies (COCORISCO, 2009).

Dans le domaine de la gestion du trait de côte, deux approches distinctes sont apparues successivement : la première est caractérisée par la volonté de fixer le trait de côte (gérer les effets de l'érosion), la seconde consiste en une approche environnementale plus souple (gérer les causes de l'érosion).

L'approche de la gestion intégrée de la zone côtière (GIZC) est apparue comme une solution responsable et durable, passant d'une vision contrainte à une démarche plus environnementale. Elle privilégie l'anticipation, des interventions de défense contre la mer plus douces et une meilleure connaissance des systèmes naturels.

Le concept d'adaptation a été défini par le Troisième Rapport d'évaluation du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) comme étant l'« *ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques ou à leurs effets, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques* ». Ainsi, il s'agit d'agir pour réduire la vulnérabilité de nos sociétés : en diminuant les impacts adverses nous améliorerons notre capacité de réponses.

La GIZC est donc une dimension complémentaire qui consiste pour les politiques en faveur de la protection du littoral à prendre en compte les paramètres humains, économiques, urbanistiques et environnementaux. Elle propose des modes de gouvernance et de gestion des risques côtiers qui combinent davantage les expériences de défense systématique contre la mer et les enjeux environnementaux, ce qui permet de répondre plus efficacement aux risques d'érosion et de submersion (MEEDDM, 2010).

Dans le cadre du Grenelle de la Mer, la démarche de GIZC a été fortement encouragée. Une stratégie nationale de gestion du trait de côte est proposée. Dans la perspective d'améliorer la connaissance du trait de côte, la mise en place d'un outil de suivi de l'évolution du trait de côte à l'échelle nationale, permettra de coordonner et de rendre cohérents entre eux les différents outils existants.

Par ailleurs, le Grenelle de la Mer a recommandé d'approfondir une option jusqu'à présent peu mise en œuvre en France, c'est-à-dire l'organisation du recul stratégique des activités implantées en bordure de rivage.

### **2.1.3. L'application d'une stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières.**

En 2012, une stratégie nationale a été instaurée concernant la gestion intégrée du trait de côte. L'État et les collectivités s'engagent dans une démarche de connaissance et de stratégie afin de prendre en compte l'érosion côtière dans les politiques publiques. Cette stratégie nationale fixe certains principes et recommandations de gestion du trait de côte et s'articule autour de 4 axes :

- observer le trait de côte et identifier les territoires à risques d'érosion ;
- élaborer des stratégies partagées entre les acteurs publics et privés ;
- évoluer vers une recomposition spatiale du territoire ;
- préciser les modalités d'interventions financières.

On peut considérer que l'Atlas des aléas littoraux des départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère, s'inscrit dans les deux premiers axes cités ci-dessus.

Le premier axe correspond à l'organisation d'un réseau national d'observation du trait de côte. Cette organisation suppose une mise en réseau de l'ensemble des acteurs qui produisent des données afin que les modalités de celles-ci soient mises en cohérence avec fréquence. La capitalisation des données existantes permettra d'apporter une vision synthétique des connaissances relatives au littoral. D'après le MEEDDM en 2012, il n'existe pas de cartes nationales permettant d'identifier les secteurs en érosion avec une forte urbanisation. Cette cartographie est indispensable afin de hiérarchiser l'action publique et de permettre aux décideurs de mettre en place des plans de prévention. Un indicateur homogène national de l'érosion côtière sera mis en place afin de distinguer les zones en érosion forte, moyenne et faible. Cet indicateur doit être saisi à l'échelle 1/100 000<sup>e</sup> sur le littoral métropolitain. La combinaison des données en matière d'occupation des sols sera réalisée afin d'identifier les territoires à risque érosion.

Le deuxième axe permet de déterminer les secteurs à forte érosion et à forts enjeux. Les stratégies locales pour la gestion du risque submersion sont élaborées par les collectivités territoriales et par les services de l'État, puis approuvées par un arrêté préfectoral. Ces stratégies représentent un véritable projet de territoire adapté aux risques naturels. La gestion du trait de côte dans les financements mis en place au titre des Programmes d'Action de Prévention des Inondations (PAPI) et du Plan Submersion Rapide (PSR) assurent la cohérence des politiques publiques. Au 1<sup>er</sup> semestre de 2012, un programme dédié au littoral proposant une gestion intégrée des risques littoraux a été élaboré. Il reprend les actions du PSR et les recommandations de la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte. En conformité avec les révisions des PPR-SM (Plan de Prévention des Risques de Submersions Marines), la réalisation de PPR-multirisques (submersion, dynamique estuarienne, érosion côtière) peut être également encouragée. Ces PPRSM devront prendre en compte dans la zone d'aléa fort, l'espace nécessaire à la mobilité du trait de côte et aux phénomènes de recul de la côte lors de tempêtes.

Ainsi, les stratégies de gestion du trait de côte nécessitent à caractériser les aléas (érosion et submersion), à analyser les enjeux puis à évaluer la vulnérabilité des secteurs concernés. Afin de faire face aux risques, l'étude préliminaire du comportement morphodynamique et des paramètres hydrodynamiques des sites concernés, est la condition technique indispensable à respecter pour mettre en œuvre des solutions pertinentes de gestion du trait de côte. Le recueil des données *in situ* est donc une phase nécessaire pour apprécier la dynamique d'un site.

Par ailleurs, la loi sur l'eau de 1992 qui donne notamment des possibilités étendues aux régions pour intervenir en matière de défense contre la mer (DTMPL, 2002), a permis au Conseil Régional de Bretagne de lancer une véritable stratégie de gestion du littoral via sa « Charte des espaces côtiers breton » signée en 2008. Les risques liés à la mobilité du trait de côte s'inscrivent dans un des 7 grands enjeux : « anticiper et s'adapter aux effets du changement climatique dans la zone côtière ».

## 3. Le projet d'Atlas des aléas littoraux

La DREAL Bretagne (Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement) a confié à la Direction régionale Bretagne du BRGM (Bureau de recherches Géologiques et Minières), la réalisation d'un atlas des aléas littoraux des départements des Côtes-d'Armor, du Finistère et de l'Ille-et-Vilaine : Phase 1.

### 3.1. LES OBJECTIFS

La réalisation de cet atlas a pour objectifs :

- identifier et de caractériser les aléas érosion du trait de côte et submersion marine sur l'ensemble des trois départements bretons ;
- permettre un porter à connaissance de ces aléas ;
- identifier les zones à risques ;
- permettre la prise en compte de ces aléas dans les outils de planification (SCoT, PLU, PC, CU, etc.).

### 3.2. DEROULEMENT

L'atlas est composé de trois phases distinctes et dépendantes les unes des autres :

- 1 - la première phase (**Phase 1 : faisant l'objet de ces présents rapports**), consiste à réaliser un état des lieux du linéaire côtier afin de faire une synthèse des études réalisées sur le littoral des trois départements et une caractérisation de la géomorphologie et de l'évolution du trait de côte ;
- 2 - la **deuxième phase** permettra de caractériser les aléas érosion et submersion marine. La submersion sera modélisée afin de calculer et de visualiser les hauteurs d'eau à la côte. Cette modélisation se fera à partir de conditions météorologiques et hydrodynamiques différentes, tirées de l'analyse des tempêtes et de leurs dégâts associés. Pour l'érosion côtière, le recul du trait de côte sera extrapolé sur 20 ans, à partir des tendances mises en évidence lors de la phase 1 ;
- 3 - la **troisième** et dernière **phase** du projet est la traduction en cartes des aléas érosion littorale et submersion marine.

### 3.3. ARTICULATION DE LA PHASE 1

La **phase 1** contient l'ensemble des points listés ci-dessous dans l'organigramme. Les cases en surbrillance correspondent aux sous-parties de la phase 1 du projet auxquelles s'inscrit ce stage de fin d'études.

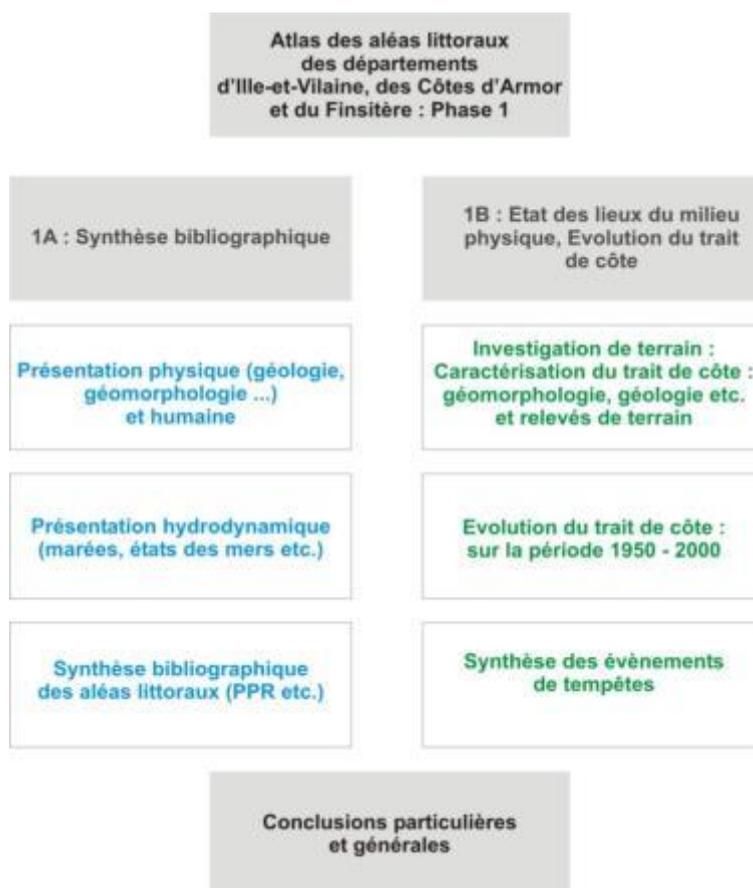


Illustration 3 : Organisation de la phase 1 du projet.

### 3.4. ORGANISATION DE LA PHASE 1

Pour des commodités de lecture, ce rapport a été organisé en **dix chapitres** :

- **un chapitre** de présentation du contenu, rappel contractuel etc. ;
- et **neuf chapitres** correspondant au découpage réalisé des côtes d'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère, appelé « **Compartiment** », tel que : **Baie du Mont-Saint-Michel, Côte d'Émeraude, Baie de Saint-Brieuc, Côtes du Trégor-Goélo, Côtes du Nord-Finistère, Iroise, Baie d'Audierne et côtes du Sud-Finistère.**

Pour chaque chapitre, les différentes méthodologies ont été rappelées afin qu'une personne intéressée que par un seul « Compartiment » par exemple : Côte d'Émeraude, n'est à lire que le chapitre 1 et le chapitre 4 : **Compartiment 3 : Côte d'Émeraude.**

Chaque compartiment est organisé suivant le plan qui suit :

**SOMMAIRE PAR COMPARTIMENT**

**1.Nom du compartiment : Présentation**.....

1.1. GEOGRAPHIE « HUMAINE » .....

1.2. PORTS PRINCIPAUX.....

1.3. ARRETES DE CATASTROPHES NATURELLES ET PLAN DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS LITTORAUX ..

1.4. GEOMORPHOLOGIE ET GEOLOGIE LITTORALE.....

**2.Paramètres / Agents hydrodynamiques** .....

2.1. LA MAREE .....

2.2. ETAT DE MER (VAGUES, HOULES ET NIVEAUX EXTREMES).....

    2.2.1. La Houle (et les vagues).....

    2.2.2. Niveaux extrêmes : surcotes et décotes .....

2.3. LES VENTS.....

**3.Analyse historique des aléas littoraux**.....

3.1. RISQUE NATUREL : QUELQUES RAPPELS.....

    3.1.1. Les aléas.....

    3.1.2. Les enjeux.....

    3.1.3. Les risques.....

    3.1.4. La vulnérabilité .....

3.2. L'EROSION LITTORALE ET LA SUBMERSION MARINE .....

    3.2.1. Avant-propos.....

    3.2.2. Les points en érosion, submersion etc. sur le compartiment .....

    3.2.3. Les linéaires en érosion ou en accrétion du compartiment .....

    3.2.4. Les Surfaces submergées sur le compartiment .....

**4. Acquisitions de terrain (Géomorphologie, Prédisposition à l'érosion et Cinématique du trait de côte)**

4.1. « GEOMORPHOLOGIE » DU TRAIT DE COTE .....

    4.1.1. Eléments de méthodologie .....

    4.1.2. La « géomorphologie » du trait de côte des trois départements.....

4.2. PREDISPOSITION A L'EROSION DES COTES A FALAISES.....

    4.2.1. Le levé de terrain ayant trait à l'érosion .....

    4.2.2. Synthèse des éléments relevés lors de la phase terrain .....

    4.2.3. Les critères d'évaluation de la prédisposition des côtes rocheuses à l'érosion .....

    4.2.4. La prédisposition à l'érosion des falaises littorales.....

4.3. LES COTES D'ACCUMULATION.....

    4.3.1. INTRODUCTION.....

    4.3.2. METHODOLOGIE .....

    4.3.3. CINEMATIQUE DU TRAIT DE COTE DU COMPARTIMENT C2.....

**5.Evènements tempétueux dommageables**.....

5.1. INTRODUCTION .....

5.2. METHODOLOGIE .....

    5.2.1. La Base de Donnée de l'UBO (Université Bretagne Occidentale) .....

    5.2.2. Les évènements recensés lors de PPRL .....

    5.2.3. Création d'un format pour une base de données commune.....

    5.2.4. Etablissement de fiches récapitulatives .....

5.3. ANALYSE DES RESULTATS .....

5.4. REPARTITION DES EVENEMENTS UR LE COMPARTIMENT .....

**6.Synthèse & conclusions**.....

**7.Bibliographie & webographie**.....

Bibliographie

Acquisition

Avec cette organisation, il est possible de lire chaque partie correspondant à chaque compartiment de façon indépendante. Pour chaque compartiment, des conclusions ont été faites pour détacher les faits saillants et les secteurs qui sembleraient être les plus impactés.

L'illustration 4, ci-dessous, montre la répartition des différents compartiments.

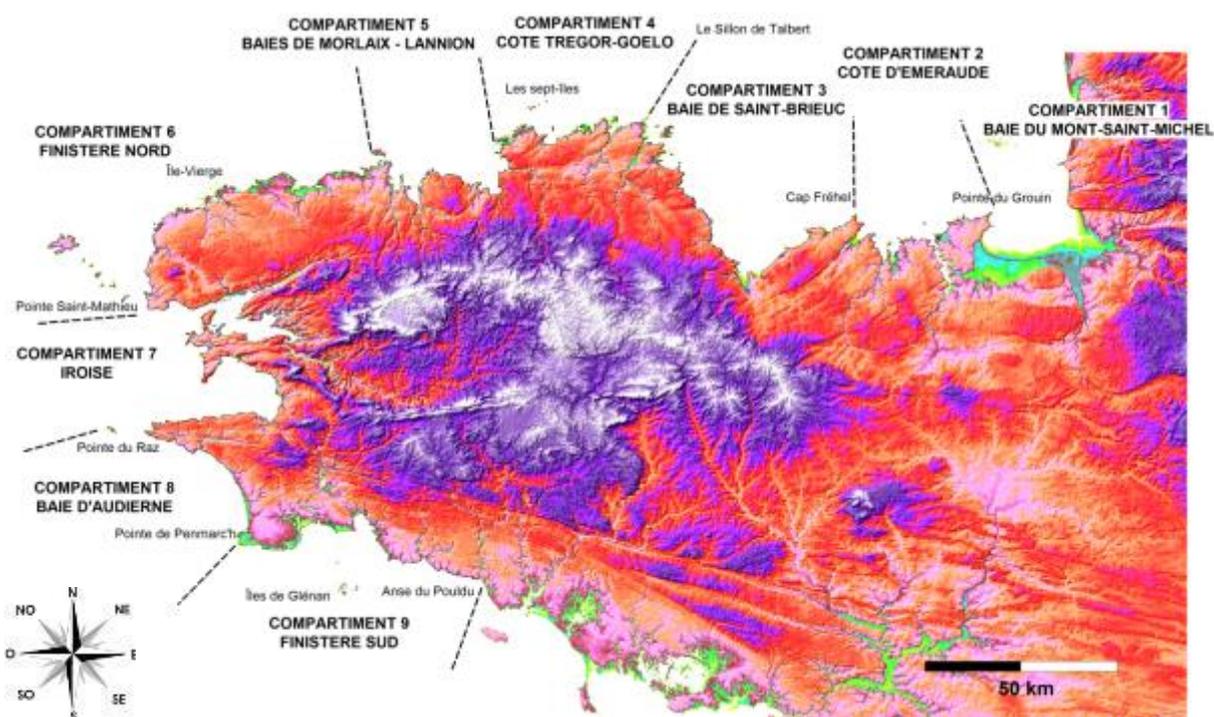


Illustration 4 : Découpage du littoral breton en compartiments.

Le trait de côte Histolitt (TCH, version 2.0) a utilisé comme support de référence, coédité par le SHOM et l'IGN, il correspond « à la laisse des plus hautes mers dans le cas d'une marée astronomique de coefficient 120 avec des conditions météorologiques normales » (SHOM et IGN, 2009), c'est-à-dire quand il n'y a pas de vent au large et pas de dépression atmosphérique susceptible d'élever le niveau de la mer.

Il permet d'avoir un trait relativement homogène sur l'ensemble du littoral et il a été enrichi par l'ensemble des données issues des synthèses bibliographiques : parties en érosion, en accrétion etc., comme celles acquises par les analyses de terrain et mesurées : géomorphologie, indicateurs d'érosion, cinématique etc.

Le découpage en ces neuf compartiments, s'est appuyé basé sur l'orientation de la côte par rapport aux facteurs hydrodynamiques, la structuration géologique, la géomorphologie, l'exposition aux agents météo-marins etc.

Cette structuration du linéaire côtier à faciliter l'organisation des données en neuf compartiments ou entités géomorphologiques ou hydro-sédimentaires (illustrations 4 et 5).

<b>Compartiment</b>	<b>Nom</b>	<b>Etendu</b>	<b>Linéaire (en km)</b>	<b>Nbre pages</b>
<b>C1</b>	Baie du Mont-Saint-Michel	<i>Du Couesnon à la pointe du Grouin</i>	44	120
<b>C2</b>	Côte d'Emeraude	<i>Pointe du Grouin au Cap Fréhel</i>	305	154
<b>C3</b>	Baie de Saint-Brieuc	<i>Cap Fréhel au Sillon de Talbert</i>	315	136
<b>C4</b>	Côtes du Trégor-Goëlo	<i>Sillon de Talbert à l'île Losquet</i>	360	134
<b>C5</b>	Baies de Lannion et de Morlaix	<i>île Losquet à l'île de Batz</i>	255	123
<b>C6</b>	Côtes Nord-Finistère	<i>île de Batz à la pointe Saint-Mathieu</i>	560	164
<b>C7</b>	Côtes d'Iroise	<i>Pointe Saint-Mathieu à la pointe du Raz</i>	640	146
<b>C8</b>	Baie d'Audierne	<i>Pointe du Raz à Saint-Guénolé</i>	95	121
<b>C9</b>	Côtes du Sud Finistère	<i>Saint-Guénolé à la Laïta (Le Pouldu)</i>	445	163

*Illustration 5 : Définition des neuf compartiments hydro-sédimentaire, et organisation des rapports par compartiments.*

Les rapports pour chaque compartiment contiennent le plan présenté ci-dessus et se suivent comme le montre le tableau qui suit (Illustration 5).



## **Chapitre 2 - COMPARTIMENT 1**

### ***Baie du Mont Saint-Michel***

# Sommaire

<b>1. La Baie du Mont-Saint-Michel : Présentation .....</b>	<b>37</b>
1.1. GEOGRAPHIE « HUMAINE » .....	38
1.2. PORTS PRINCIPAUX.....	42
1.3. ARRETES DE CATASTROPHES NATURELLES ET PLAN DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS LITTORAUX (PPRNL).....	43
1.4. GEOMORPHOLOGIE ET GEOLOGIE LITTORALE .....	44
<b>2. Paramètres / Agents hydrodynamiques.....</b>	<b>59</b>
2.1. LA MAREE .....	59
2.2. ETAT DE MER (VAGUES, HOULES ET NIVEAUX EXTREMES) .....	62
2.2.1. La Houle (et les vagues) .....	62
2.2.2. Niveaux extrêmes : surcotes et décotes .....	64
2.3. LES VENTS .....	69
<b>3. Analyse historique des aléas littoraux.....</b>	<b>73</b>
3.1. RISQUE NATUREL : QUELQUES RAPPELS .....	73
3.1.1. Les aléas.....	73
3.1.2. Les enjeux.....	73
3.1.3. Les risques.....	73
3.1.4. La vulnérabilité.....	73
3.2. L'EROSION LITTORALE ET LA SUBMERSION MARINE .....	74
3.2.1. L'aléa « érosion littorale » .....	74
3.2.2. L'aléa « submersion marine » .....	79
3.2.3. L'aléa « inondation estuarienne» .....	82
<b>4. Acquisitions de terrain (Géomorphologie, Prédiposition à l'érosion et Cinématique du trait de côte) .....</b>	<b>85</b>
4.1. « GEOMORPHOLOGIE » DU TRAIT DE COTE.....	85
4.1.1. Eléments de méthodologie.....	85
4.1.2. La « géomorphologie » du trait de côte des trois départements .....	90
4.2. PREDISPOSITION A L'EROSION DES COTES A FALAISES.....	94
4.2.1. Le levé de terrain ayant trait à l'érosion .....	94
4.2.2. Synthèse des éléments relevés lors de la phase terrain .....	97
4.2.3. Les critères d'évaluation de la prédiposition des côtes rocheuses à l'érosion.....	106
4.2.4. La prédiposition à l'érosion des falaises littorales .....	109
4.3. LES COTES D'ACCUMULATION.....	112
4.3.1. INTRODUCTION .....	112
4.3.2. METHODOLOGIE.....	113
4.3.3. CINEMATIQUE DU TRAIT DE COTE DU COMPARTIMENT C1 .....	116

<b>5. Evènements tempétueux dommageables.....</b>	<b>121</b>
5.1. INTRODUCTION.....	121
5.2. METHODOLOGIE.....	121
5.2.1. La Base de Donnée de l'UBO (Université Bretagne Occidentale) .....	121
5.2.2. Les évènements recensés lors de PPRL.....	121
5.2.3. Création d'un format pour une base de données commune .....	122
5.2.4. Établissement de fiches récapitulatives .....	123
5.3. ANALYSE DES RESULTATS .....	124
5.4. REPARTITION DES EVENEMENTS UR LE COMPARTIMENT C1 .....	127
<b>6. Synthèse &amp; conclusions.....</b>	<b>131</b>
<b>7. Bibliographie &amp; Webographie.....</b>	<b>133</b>
<b>8. Annexe 1 :.....</b>	<b>137</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 : En haut : Interactions entre les différents facteurs à l'origine des évolutions morphologiques côtières (modifié d'après Billeaud, 2007) ; En bas : L'émergence des risques côtiers : dynamiques convergentes du trait de côte et de l'occupation du rivage (modifiée d'après Meur-Férec et Morel, 2004). .....	17
Illustration 2 : Schéma synthétique des définitions d'aléas, enjeux et risques (COCORISCO)..	20
Illustration 3: Organisation de la phase 1 du projet.....	24
Illustration 4 : Découpage du littoral breton en compartiments .....	26
Illustration 5: Définition des neuf compartiments hydro-sédimentaire, et organisation des rapports par compartiments .....	27
Illustration 6 : Localisation du compartiment C1, entre la presqu'île du Cotentin (composée du département de la Manche) et les côtes nord bretonnes (des départements de l'Ille-et-Vilaine (35) et des Côtes d'Armor (22)). .....	37
Illustration 7: Communes bretonnes de la Baie du Mont-Saint-Michel (en rouge plein : Trait de côte SHOM-IGN HistLittV2.0, rouge en pointillé : Limite d'extension à terre des marais (BRGM, compilation entre Scan25IGN et Cartes géologiques au 1/50 000 BRGM), en noir : le bâti. ....	38
Illustration 8 : Classe de population pour les communes du compartiment C1 : Baie du Mont-Saint-Michel (Source INSEE, 2009) .....	39
Illustration 9 : Indice de vieillissement pour les communes du compartiment C1 : Baie du Mont-Saint-Michel (Source INSEE, 2009) .....	40
Illustration 10 : Rapport résidences secondaires/logement principaux pour les communes du compartiment C1 : Baie du Mont-Saint-Michel (Source INSEE, 2010) .....	41
Illustration 11 : Carte de localisation des ports dans la baie du Mont-Saint-Michel (Source RefMar2012 du SHOM) .....	43
Illustration 12 : Références Altimétriques Maritimes pour les sites de la zone de marée des abords de Saint-Malo et de la baie du Mont-Saint-Michel.....	43
Illustration 13 : Arrêtés de catastrophes naturelles « Tempête » pour les communes de la baie du Mont-Saint-Michel (Source GASPARD ; prim.net ) .....	44

Illustration 14 : Carte géologique et sédimentologique simplifiée de la baie du Mont-Saint-Michel (Tessier, 2003 d'après Larsonneur, 1989 ; L'Homer et al., 1999).....	45
Illustration 15 : Géomorphologie et bathymétrie de la Baie du Mont-Saint-Michel .....	47
Illustration 16 : Le prisme sédimentaire holocène en baie du Mont-Saint-Michel (Ehrhold, 1999 d'après Morzadec, 1974 in Larsonneur, 1989).....	48
Illustration 17 : Schéma de reconstruction des dépôts successifs du marais de Dol depuis 8000 ans (d'après les données stratigraphiques de M.T. Morzadec-Kerfoun pour la partie marais noir dans Bonnot-Courtois et al., 2002). .....	49
Illustration 18 : Courbes des principales fluctuations du niveau marin atteint par les marées de vive-eau en baie du Mont-Saint-Michel depuis 9000 ans BP (les fluctuations des valeurs du marnage pour cette même période sont intégrées, Bonnot-Courtois et al., 2002). .....	50
Illustration 19 : Les étapes de la transgression flandrienne dans la baie du Mont-Saint-Michel (D'après M.-T. Morzadec-Kerfoun et A. Lautridou, 1982 ; dans Lefeuvre et Mouton, 2009).....	51
Illustration 20 : Mille trois cents ans de conquêtes de la terre sur la mer par l'homme, dans le marais de Dol (Deboise-Delvreuil, 1998 dans Lefeuvre et Mouton, 2009).....	52
Illustration 21 : Deux limites sédimentaires et géomorphologiques de la baie du Mont-Saint-Michel : en haut, limite du schorre en bas, bancs de sables coquilliers (Tiré de Lefeuvre et Mouton, 2009).....	53
Illustration 22 : Répartition des sédiments dans la baie du Mont-Saint-Michel (D'après Bonnot-Courtois et al., 2009) et évolution des gradients sédimentaires (le gradient s'atténue vers le Sud et vers l'Ouest) .....	54
Illustration 23 : Localisation sur l'estran et profils topographiques des bancs d'estran Type A (en vert), de Type B (en rouge) et C (en jaune) (Tessier et Bonnot-Courtois, 2004 ; Bonnot-Courtois .....	56
Illustration 24 :Caractéristiques topographiques et morphologiques des bancs d'estran de la partie occidentale de la baie (d'après Bonnot-Courtois et al., 2004).....	57
Illustration 25 : Bilan sédimentaire de l'estran cancalais de 1829 à 1978 (d'après Nikodic,1981)57	
Illustration 26 : Amplitude du marnage en Bretagne (d'après les données du SHOM) (dans Stephan, 2009). .....	59
Illustration 27 : Roses des courants de marée en baie du Mont-Saint-Michel (Bonnot-Courtois et al., 2002).....	61
Illustration 28 : Balayage de la zone intertidale par les marées pour différents coefficients.....	61
Illustration 29 : Fréquences moyennes d'apparition des marées sur une année (d'après Le Rhun, 1982).....	62
Illustration 30 : Marées (en cm par rapport au zéro hydrographique) en Baie du Mont-Saint-Michel (source : SHOM).....	62
Illustration 31 : En haut : hauteur maximale des houles sur diverses périodes (d'après L.C.H.F., 1986) ; En bas : plan de vagues de secteur Ouest en baie du Mont-Saint-Michel (Bonnot-Courtois, 2012). .....	63
Illustration 32 : A gauche : Rose d'agitation pour le site de Videcoq (Levoy, 1994) ; A droite : Rose des houles en baie du Mont-Saint-Michel (d'après L.C.H.F., 1986) .....	64
Illustration 33 : Résultats des statistiques pour le port de Saint-Malo (réf ?). Détailler gauche/droite car on a l'impression de voir la même info (en haut, mais avec des valeurs différentes) .....	65
Illustration 34 : Niveaux extrêmes de pleine-mer (en m IGN 69) pour différentes périodes de retour (© CETMEF/SHOM 2008).....	66

Illustration 35 : Carte des niveaux extrêmes de pleine mer sur une période de retour de 10, 50 et 100 ans (SHOM et CETMEF, 2012) .....	67
Illustration 36 : Illustration de la surcote de pleine mer et de la décote de basse mer (CETMET/SHOM, 2012) .....	68
Illustration 37 : En haut : Orientations et vitesses de vent au sémaphore de Granville ; En bas : Orientations et vitesses de vent au sémaphore de la Pointe du Grouin (Ehrhold, 1999) .....	69
Illustration 38 : Roses mensuelles des fréquences des vents sur 29 années à la Pointe du Roc, Granville (en haut) et à la Pointe du Grouin (en bas) (Ehrhold, 1999). .....	71
Illustration 39 : Schéma synthétique des définitions d'aléas, enjeux et risques (COCORISCO) .....	73
Illustration 40 : Evolution des bancs coquilliers dans le secteur de Cherrueix : La vitesse de déplacement est plus importante en bas d'estran qu'en remontant vers le haut estran (Tessier et Bonnot-Courtois, 2004).....	75
Illustration 41 : Altitudes et dynamiques des bancs sablo-coquilliers entre 1993 et 1999 (d'après Bonnot-Courtois et al., 2004) .....	76
Illustration 42 : Evolution des schorres et des bancs coquilliers entre 1980 et 1995 (Tessier et Bonnot-Courtois, 2004).....	76
Illustration 43 : à gauche : évolution du schorre au Vivier-sur-Mer : évolution des bancs coquilliers à Cherrueix (au centre) ; idem qu'à gauche au niveau du polder (à droite) (Bonnot-Courtois et al., 2002) .....	78
Illustration 44 : Photo prise le 17 octobre 2012, coefficient de marée 109, niveau théorique : 13,95 m au dessus du ZH, 1 heure après la pleine mer, Vagues d'Ouest (0.75 à 1 m ; Prévimer) ; Quartier de la Houle, Cancale.....	80
Illustration 45 : Topographie de la baie du Mont-Saint-Michel au pas de 25 m (IGN) : ligne rouge Trait de côte HistoLitt V2.0 SHOM-IGN .....	81
Illustration 46 : Evolution de la partie estuarienne de la Baie du Mont-Saint-Michel (F. Verger, marais et estuaires français, 2005).....	82
Illustration 47 : Progression de la bordure de l'herbus (schorre) de 1851 à 1938 (L'Homer 2001 dans Bonnot-Courtois et al., 2002). .....	83
Illustration 48- Coupes à travers l'ancien estuaire du Couesnon : Phases de progression et regression entre 1912 et 1992, L'Homer 2001 dans Bonnot-Courtois et al., 2002). .....	83
Illustration 49 : Vue du Mont-Saint-Michel, Couesnon et du schorre, lors d'une marée de PM de printemps (Photo Bonnot-Courtois dans Tessier et Bonnot-Courtois, 2004) ....	84
Illustration 50 : Sources composants le trait de côte HistoLittV2.0 pour la Bretagne.....	86
Illustration 51 : Schéma de principe de caractérisation du trait de côte.....	86
Illustration 52 : Patchwork des cartes géologiques au 1/50 000 pour les trois départements concernés (en rouge : harmonisation de l'Ille-et-Vilaine ; en rose : des Côtes d'Armor et en bleu : du Finistère ; en surcharge : harmonisation des trois départements).....	87
Illustration 53 : Minute de terrain au niveau de Camaret-sur-Mer (29) .....	88
Illustration 54 : Module de Young et coefficient de Poisson pour quelques familles de roches (Mestat, 1993).....	89
Illustration 55 : Ordre de résistance des minéraux à l'altération (Goldich, 1938) .....	90
Illustration 56 : Synthèse du linéaire côtier étudié pour les départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère. ....	90
Illustration 57 : Tableau des formations géologiques littorales simplifiées des côtes rocheuses des départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère (Sont présents les linéaires altérés, sains et érodés) .....	91

Illustration 58 : linéaire en kilomètre des différents linéaires de cotes rocheuses .....	92
Illustration 59 : Tableau des formations géologiques littorales simplifiées des côtes meubles des départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère (Sont présents les linéaires altérés, sains et érodés) .....	94
Illustration 60 : GPS © Trimble Juno3B.....	95
Illustration 61 : Dictionnaire d'attributs réalisé pour cette étude.....	97
Illustration 62 : Schéma de principe d'un glissement de terrain (Landevennec, 29).....	98
Illustration 63 : Schéma de principe d'un glissement banc sur banc (A : Binic, 22 ; B : Cap à la Chèvre, 29) .....	98
Illustration 64 : Schéma de principe d'un glissement de dièdres (A : Kerfany, 29 ; B : Plouha, 22) .....	99
Illustration 65 : Schéma de principe d'un éboulement/Chute de blocs (A : Pointe du Van, 29 ; B : Planguenoual, 22).....	99
Illustration 66 : Ravinement important des formations superficielles composées de sols sombres épais (1 m) sur un manteau latéritique (Cap à la Chèvre, 29).....	100
Illustration 67 : Sous-cavage (A : secteur Saint-Coulomb, 35 ; B : Plouha, 22).....	100
Illustration 68 : Effondrement sur la bordure nord de l'anse de Dinan (Camaret, 29).....	101
Illustration 69 : A : Glissement de terrain en tête de falaise sur la base des altérites meubles (Cap à la Chèvre, Crozon 29) ; B : Glissement le long de failles orientées vers le vide et formation de cavité dans la zone d'action des vagues (Morgat, Crozon 29) ; C : Erosion différentielle et formation de boutonnières d'érosion (Pointe de Pen Hir, Camaret 29) ; D : Bloc glissé de plusieurs milliers de m <sup>3</sup> , entre Camaret et la pointe des Espagnols (29), suivant un plan N150 satellite de la faille Kerforne. ....	103
Illustration 70 : Recensement des mouvements de terrain, des cavités et impacts ou réparation sur ouvrages littoraux.....	105
Illustration 71 : Tableau d'attribution des notes du degré d'altération pour les formations géologiques littorales .....	107
Illustration 72 : Tableau d'attribution des notes du degré d'érosion pour les formations géologiques littorales .....	107
Illustration 73 : Tableau d'attribution des notes en fonction de la densité de mouvements de terrain (nombre de mouvements de terrain par kilomètre linéaire pour chaque formation géologique littorale) .....	108
Illustration 74 : Tableau d'attribution des notes en fonction de la densité cavités (nombre de cavités par kilomètre linéaire pour chaque formation géologique littorale) .....	109
Illustration 75 : Note finale de prédisposition à l'érosion des formations géologiques littorales des départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère. ....	110
Illustration 76 : Note finale de prédisposition à l'érosion des côtes à falaises du compartiment C1 .....	111
Illustration 77 : En haut : Physionomie des plages selon l'exposition : A. plage de fond de baie – B. plage ouverte – C. plage d'estuaire – D. plage de poche ; En bas : Physionomie des plages selon la morphologie : A. plage adossée – B. cordon dunaire – C. forme fuyante. ....	113
Illustration 78 : Limite de trait de côte retenue : A et B. limite de la végétation dunaire – C. sommet ou pied de falaise – D. pied de l'aménagement de protection.....	114
Illustration 79 : Campagnes photographiques disponibles.....	115
Illustration 80 : Principe du Digital Shoreline Analysis System .....	116
Illustration 81 : Synthèse du linéaire côtier de la zone d'étude .....	116

Illustration 82 : Cinématique du trait de côte pour les plages du compartiment C1 .....	118
Illustration 83 : Synthèse de la géomorphologie des côtes meubles du trait de côte du compartiment C1 .....	119
Illustration 84 : Champs créés pour chaque évènement tempétueux dommageable : A gauche : leur thématique, à droite : le nom de chaque champ. ....	123
Illustration 85 : En haut : Nombres de tempêtes par décennie ; à droite : Nombre de tempêtes par saison enfin en bas : Nombre de tempêtes par mois de l'année par compartiments .....	125
Illustration 86 : En haut : Nombre de tempêtes par département, en Bas : Nombre de tempête	126
Illustration 87 : En haut : Type d'aléa avant et après 1950 :En Bas : Type d'aléa par tempêtes	127
Illustration 88 : Carte synthétique des évènements dommageables pour le compartiment C1	129



# 1. La baie du Mont-Saint-Michel : présentation

La baie du Mont-Saint-Michel constitue le premier compartiment, noté C1 de cet atlas des aléas littoraux (Illustration 6).

Correspondant à la terminaison sud-est du golfe Normand-Breton, dans l'angle formé par la presqu'île du Cotentin et de la côte de la Bretagne Nord, elle forme une vaste dépression de 500 km<sup>2</sup> (Lefeuvre et Mouton, 2009), partagée à l'est, par le département de la Manche (50) et à l'ouest par celui de l'Ille-et-Vilaine (35).

Elle appartient au grand bassin sédimentaire de la Manche, avec lequel elle communique par une large ouverture de vingt kilomètres environ, depuis la pointe du Grouin au nord de Cancale à la pointe de Champeaux à l'est (Nikodic, 1981).

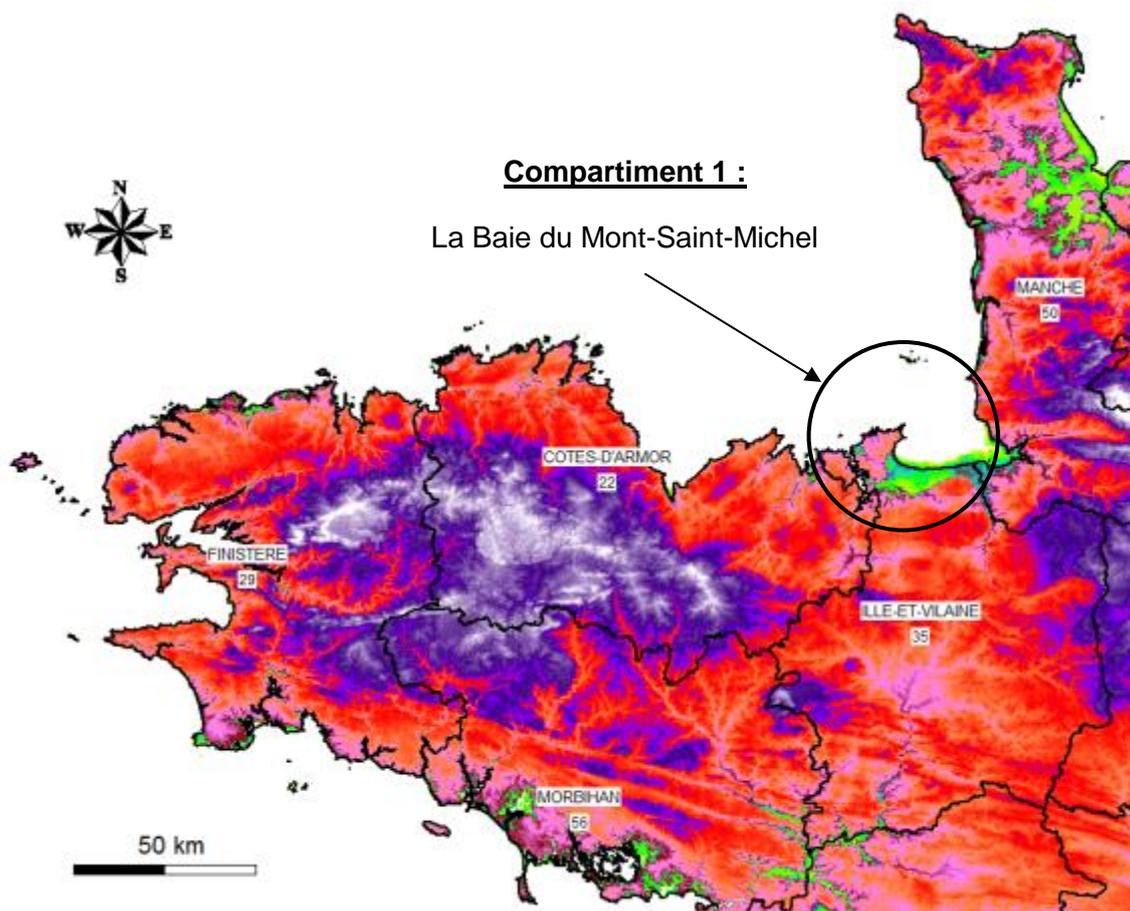


Illustration 6 : Localisation du compartiment C1, entre la presqu'île du Cotentin (composée du département de la Manche) et les côtes nord bretonnes (des départements de l'Ille-et-Vilaine (35) et des Côtes d'Armor (22)).

Avec la présence du Mont-Saint-Michel, inscrit au patrimoine mondial de l'humanité et ses trois millions de visiteurs annuels, la baie est un lieu de toutes les attentions où les études en sciences naturelles et sur l'impact des activités anthropiques, sur cet environnement exceptionnel mais aussi en sciences humaines (car c'est un haut-lieu historique), se sont succédées.

## 1.1. GEOGRAPHIE « HUMAINE »

Le nombre de communes de cette entité géographique ne se résume pas uniquement à celles réparties le long du littoral. Si le trait de côte est la limite admise actuellement entre la terre et la mer, il n'empêche que l'histoire géologique récente de ce secteur bien particulier de la Bretagne, montre que les communes pouvant faire l'objet d'aléas littoraux, s'étendent jusqu'à une limite géographique correspondant à une falaise dite morte, marquant la bordure interne (à l'intérieur des terres) des marais de Châteauneuf-d'Ille-et-Vilaine et de Dol jusqu'aux polders du Mont-Saint-Michel, en bordure Ouest du Couesnon (Illustration 7).

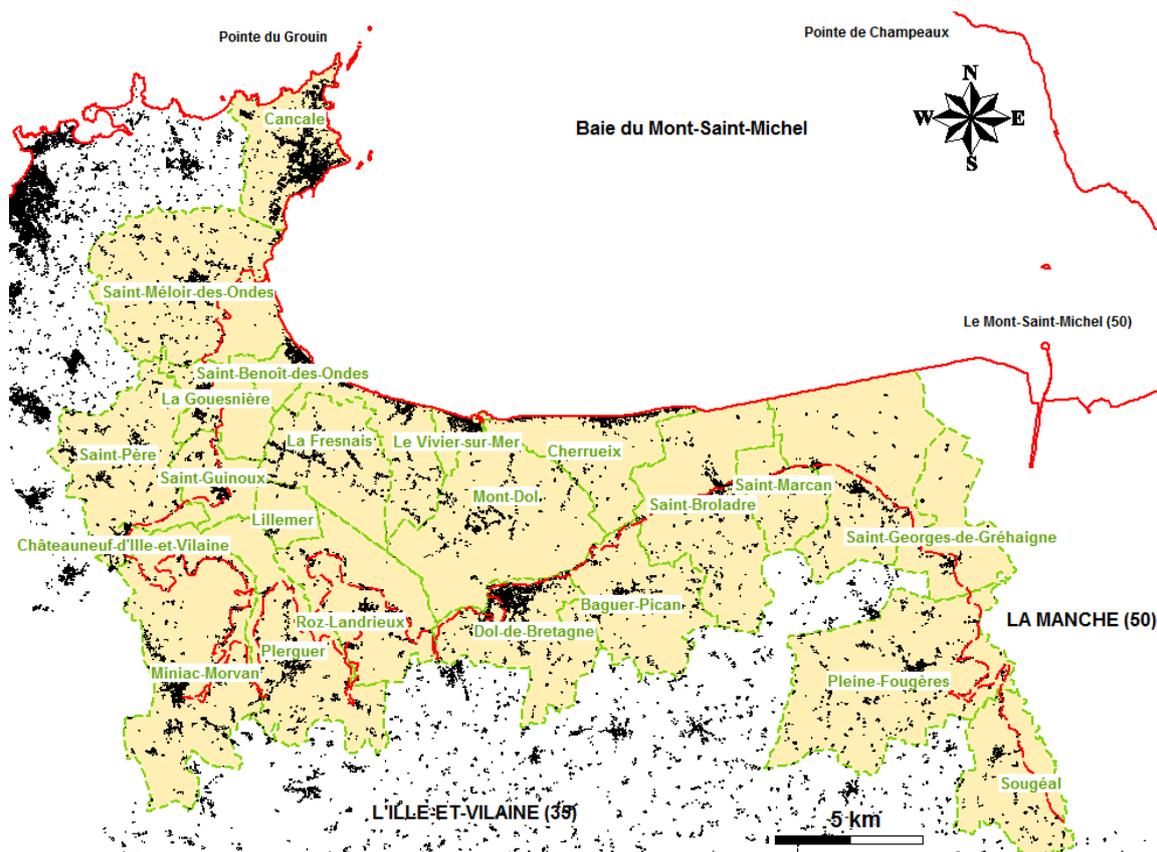


Illustration 7 : Communes bretonnes de la Baie du Mont-Saint-Michel (en rouge plein : trait de côte SHOM-IGN HistLittV2.0, rouge en pointillé : limite d'extension à terre des marais (BRGM, compilation entre Scan25IGN et Cartes géologiques au 1/50 000 BRGM), en noir : le bâti.

Ainsi huit communes sont directement en front de mer, ce sont d'ouest en est : Cancale, Saint-Méloir-des-Ondes, Saint-Benoît-des-Ondes, Hirel, Le Vivier-sur-Mer, Cherruex, Saint-Brolade et Roz-sur-Couesnon.

Seize communes ont une partie de leur territoire à cheval sur la falaise morte, c'est à dire : une partie dans le marais et une partie hors marais. Ce sont d'ouest en est, les communes de : Saint-Méloir-des-Ondes, La Gouesnière, Saint-Père, Saint-Guinoux, Châteauneuf-d'Ille-et-Vilaine, Miniac-Morvan, Pléguer, Roz-Landrieux, Dol-de-Bretagne, Mont-Dol, Baguer-Pican, Saint-Brolade, Saint-Marc, Roz-sur-Couesnon, Saint-Georges-de-Gréhaigne, Pleine-Fougères et Sougéal.

**La totalité des communes** ayant soit une exposition maritime, soit une partie de leur territoire dans le marais récent sont au nombre **de 24**.

Ces 24 communes bretonnes de la Baie du Mont-Saint-Michel, correspondent à une population totale de **38 895 habitants** (Source INSEE 2009).

Les communes les plus habitées sont les communes de Cancale et de Dol-de-Bretagne avec entre 4 000 et 5 370 habitants suivies des communes de Saint-Méloir-des-Ondes et de Miniac-Morvan avec entre 3 000 et 4 000 habitants (Illustration 8).

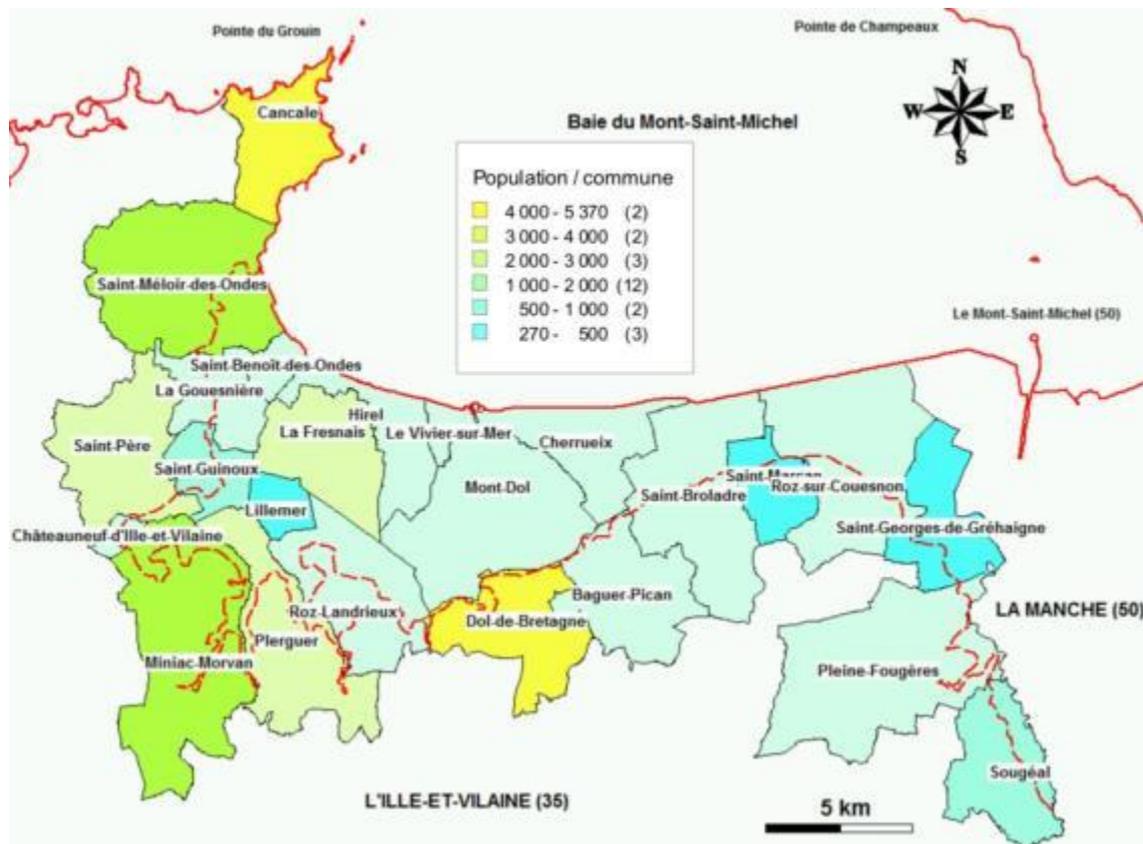


Illustration 8 : Classe de population pour les communes du compartiment C1 : Baie du Mont-Saint-Michel (Source INSEE, 2009).

Les communes situées à l'intérieur du marais sont-elles peu habitées, avec entre 200 et 500 habitants hormis pour La Fresnais avec légèrement plus de 2 000 âmes.

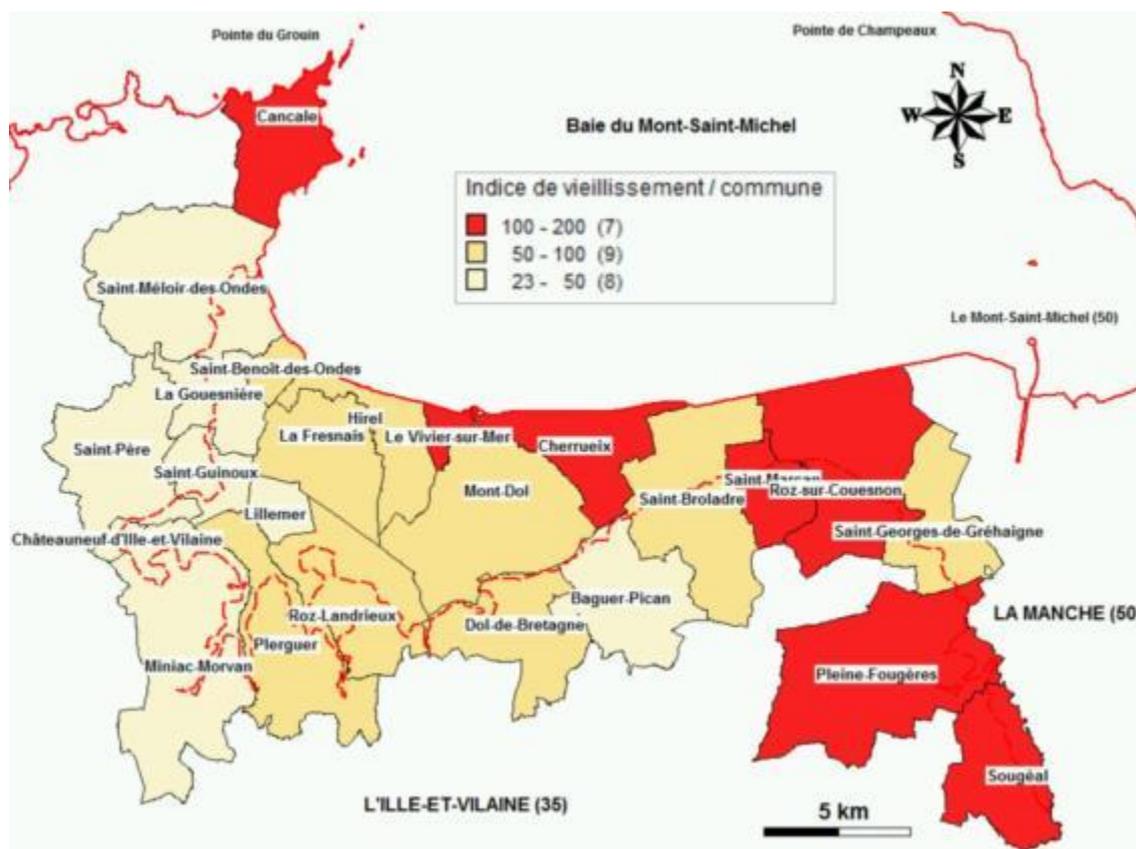


Illustration 9 : Indice de vieillissement pour les communes du compartiment C1 : Baie du Mont-Saint-Michel (Source INSEE, 2009).

En ce qui concerne la **répartition des âges** de ces populations, **l'indice de vieillissement** qui est le rapport de la population des 65 ans et plus sur celle des moins de 20 ans, est un bon indicateur.

Ainsi un indice autour de 100 indique que les 65 ans et plus et les moins de 20 ans sont présents dans à peu près les mêmes proportions sur le territoire; et plus l'indice est inférieur à 100 (faible), plus la population de la commune est jeune, et par effet de bilan, plus il est supérieur à 100 (élevé) et plus la population est âgée.

Ainsi les communes avec les indices les plus élevés sont les communes de Cancale, Le Vivrier-sur-Mer, Cherrueix, Saint-Marc, Roz-sur-Couesnon, Pleine-Fougères et Sougéal. Les indices sont cependant compris entre 100 et 126, montrant que les 65 ans et plus sont plus nombreux que les 20 et moins mais à proportions presque égales. Les autres communes ont des indices inférieurs à 100 (Illustration 9).

Avec la présence du Mont-Saint-Michel au cœur du compartiment C1, et de son classement au patrimoine mondial de l'UNESCO, en 1979, avec une fréquentation annuelle de 3 millions de personnes, faisant du site le troisième le plus visité de France, les **populations saisonnières** peuvent être très variables. Afin d'avoir une idée de la capacité qu'une commune a d'augmenter en population, il est possible de faire **le rapport entre les logements principaux et les résidences secondaires** à partir des données INSEE 2010 (Illustration 5)

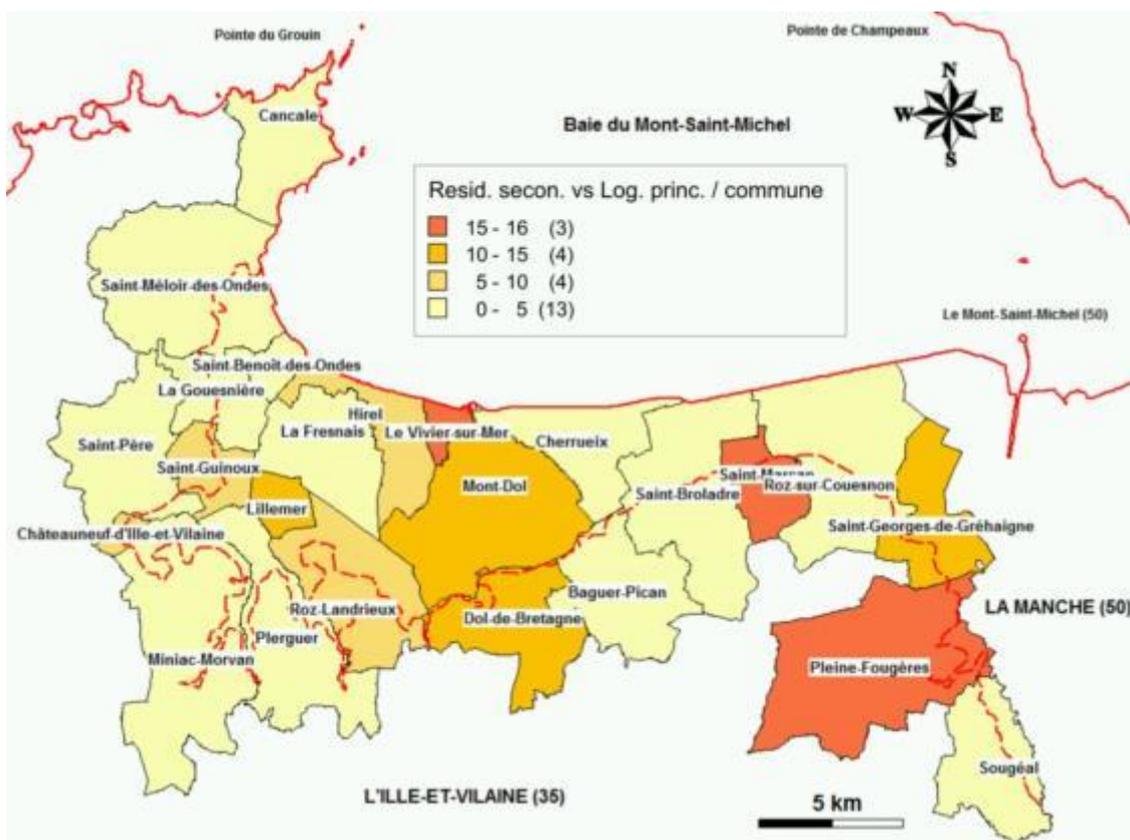


Illustration 10 : Rapport résidences secondaires/logement principaux pour les communes du compartiment C1 : Baie du Mont-Saint-Michel (Source INSEE, 2010).

Les communes du Vivier-sur-Mer, de Saint-Marc et de Pleine-fougères, ont 15 % de leurs habitations qui peuvent accueillir des personnes supplémentaires saisonnièrement, alors les communes de Lillemer, du Mont-Dol, de Dol-de-Bretagne et de Saint-Georges-de-Gréhaigne n'ont une capacité que de 10 à 15 %. Pour le reste des autres communes et la majorité, hormis Hirel, Saint-Guinoux et Roz-Landrieux, entre 5 et 10%, le pourcentage de résidences secondaires est compris entre 0 et 5 % (Illustration 10).

La cohérence territoriale de la baie du Mont-Saint-Michel se divise en 2 SCoT :

- le Pays de Saint-Malo qui est composé de 3 EPCI :
  - communauté de communes de Dol de Bretagne et de la baie du Mont-Saint-Michel : Cherruix, Dol-de-Bretagne, Le-Vivier-sur-Mer et le Mont-Dol,
  - communauté de communes de la baie du Mont-Saint-Michel : Roz-sur-Couesnon et Saint-Broladre,
  - communauté d'agglomération du Pays de Saint-Malo : Cancale, Hirel, Saint-Benoît-des-Ondes et Saint-Méloir-des-Ondes ;
- le Pays de la Baie est composé de 2 EPCI :
  - communauté de communes de Pontorson : Beauvoir, Huisnes-sur-Mer, Le- Mont-Saint-Michel et Pontorson,
  - communauté de communes de Ducey : Ceaux, Courtils et Poilley.

La qualité du cadre de vie et de l'environnement est une caractéristique forte de l'identité des Pays de Saint-Malo et de la Baie du Mont-Saint-Michel. La préservation des espaces environnementaux, dont le littoral, est également une caractéristique que les Pays doivent prendre en considération dans leur SCoT.

La baie du Mont-Saint-Michel est un secteur qui abrite une activité humaine intense et diversifiée.

La singularité du Pays s'écrit autant sur la partie maritime que continentale. Ainsi sur l'estran (la vaste étendue mise à nue par la mer), les hommes (les mytiliculteurs), cultivent « la moule A.O.C. de bouchot », mais aussi l'huître, alors que la pêche aux crustacés et poissons, est encore pratiquée notamment sur Cancale. À l'interface entre terre et mer, sur les herbues (espace recouvert que lors des grandes marées), l'élevage des moutons dit de « pré salé » s'est développé grâce à la résistance de plantes adaptées à la présence d'eau salée. Enfin à terre, au cœur du Marais de Dol de Bretagne, dans une terre à couleur grise (de tangué), la culture maraîchère s'est imposée comme l'ail de Cherruix ou la carotte des sables, alors que dans les derniers terrains gagnés sur la mer, ceux des polders de Roz-sur-Couesnon, proche du Mont-Saint-Michel, les cultures maraîchères sont accompagnées par celle du maïs.

## 1.2. PORTS PRINCIPAUX

Pour la partie bretonne de la baie du Mont-Saint-Michel seul le port de Cancale, à l'Ouest de la baie, est d'importance. Ce port n'est pas un port de référence français mais un port secondaire. Un autre site existe dans la baie, proche du Mont-Saint-Michel, à l'embouchure du Couesnon.

Enfin deux autres ports secondaires mais plus éloignés, peuvent aussi contribuer à apporter des données sur les hauteurs de mer sur ce compartiment C1, il s'agit des ports de Granville dans la Manche et Grande-Ile sur l'Île-de-Chausey.

Le port de référence pour les données marégraphiques, le plus proche, est le port de Saint-Malo, correspondant à un port possédant un observatoire permanent de la marée (Illustration 11).

Dans ces ports secondaires comme de référence, nous avons connaissance de la côte en IGN69 (référence altimétrique nationale) du zéro hydrographique (ZH : niveau des plus basses-mers). Comme pour un coefficient de marée donné, le SHOM donne la hauteur d'eau en mètre par rapport au zéro hydrographique (ZF), il est possible de retrouver la hauteur d'eau théorique (sans la surcote) par rapport à la référence altimétrique française (en IGN69) à partir d'une simple soustraction (Illustration 12)

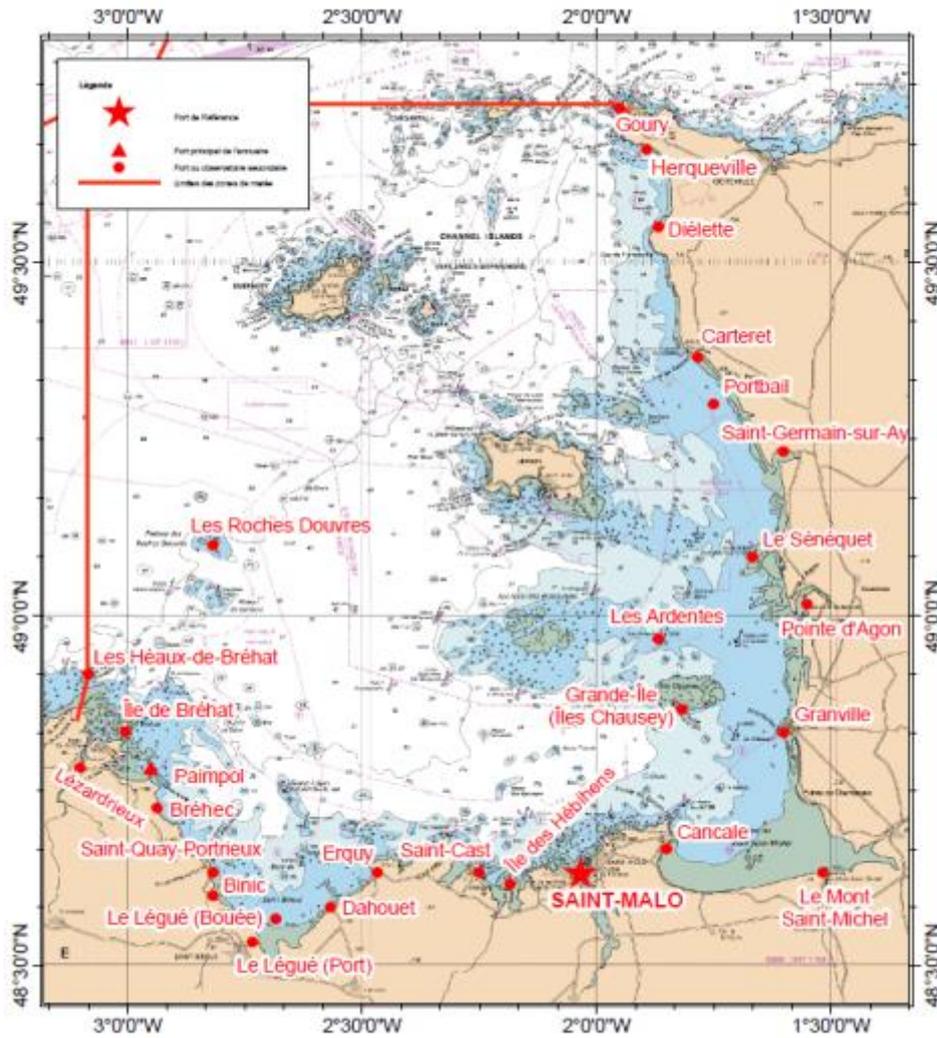


Illustration 11 : Carte de localisation des ports dans la baie du Mont-Saint-Michel (Source : RefMar2012 du SHOM).

Nom	Repère fondamental	Organisme	Date	ZH/RF	RF/Ref	ZH/Ref	ZHGRS80	Ref
Saint-Malo	N.Q.K3L3-45	IGN	1985	14.485	8.196	-6.289	41.98	IGN69
Grande-Île (Îles Chausey)	Repère SHOM dans le trottoir du carrefour croisée des chemins	SHOM	1989	20.762	13.762	-7.000		IGN69
Granville	N.Q.K3S3-30	IGN	2010	15.462	8.842	-6.620		IGN69
Le Mont-Saint-Michel	N.Q.K3-77	IGN	1987	13.992	7.252	-6.740		IGN69
Cancale	N.Q.K3-49BIS	IGN	2010	55.565	48.791	-6.774		IGN69

Illustration 12 : Références Altimétriques Maritimes pour les sites de la zone de marée des abords de Saint-Malo et de la baie du Mont-Saint-Michel.

### 1.3. ARRETES DE CATASTROPHES NATURELLES ET PLAN DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS LITTORAUX (PPRNL)

L'analyse de la base de données des arrêtés de catastrophes naturelles GASPAREL, téléchargée durant l'été 2012, montre qu'il n'existe aucun arrêté de catastrophes naturelles ayant pour description de façon univoque un aléa littoral, c'est-à-dire un arrêté intitulé : Inondations et chocs mécaniques liés à l'action des vagues ou inondations, coulées de boue et chocs mécaniques liés à l'action des vagues, pour les communes de la baie du Mont-Saint-Michel côté breton.

Les seules communes inventoriées sur cette base de données sont toutes situées dans le compartiment plus à l'ouest C2 : Côte d'Émeraude.

Il existe cependant un arrêté intitulé « Tempête » dont les communes, ayant fait l'objet de cet arrêté de catastrophe naturelle dans la baie du Mont-Saint-Michel, sont listées ci-dessous.

LIB_COMMUNE	LIB_RISQUE_JO	DAT_DEB	DAT_FIN	DAT_PUB_ARRETE	DAT_PUB_JO
Cancale	Tempête	15/10/1987	16/10/1987	22/10/1987	24/10/1987
Châteauneuf-d'Ille-et-Vilaine	Tempête	15/10/1987	16/10/1987	22/10/1987	24/10/1987
Cherrueix	Tempête	15/10/1987	16/10/1987	22/10/1987	24/10/1987
Hirel	Tempête	15/10/1987	16/10/1987	22/10/1987	24/10/1987
Roz-sur-Couesnon	Tempête	15/10/1987	16/10/1987	22/10/1987	24/10/1987
Saint-Benoît-des-Ondes	Tempête	15/10/1987	16/10/1987	22/10/1987	24/10/1987
Saint-Broladre	Tempête	15/10/1987	16/10/1987	22/10/1987	24/10/1987
Vivier-sur-Mer	Tempête	15/10/1987	16/10/1987	22/10/1987	24/10/1987

*Illustration 13 : Arrêtés de catastrophes naturelles « Tempête » pour les communes de la baie du Mont-Saint-Michel (Source GASPARD ; prim.net).*

L'ensemble des arrêtés de catastrophes naturelles datent de 1987, année de l'une des plus importantes tempêtes que la péninsule bretonne ait essuyée.

Neuf communes de la baie se sont vues prescrire un Plan de Prévention des Risques Naturels Littoraux (PPRL), pour la submersion marine en juillet 2010. Les communes concernées sont les suivantes : Cherrueix ; La Fresnais ; Hirel ; Roz-sur-Couesnon ; Saint-Benoît-des-Ondes ; Saint-Broladre ; Saint-Marcen ; Saint-Méloir-des-Ondes et Le Vivier-sur-Mer.

#### 1.4. GEOMORPHOLOGIE ET GEOLOGIE LITTORALE

Le Massif Armoricaire est la superposition de deux orogénèses, celle cadomienne (650-550 Ma) et celle hercynienne (420-290 Ma). Deux directions principales tectoniques structurent ce vieux massif. La première d'âge cadomienne est orienté de N030 à N50-60 alors que la seconde d'âge hercynienne est orientée plutôt N090-110. Enfin, un dernier événement tectonique post-hercynien à anté-Éocène moyen, relié à l'ouverture du Golfe de Gascogne, affecte l'ensemble de ce bâti, avec des directions NS à N150. L'ensemble de ces directions tectoniques influencent avec des parts respectives relatives les directions d'érosion (Illustration 14).

Ainsi, la baie du Mont-Saint-Michel repose sur un socle constitué de roches sédimentaires mises en place il y a 600 millions d'années (briovérien supérieur), qui ont été déformées pour donner des schistes (schistes briovériens). Les schistes briovériens constituent l'ossature de la partie sud et est de la baie (Lefeuvre et Mouton, 2009).

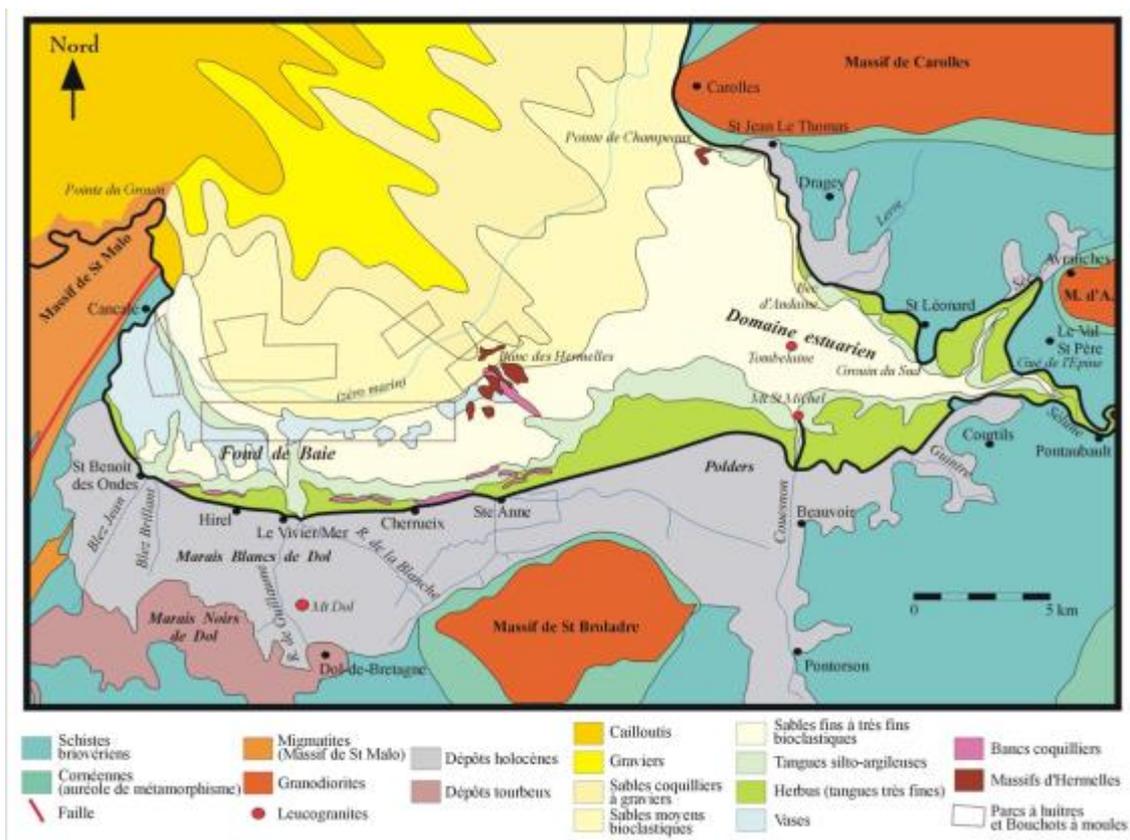


Illustration 14 : Carte géologique et sédimentologique simplifiée de la baie du Mont-Saint-Michel (Tessier, 2003 d'après Larssonneur, 1989 ; L'Homer et al., 1999).

Souvent les descriptions morphologiques et sédimentaires se cantonnent à la description des formations géologiques de l'estran de la baie du Mont-Saint-Michel. Pour autant, cette entité géographique comme nous l'avons déjà présentée ci-dessus, correspond à un ensemble depuis la falaise morte à terre jusqu'au trait de côte littoral (Illustration 15).

Ainsi la Baie du Mont-Saint-Michel est une magnifique échancrure, ouverte sur la Manche, grâce aux deux passes de parts et d'autres de l'Île-de-Chausey, dont l'histoire de sa formation n'a pas encore révélé tous ces secrets. Certains pensent que son histoire est récente : Quaternaire, comprise entre 2 millions d'années et l'actuel, mais des affleurements de réseaux hydrographiques (paléo-rivières) persistent énigmatiques à 90 m NGF d'altitude.

Cette échancrure, ouverte dans les schistes du Briovérien, d'environ 20 km entre les pointes du Grouin et de Champeaux, passe à 30 km depuis sa bordure terrestre occidentale au niveau de Saint-Guinoux à la rive orientale du Couesnon, et remonte à l'intérieur des terres sur environ 7 à 10 km au niveau de Dol-de-Bretagne et 15 km le long de la vallée du Couesnon, sur la commune de Sougéal.

Cette ouverture au cœur du Massif Armoricain est la conséquence de la présence sur la partie orientale de la baie, de trois fleuves côtiers à faible débit que sont : la Sée, la Sélune et le Couesnon. Le Couesnon dont l'embouchure actuelle se situe au pied du Mont, a un débit moyen de 20 m<sup>3</sup>/s, pouvant atteindre les 140 m<sup>3</sup>/s en période de crue. La Sélune a un débit similaire à celui de Couesnon, alors que la Sée a un débit plus modeste de 20 m<sup>3</sup>/s (Nikodic, 1981).

Cette partie orientale correspond donc à une zone basse estuarienne, dominée par la marée où la morpho-dynamique de l'estran sableux est pilotée par la divagation des chenaux ; alors que la partie occidentale de la baie correspond à un fond de baie plus abrité, découvrant sur

une largeur de 5 km, des vases homogènes entaillées par les deux exutoires des canaux de drainage du marais de Dol (Bonnot-Courtois *et al.*, 2012). L'échancrure côté ouest pourrait être la conséquence de l'érosion, de la paléo-Rance qui se serait jetée autrefois dans la baie.

De part et d'autre de ces niveaux bas, la baie est encadrée par des falaises de schistes du Briovérien à l'ouest au niveau de Cancale qui passent à des roches de plus haut-grade métamorphique : les migmatites, injectées de niveaux granitiques d'anatexie au nord. À l'est, on retrouve des falaises de schistes du Briovérien, recoupés par des granodiorites manceliennes de 520 millions d'années. Ces granodiorites génèrent des falaises hautes, proches de 90 à 100 m NGF alors les schistes et les migmatites génèrent des falaises moyennes, proches de 25 à 50 m NGF. Les falaises maritimes autour de la baie se raccordent à terre avec la falaise morte (Illustration 14). Localement, la côte rocheuse est découpée de petites criques à sédimentation sableuse (Nikodic, 1981).

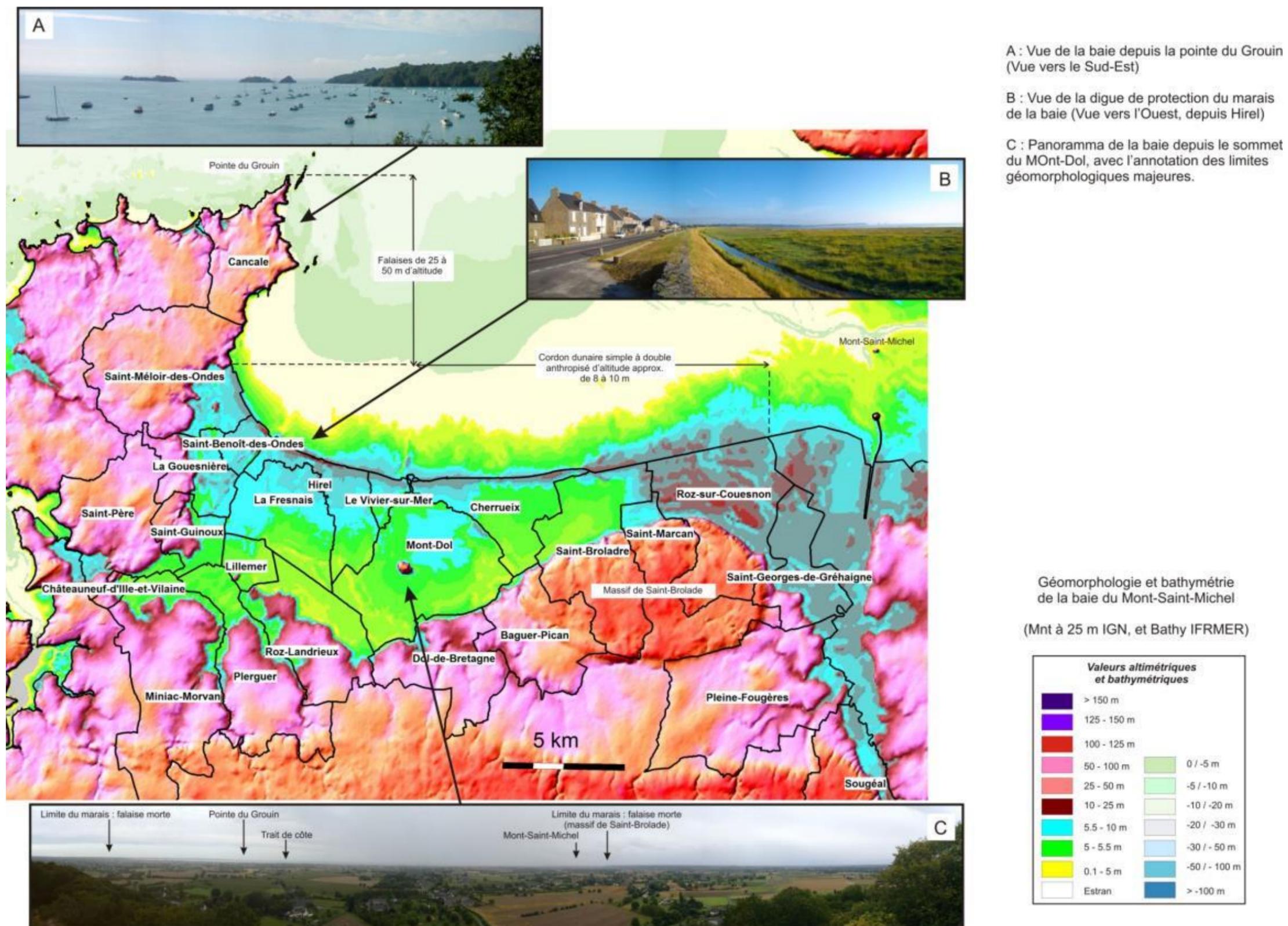


Illustration 15 : Géomorphologie et bathymétrie de la Baie du Mont-Saint-Michel.

Les niveaux bas de la baie sont caractérisés par d'immenses grèves, aujourd'hui entièrement anthropisés et abrités par une digue de 17 km de long (celle de la duchesse Anne) sur sa partie exposée à la mer et de 14 km sur sa partie non exposée à la mer et limitant les polders de l'ouest. Les Polders de l'ouest sont eux protégés par une digue de l'ouest de 13 km environ depuis la Chapelle Sainte-Anne jusqu'à l'embouchure du Couesnon.

Cette vaste zone basse a une altitude qui oscille entre 2.5 - 3 m NGF dans sa partie la plus continentale (aux niveaux du marais de Châteauneuf-d'Ille-et-Vilaine - Dol-de-Bretagne et jusqu'à la limite sud-est de la commune du Mont-Dol) et d'environ 9.5 m NGF sur le littoral. Ainsi le marais de la baie du Mont-Saint-Michel a l'allure d'une pyramide aplatie, avec une pente très faible (6 m en altitude pour 10 000 m de long), orientée vers le continent et une seconde toute aussi faible, orientée vers la mer.

La baie s'incline vers le nord-ouest où les profondeurs maximales sont organisées autour de la vingtaine de mètres. Ainsi, cette faible bathymétrie et le grand marnage (la mer se retirant jusqu'à 15 km du trait de côte, L.C.H.F., 1986), créent de larges estrans plats (Ehrhold, 1999), et une large surface de découverte.

La partie orientale de la baie a un fort taux de sédimentation et le colmatage dans ce secteur est plus rapide qu'à l'est (Nikodic J., 1981).

Sur un profil terre-mer, depuis la falaise morte jusqu'à l'estran, la baie du Mont-Saint-Michel et le marais de Dol-de-Bretagne, correspond à un prisme sédimentaire d'une dizaine de mètres d'épaisseur, constitué de formations géologiques littorales meubles (Illustration 16, Ehrhold, 1999 d'après Morzadec, 1974 in Larssonneur, 1989).

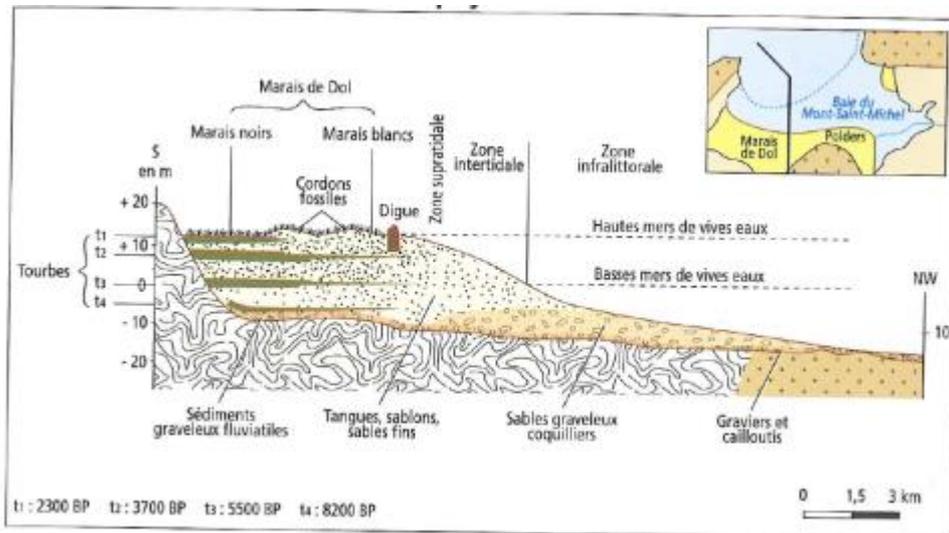


Illustration 16 : Le prisme sédimentaire holocène en baie du Mont-Saint-Michel (Ehrhold, 1999 d'après Morzadec, 1974 in Larssonneur, 1989).

Ce prisme est caractérisé par trois formations géologiques. La plus proche de la « falaise morte » et située dans la dépression de Châteauneuf-d'Ille-et-Vilaine - Dol-de-Bretagne, est appelée usuellement « le marais noir », car c'est une formation géologique composée de sables, limons et argiles avec des passages de galets et de graviers et de niveaux riches en matière organique (débris de végétaux divers). Cette formation correspondait autrefois à une lagune (ou marais maritime), qui pouvait saisonnièrement, être soit dominée par des eaux marines, soit pas de eaux continentales. La seconde formation géologique est communément appelée : « le marais blanc ou gris ». Elle correspond à des sables fins à

grossiers, parfois coquilliers et des limons ou « tangues », de couleur claire. Cette formation géologique correspond à ce qu'il est possible d'observer actuellement sur l'estran, telle qu'une alternance fine (milli- à centimétriques) de lits sableux, sablo-limoneux et de limons drapés de lits argileux sur plusieurs mètres d'épaisseurs (Ehrhold, 1999 d'après Morzadec, 1974 in Larsonneur, 1989 ; Bonnot-Courtois *et al.*, 2002, Illustrations 16 & 17). Enfin la troisième formation correspond au cordon sableux sommital de cette pile sédimentaire. Elle est la limite physique entre la Terre et la Mer. C'est la reconstruction du prisme sédimentaire qui permet de mettre en évidence les variations du rivage soulignées par ce cordon de sables.

Les niveaux riches en matière organique permettent de donner des âges aux formations géologiques récentes, à partir de la présence de carbone 14. Ainsi pour la Bretagne, l'évolution du niveau marin a pu être reconstituée, notamment en baie du Mont-Saint-Michel, à partir de la reconstruction du prisme sédimentaire décrit ci-dessus (Illustration 17, Bonnot-Courtois *et al.*, 2002).

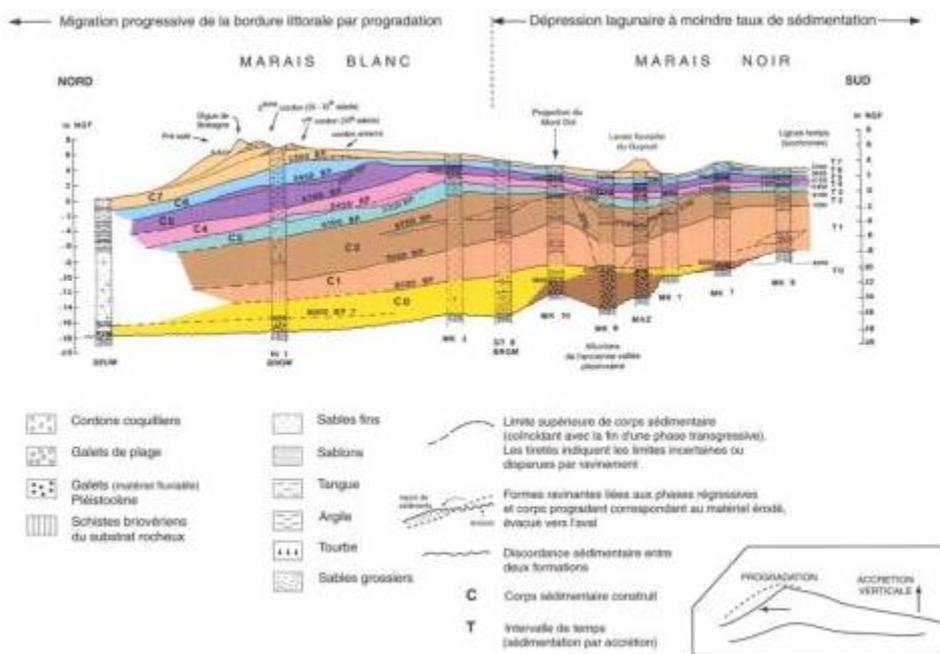


Illustration 17 : Schéma de reconstruction des dépôts successifs du marais de Dol depuis 8 000 ans (d'après les données stratigraphiques de M.T. Morzadec-Kerfourn pour la partie marais noir dans Bonnot-Courtois *et al.*, 2002).

À partir de forages réalisées dans le marais de Dol, il est possible pour chaque séquence sédimentaire de déterminer un âge. La compréhension de la dynamique sédimentaire permet de créer des lignes de temps relatives qui seront calées par les âges trouvées. Ce principe de la *stratigraphie séquentielle*, développé par les géologues pétroliers, est largement utilisé par les géologues-sédimentologues.

Les niveaux marins ont ainsi été reconstruits pour les derniers 9 000 ans BP, et sont synthétisés par la courbe ci-dessous (Illustration 18, Bonnot-Courtois *et al.*, 2002).

Il est intéressant d'observer les vitesses moyennes par siècle, déduites suivant les différentes tendances de la courbe : avec 60 cm par siècle entre 9 000 et 7 000 ans BP, les auteurs précisent que localement la vitesse a pu atteindre le mètre, puis entre 7 000 et 5 000 ans BP, la vitesse se réduit à 33 cm par siècle et enfin pour la dernière période entre 5 000 ans BP et l'Antiquité, elle diminue à 10 cm par siècle.



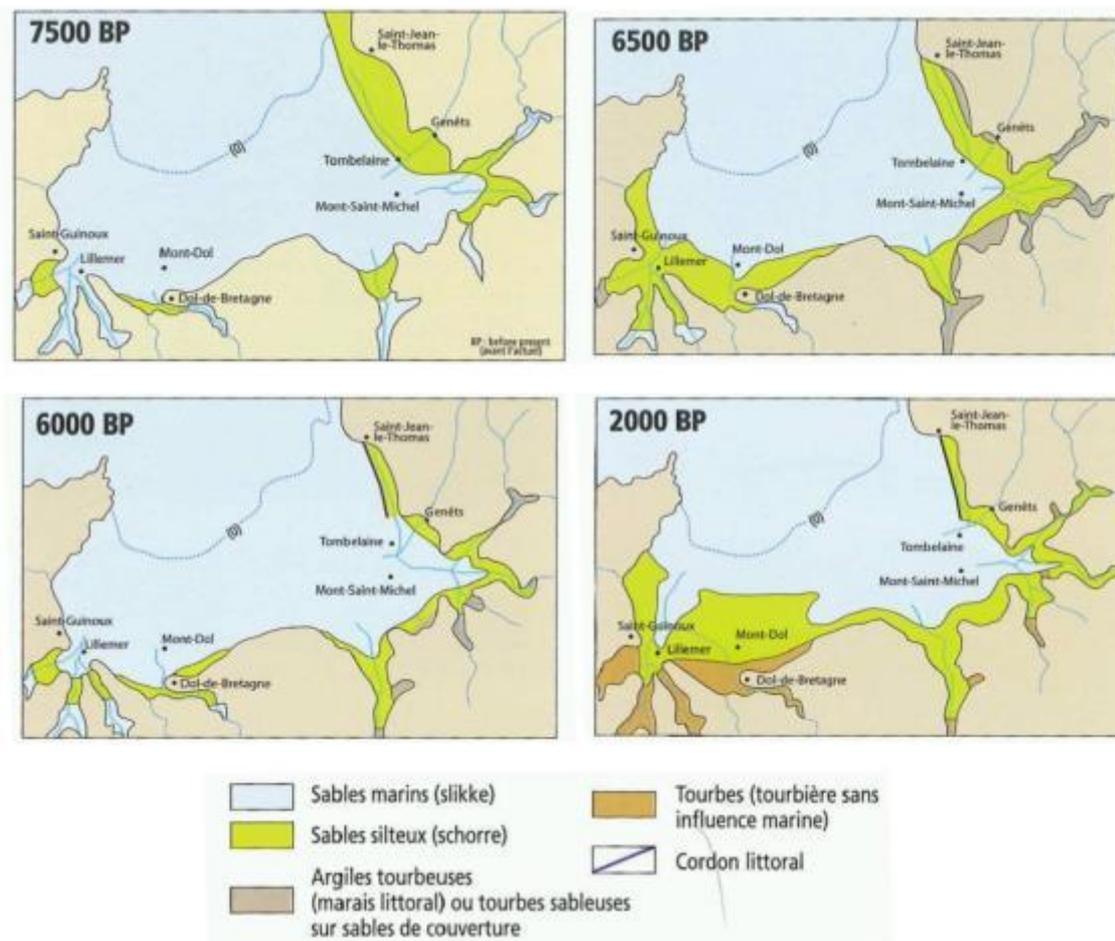


Illustration 19 : Les étapes de la transgression flandrienne dans la baie du Mont-Saint-Michel (D'après M.-T. Morzadec-Kerfoun et A. Lautridou, 1982 ; dans Lefeuvre et Mouton, 2009).

L'ensemble du marais correspond à des formations marines à littorales dites : supratidales à intertidales. Profitant du recul de la mer au cours de la période holocène, ces terrains maintenant entièrement occupés par l'homme, ont été gagnés sur la mer en l'empêchant de revenir saisonnièrement ou à des périodes climatiques propices sur les terrains qu'elle modelait. En 1998, C. Debroise - Delbreuil et F. Verger et M. Le Vot dans Bonnot-Courtois *et al.* (2002), reconstituaient l'évolution de cette anthropisation jusqu'à la création de la dernière digue des Polders de l'Ouest dans les années 30 (Illustration 20).

Dès le 7<sup>ième</sup> siècle, la dépression située en arrière de deux cordons dunaires, va dans un premier temps, être comblée et isolée des influences marines. Puis au cours 11<sup>ième</sup> et 13<sup>ième</sup> siècles, le marais maritime va être lui aussi isolé et progressivement comblé jusqu'à ce qu'il ne communique plus avec la mer au 17<sup>ième</sup>. Enfin au cours du 20<sup>ième</sup> siècle, la progression vers le Couesnon et la réalisation des polders de l'ouest par la construction de la digue du même nom, va complètement terminer l'invasion humaine de la plaine d'inondation du Couesnon (Illustration 20).

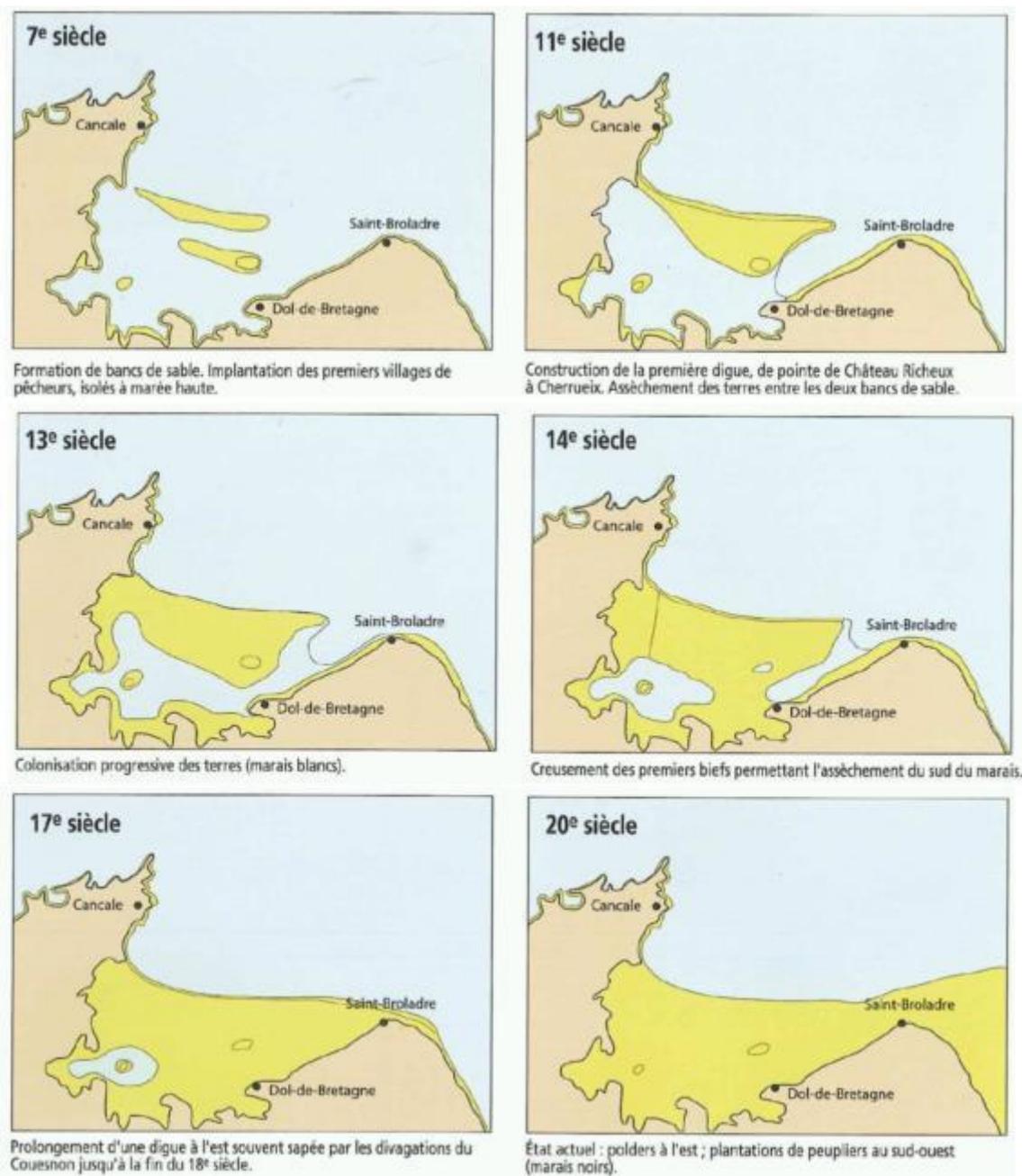


Illustration 20 : Mille trois cents ans de conquêtes de la terre sur la mer par l'homme, dans le marais de Dol (Deboise-Delvreuil, 1998 dans Lefeuvre et Mouton, 2009).

La sédimentation de la baie sur sa partie estran est bien particulière. Avec l'un des marnages les plus importants d'Europe, l'estran est balayé par les courants de marée (le jusant et le flot) mais aussi par les vents, et surtout par une occupation non permanente de la mer qui peut s'évaluer en termes de pourcentage annuel d'occupation.

Cette dynamique sédimentaire crée, en avant des digues littorales protégeant les marais et les polders, des formations sédimentaires, véritables marqueurs géomorphologiques. Leur suivi cartographique annuel ou décennal ou encore pluriannuel ou pluridécennal permet le suivi de l'évolution du marais.

Deux marqueurs principaux ont un intérêt en ce qui concerne les aléas érosion littorale et submersion. Il s'agit de la limite du schorre et des bancs de sables coquilliers (Illustration 21). Leur évolution cartographique sera détaillée plus loin dans la partie : « aléas littoraux ».



Illustration 21 : Deux limites sédimentaires et géomorphologiques de la baie du Mont-Saint-Michel : en haut, limite du schorre en bas, bancs de sables coquilliers (Tiré de Lefeuvre et Mouton, 2009).

Sur la partie haute de l'estran, le schorre (ou herbu) annonce la transition entre le domaine maritime et le milieu terrestre. La largeur du schorre est très variable. Elle est par exemple de 500 m à 1 500 m à l'est du Mont-Saint-Michel, de 2000 m devant les polders et quelques dizaines à centaines de mètres vers Saint-Benoît – Le-Vivier (L.C.H.F., 1986). Il avait été remarqué que la sédimentation avait été favorisée dans la partie sud par les aménagements humains à partir du XI<sup>ème</sup> siècle (Guillaumont *et al.*, 1984).

L'estran se caractérise entre la chapelle Sainte-Anne et Hirel, par une zone de 4,5 km de largeur avec une pente de 3,7 ‰ et une orientation Nord, alors que entre Hirel et Cancale, la largeur de l'estran se réduit passant de 4,5 km pour disparaître à la pointe de la Chaîne à Cancale. La pente est comprise entre 2,6 et 3,7 ‰ et est orientée nord-est (Lafond, 1986).

L'estran qui fait suite au schorre, est soumis au régime sédimentaire imposé par les principales rivières, par la dynamique côtière et par la dynamique éolienne.

Cependant, les apports sédimentaires d'origine fluviale sont considérés comme négligeables en baie du Mont-Saint-Michel car ils ne représentent qu'une valeur équivalente à la moitié de ceux remaniés par les courants de marée de vive eau moyenne (SOGREAH, 1998).

Ainsi les sédiments qui composent le remplissage de la baie du Mont-Saint-Michel proviennent presque exclusivement des apports de la Manche, dont la dissymétrie de la courbe de marée contribue à un bilan sédimentaire excédentaire.

Les sédiments qui transitent dans la baie sont de nature bio-lithoclastiques<sup>1</sup> (Billeaud, 2007).

Du bas vers le haut estran, soit du large vers la côte, les sédiments montrent une grano-décroissance, due à la diminution progressive de l'énergie des courants de marée depuis l'entrée de la baie jusqu'au trait de côte (du fait de la diminution des profondeurs et de la faible déclivité) (Billeaud, 2007).

Le domaine marin à l'entrée de la baie comprend des nappes de cailloutis et de graviers sur un substratum rocheux qui affleure au nord-est de la pointe du Grouin.

Ces sédiments très grossiers laissent place à des graviers sableux qui forment des bancs à proximité des caps

Au nord de la baie, ils se mélangent à un abondant stock de coquilles, en particulier de crépidule, qui recouvre la surface des fonds subtidiaux jusqu'aux secteurs envasés des parcs ostréicoles de Cancale.

Des couloirs, constitués de graviers coquilliers et de sables grossiers, localement modelés en mégarides, recoupent le prisme sableux entre le banc des Hermelles et la pointe de Champeaux.

Au centre de la baie, le banc situé au nord du récif des Hermelles de la chapelle Sainte-Anne coïncide avec l'ancien lit du Couesnon.

Au nord-est, le couloir ancré sur la pointe de Champeaux comprend des sables grossiers mieux classés, témoins d'une dynamique sédimentaire active (Bonnot-Courtois *et al.*, 2012) (Illustration 22).

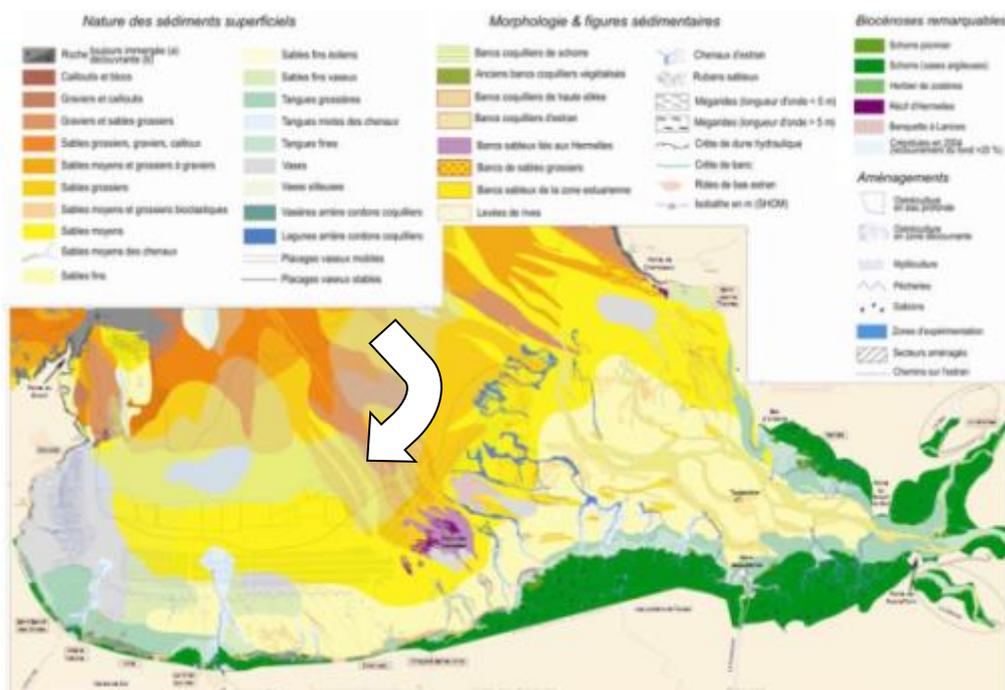


Illustration 22 : Répartition des sédiments dans la baie du Mont-Saint-Michel (D'après Bonnot-Courtois *et al.*, 2009) et évolution des gradients sédimentaires (le gradient s'atténue vers le sud et vers l'ouest).

<sup>1</sup> Composée d'éléments d'organismes vivants (coquilles) et de fragments de roches

La répartition des sédiments dans la baie montre deux gradients sédimentaires principaux :

- du nord au sud, soit du large vers la côte, les nappes de sables grossiers et cailloutis, orientées nord-ouest/sud-est dans l'axe de la baie, passent progressivement aux sables moyens et fins puis aux faciès vaseux dans les parties les plus hautes de l'estran ;
- d'est en ouest, les sables fins de la zone estuarienne, mis en place sous l'action de courants de marée de type alternatif, passent à des faciès sablo-vaseux dans la partie centrale de la baie. Des faciès encore plus fins de vases pures occupent la baie de Cancale, soumise à des courants giratoires et totalement protégée des houles de nord-ouest, diffractées par la pointe du Grouin.

Dans la partie Est de la baie, la prédominance des courants de flot, aboutit à un transport de matériel fin en direction du haut-estran, ce qui conduit à une alimentation des slikkes et à une extension des schorres. Dans la partie Ouest de la baie, il n'y a plus de dissymétrie dans entre flot et jusant, l'envasement dépend alors des conditions météorologiques (Lafond, 1986).

Cette partie occidentale de la baie du Mont-Saint-Michel, dont l'estran est large et vaseux à sableux, vers le large et vers l'est, contraste avec celui central, vaso-sableux, évoluant vers des faciès plus grossiers.

La configuration de la baie définit deux environnements sédimentaires différents : l'un à l'est caractérisé par le système deltaïque en avant de l'estuaire de la Sée, de la Sélune et du Couesnon ; l'autre à l'ouest correspondant à un fond de baie où les apports continentaux sont limités à quelques chenaux de drainage du marais de Dol.

La limite entre les deux milieux se situe environ au massif des Hermelles (Caline, *et al.* 1982 ; Lafond, 1986).

En effet, il faut noter que l'estran occidental est isolé du système deltaïque par un bioherme<sup>2</sup> à Hermelles (*Sabellaria alveolata*) qui engendre son propre environnement sédimentaire en provoquant le dépôt de particules fines (Nikodic, 1981). En baie du Mont-Saint-Michel, les bioconstructions récifales à hermelles sont estimées à 100 hectares (De Saint-Léger et Levoy, 2010).

Le haut estran de la baie du Mont-Saint-Michel, sur la partie « shore-face » (en avant du schorre, face à la mer), est caractérisé par la présence de nombreux bancs coquilliers, alignés parallèlement au trait de côte. Leur morphologie et leur dynamique sont liées à l'action des houles. Les bancs migrent depuis le bas estran vers la digue (de quelques cm/an à plusieurs dizaines de m/an) (Bonnot-Courtois *et al.*, 2004).

Ces bancs sont anciens dans la partie Ouest et plus récents dans la partie est. Ils forment une barrière littorale naturelle et continue en avant des anciens cordons littoraux, sur lesquels sont construites les digues. Cette barrière, qui atteint une altitude de 8 m IGN, est entrecoupée de chenaux de vidange du schorre (Bonnot-Courtois *et al.*, 2004). On distingue trois morphologies de bancs organisés depuis l'estran et en remontant vers le trait de côte (Bonnot-Courtois *et al.*, 2012) :

- les bancs de Type C, d'estran (en jaune sur l'illustration 23), sont des bancs sableux de la partie médiane de l'estran. Ils sont peu épais (30 cm) mais possèdent une extension spatiale importante, localisés dans la partie moyenne et supérieure de l'estran ;

---

<sup>2</sup> « Masse de roches sédimentaires calcaires édiflée par des organismes constructeurs restés le plus souvent en position de vie » (Foucault et Raoult, 1995)

- les bancs de Type B de schorre (en vert sur l'illustration 23), d'épaisseur variable et de faible extension. Ils sont constitués de coquilles entières et sont incorporés au haut schorre à proximité de la digue ;
- enfin les bancs de Type A de haute slikke (en rouge sur l'illustration 23), sont constitués d'un mélange de sable et de coquilles entières. Ils sont très épais (2 m) et présentent une morphologie dissymétrique avec des terminaisons en crochons tournés vers la côte dues à la diffraction des houles. Situés en bordure de schorre, ils isolent en arrière d'eux une dépression lagunaire où se dépose des vases fines.

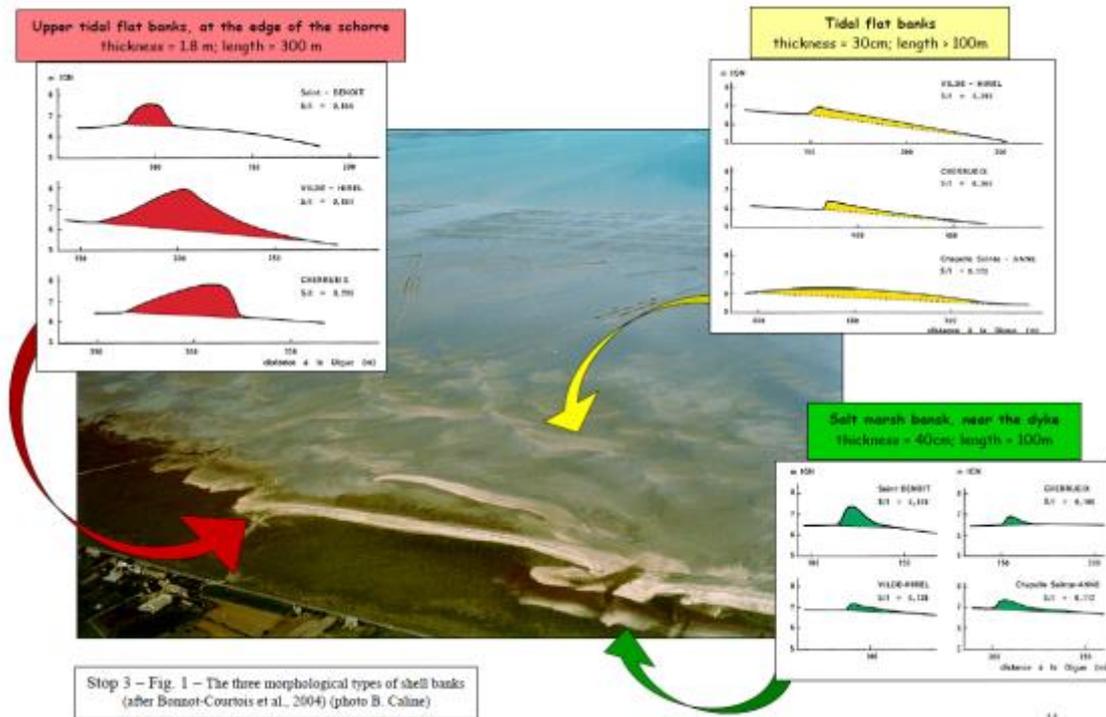


Illustration 23 : Localisation sur l'estran et profils topographiques des bancs d'estran Type A (en vert), de Type B (en rouge) et C (en jaune) (Tessier et Bonnot-Courtois, 2004 ; Bonnot-Courtois et al., 2002).

Les bancs de sables coquilliers positionnés sur le haut de l'estran, en avant des digues de protection du marais de Dol, seront de bons indicateurs cinématiques à proximité du trait de côte fixé, et de bons candidats à l'évaluation de l'aléa érosion ou submersion aux abords du trait de côte.

Chaque type de bancs possède des caractéristiques topographiques et morphologiques propres (Illustration 24 ; Bonnot-Courtois et al., 2004).

Caractéristiques morphologiques		Saint-Benoit-des-Ondes	Vildé-Hirel	Cherrueix	La-Chapelle-Sainte-Anne
Pente moyenne du replat de marée		1%	1%	0,50%	0,25%
Banc de schorre Type A	Altitude (m IGN)	7,5	7	7,1	7
	Epaisseur (m)	0,8	0,3	0,35	0,35
	Largeur (m)	0,35	0,17	0,19	0,16
Banc de haute slikke Type B	Altitude (m IGN)	7,6	7,9	7,9	7,5
	Epaisseur (m)	1,1	1,5	1,45	0,9
	Largeur (m)	0,69	0,83	0,74	0,62
Banc d'estran Type C	Altitude (m IGN)	--	7	6,3	6,2
	Epaisseur (m)	--	0,5	0,45	0,45
	Largeur (m)	--	0,34	0,29	0,27

Illustration 24 : Caractéristiques topographiques et morphologiques des bancs d'estran de la partie occidentale de la baie (d'après Bonnot-Courtois et al., 2004).

Les bancs situés sur l'estran (Type c) peuvent être très mobiles et présentent une forme aplatie et hydrodynamique, alors que ceux de haut slikke (Type B) et de schorre (Type A) seraient moins mobiles à mobiles suivant les secteurs de la baie et présentent des formes dissymétriques de type dune hydraulique à éolienne.

Ainsi la Baie du Mont-Saint-Michel se comble progressivement conséquence de dépôts sédimentaires qui ne sont pas « chassés » par un fort débit fluvial, avec une vitesse de sédimentation verticale, estimée à 2 cm/an en moyenne (Paskoff, 1998, Verger et Ghirardy, 2005). L'énergie de houles de nord-ouest est absorbée par frottement sur le fond de la baie, cette dépense d'énergie serait en partie consommée en transports sédimentaires (Larsonneur, 1973, 1980 ; Auffret, 1983).

L'étude de l'estran cancalais, sur la période de 1829 à 1978, réalisé par Nikodic en 1981, montre que l'évolution des fonds ne se dirige pas dans le sens d'un exhaussement continu, car après une période érosive de 30 ans, succède à une phase d'accrétion qui a repris depuis 1959 (Illustration 25).

Intervalle chronologique	1829 - 1928	1928 - 1959	1959 - 1978
Sédiments déposés (en m <sup>3</sup> )	6 500 000	1 520 000	10 800 000
Sédiments érodés (en m <sup>3</sup> )	-	7 0 150 000	35 000
Bilan sédimentaire (en m <sup>3</sup> )	6 500 000	-5 630 000	10 765 000

Illustration 25 : Bilan sédimentaire de l'estran cancalais de 1829 à 1978 (d'après Nikodic, 1981).

Chaque année, le colmatage de la baie du Mont-Saint-Michel se fait par l'apport d'environ 1 500 000 m<sup>3</sup> de matériaux, composés essentiellement des sables fins et des vases, qui se déposent surtout en fond de la baie et sur la bordure Sud. Le vent remobilise la couche superficielle de sables fins et sablons puis met en suspension ce matériel sédimentaire sous la forme de nuages dont le volume global a pu être évalué à 50 000 m<sup>3</sup>/an (Laboratoire Central d'Hydraulique de France, 1977).

Les activités humaines et l'anthropisation de la baie (poldérisation) contribuent également à son comblement (L.C.H.F., 1986).



## 2. Paramètres / Agents hydrodynamiques

### 2.1. LA MAREE

La marée est une onde oscillatoire périodique du niveau de la mer due aux effets conjugués de l'attraction de la Lune et du Soleil sur les particules liquides des océans (Ehrhold, 1999). Le caractère périodique de la marée a 3 cycles :

- cycles de pleine-mer : cycle semi-diurne de 12h25 ;
- cycles mensuel ou semi-lunaire : cycle de vive-eau/morte-eau (interaction entre le Soleil, la Terre et la Lune) ;
- cycle annuel : cycle solstice/équinoxe lié à la variation de la distance de la Terre au Soleil.

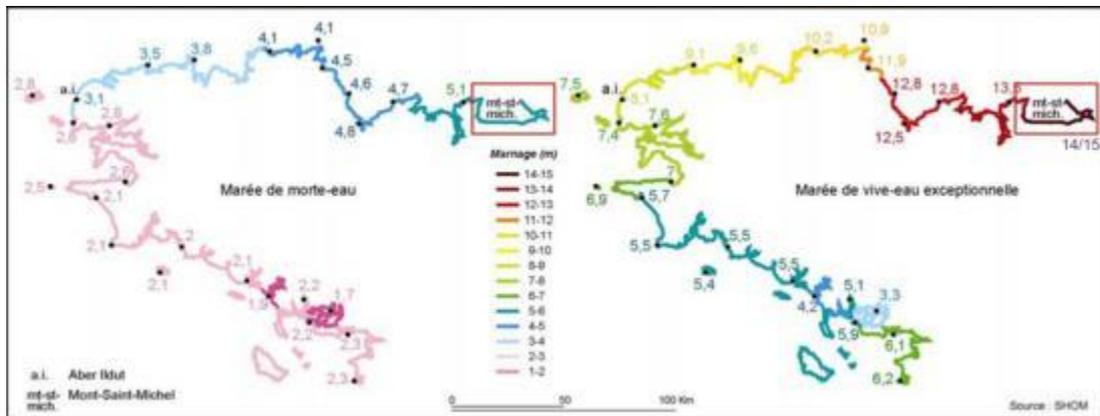


Illustration 26 : Amplitude du marnage en Bretagne (d'après les données du SHOM) (dans Stephan, 2009).

En Manche occidentale, l'onde de marée venant de l'Atlantique enfle sur les bords du plateau continental à l'entrée de la Manche, puis est réfractée sur la barrière du Cotentin, ce qui a pour effet d'augmenter l'amplitude de la marée du Nord vers le Sud du Golfe normand-breton (Larsonneur, 1989). Les îles de Chausey jouent un rôle important dans la dynamique « sédimento-tidale » en générant des tourbillons résiduels à l'est de la Pointe du Grouin, ayant pour effet la séparation des lignes de courants entre le flot et le jusant (Ehrhold, 1999).

On appelle alors ce régime, un « régime mégatidal » lorsque le marnage d'une côte dépasse les 8 m (Billeaud, 2006). Le maximum de 12 m à 12,6 mètres en vives-eaux moyennes est atteint dans le fond de la baie du Mont-Saint-Michel (Respectivement L.C.H.F., 1987 et Ehrhold, 1999), mais exceptionnellement, il peut atteindre les 15 m, ce qui la classe la baie dans l'une des plus grandes amplitudes de marée mondiale (Billeaud, 2006).

Avec ce fort marnage, sont associés d'importants courants au niveau du littoral (Lafond, 1986). À ce phénomène, un courant de compensation de niveau se crée vers le sud-sud/ouest (L'Homer *et al.*, 1999 ; Bonnot-Courtois *et al.*, 2002). Les courants de marée dans le Golfe normand-breton sont caractérisés par une dissymétrie entre le flot et le jusant (Lelièvre, 2000). Les vitesses de flot sont toujours supérieures à celles du jusant. Le courant de jusant dans la baie du Mont-Saint-Michel est 1,3 fois moins fort que le courant de flot mais sa durée du reflux est 1,17 fois plus longue que celui du flot (Migniot, 1998).

Les marées en baie du Mont-Saint-Michel jouent un rôle déterminant dans la répartition des sédiments sur les petits fonds immergés et sur l'estran. Deux régimes de courants de marée coexistent (Illustration 27) :

- au large de la pointe du Grouin et au nord-est dans l'axe médian de la baie, les courants sont alternatifs, le flot dirigé vers le sud-est est plus intense que le jusant portant au nord-ouest. À l'entrée de la baie, les vitesses des courants peuvent dépasser 1 m/s puis elles diminuent autour de 0,6 m/s sur l'estran, excepté dans les chenaux estuariens où elles dépassent 2 m/s ;
- au sud-ouest, les courants ont un caractère giratoire avec toujours une prédominance du flot sur le jusant mais des vitesses très atténuées (0,3 m/s) en baie de Cancale.

Les mesures courantométriques effectuées par la Société d'Étude pour l'Utilisation des Marées sur l'ensemble du golfe normand-breton (en 1953 et 1954) ont permis d'observer que :

- le flot se propage d'ouest en est dans le golfe normand-breton, la baie du Mont-Saint-Michel oblige à une virgation vers le sud qui est forte à l'ouest (supérieure à 90°) ;
- le jusant vidange le golfe normand-breton par l'ouest (entre les Minquiers et la pointe du Grouin), ce qui provoque une rotation des courants dans la partie occidentale de la baie. (Bonnefille, 1976).

Les courants de marée dans la baie du Mont-Saint-Michel, déplacent un volume d'eau de 5 milliards de m<sup>3</sup> à chaque marée de vive-eau (Bonnot-Courtois *et al.*, 2002). La circulation des masses d'eau est dominée par la circulation résiduelle lagrangienne (Ehrhold, 1999). Les mesures lagrangiennes permettent une approche globale et permettent de connaître les excursions des masses d'eau sur une longue période (Orbi, 1986). Doucier (1977) a calculé un volume d'eau d'environ 100 millions de mètres cube à 3 km au large du Mont-Saint-Michel pour une marée d'un coefficient de 88.

La marée envahit les débouchés de l'estuaire du Couesnon, de la Sée et de la Sélune (Bonnot-Courtois *et al.*, 2002). La surface des zones découvrantes en marée de vives eaux est environ deux fois plus importante que lors des mortes eaux. Elle est également beaucoup plus large dans la zone estuarienne (environ 10 km en vive eau) qu'au niveau de la baie de Cancale (5 km en vive eau) (Illustration 28 ; Bonnot-Courtois *et al.*, 2012).

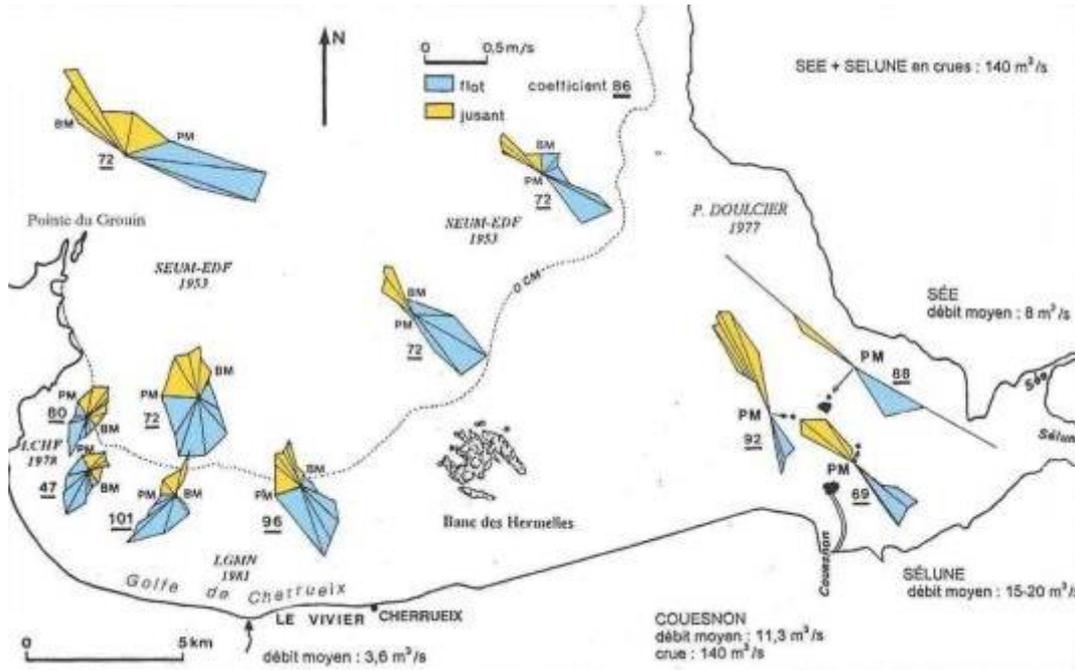


Illustration 27 : Roses des courants de marée en baie du Mont-Saint-Michel (Bonnot-Courtois et al., 2002).

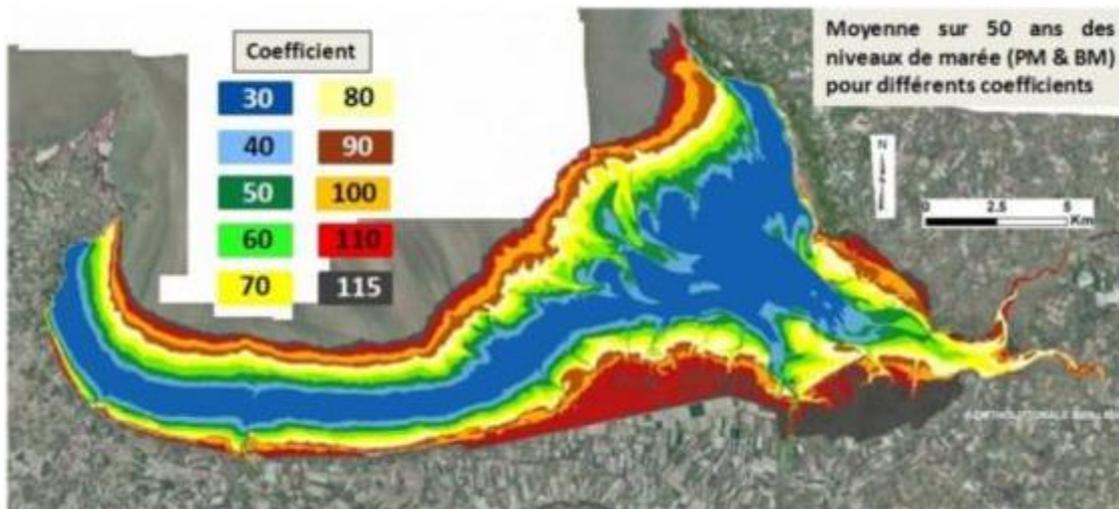


Illustration 28 : Balayage de la zone intertidale par les marées pour différents coefficients classés de 10 en 10. Moyennes des niveaux de Pleine Mer et Basse Mer établies sur 50 ans (1950 à 2000) (d'après Bonnot-Courtois, 2012).

Gougenheim (1953) et Le Rhun (1982), dans Ehrhold (1999) ont analysé les fréquences et les périodicités des coefficients de marée sur un demi-siècle, et il apparaît une fréquence périodique pour chacun des types de marée au cours d'une année :

- pour les marées moyennes et de grandes morte-eau ( $50 < \text{coef. ME} < 80$ ), le nombre de marées augmente lors des solstices d'été et d'hiver avec une amplitude de variation importante ;
- pour les ME et les grandes vives-eaux ( $20 < \text{coef. ME} < 50$  et  $80 < \text{coef. VE} < 120$ ), le phénomène est inverse. Le nombre le plus élevé se concentre autour des équinoxes de mars et septembre. L'amplitude de variation est alors plus faible en raison de leur rareté.

Ils observent sur des périodes différentes (1916 à 1953 pour Gougenheim et de 1927 à 1980 pour Le Rhun) les mêmes fréquences moyennes d'apparition des coefficients (Illustration 29).

Coefficient de marées	1927 - 1980
20 - 40	18%
50 - 69	30%
70 - 99	44%
100 - 120	8%
Nb de marées	38110

Illustration 29 : Fréquences moyennes d'apparition des marées sur une année (d'après Le Rhun, 1982).

L'amplitude de l'onde de marée en hauteur d'eau, en centimètre par rapport au zéro hydrographique, pour les plus hautes marées astronomiques et des coefficients de 45 en morte eau moyenne et de 95 en vive eau moyenne, sont d'après le SHOM, données dans le tableau ci-dessous (Illustration 30).

Port	Vive eau exceptionnel		Vive eau moyenne		Morte eau moyenne	
	PM	BM	PM	BM	PM	BM
Granville	1450	-5	1295	160	980	455
Cancale	1452	9	1305	165	990	455

Illustration 30 : Marées (en cm par rapport au zéro hydrographique) en Baie du Mont-Saint-Michel (source : SHOM).

## 2.2. ÉTAT DE MER (VAGUES, HOULES ET NIVEAUX EXTREMES)

### 2.2.1. La Houle (et les vagues)

La houle est une oscillation régulière de la surface de la mer, engendrée par le vent et dont la période se situe autour de dix secondes (MEEDDM, 2010).

C'est l'une des principales sources d'énergie dans le déplacement des sédiments à la côte, créant suivant son angle d'incidence à celle-ci, un courant ou dérive littorale. Perpendiculaire à la côte, elle génère des déplacements sédimentaires perpendiculaires à la côte (cross-shore) et avec un angle d'indice différent à 90° à la côte, elle génère des déplacements sédimentaires parallèles à la côte (long – shore).

Les sédiments brassés par la houle, sont déplacés vers la côte en cas de temps calme, ou sont dirigés vers le large en cas de « gros temps » (forts coups de vents ou de tempête). Si les houles sont fortes et leur période longue, alors les sédiments peuvent rester en suspension.

La topographie du littoral et la bathymétrie influence les directions et la propagation des houles. Les houles au large sont liées à la météorologie océanique alors que celles dans les baies en sont les résultantes. Ainsi, les houles océaniques sont peu énergiques sur la façade septentrionale de la Bretagne, elles sont réfractées sur la plate-forme continentale à l'entrée de la Manche, mais les phénomènes de réfraction et de diffraction sont à prendre en considération en raison de la présence de nombreuses îles en avant du rivage (Stephan, 2009).

En bord de mer, la houle, devenant des vagues déferlantes, peut provoquer une élévation locale importante du niveau marin (*wave set-up*), augmentant ainsi le risque de submersion des zones basses en arrière du trait de côte, par franchissements ou détérioration des ouvrages de protection. Cette surélévation et les débits de franchissements dépendront alors des caractéristiques de la houle incidente, du type d'ouvrage, et de la brèche créé dans l'ouvrage.

Les houles en Nord-Bretagne, sont de direction nord-ouest et elles ne dépassent que très rarement les 3 m de haut (Illustration 31).



Illustration 31 : En haut : hauteur maximale des houles sur diverses périodes (d'après L.C.H.F., 1986) ; En bas : plan de vagues de secteur ouest en baie du Mont-Saint-Michel (Bonnot-Courtois, 2012).

L'ouverture du golfe normand-breton permet aux houles assez longues de se développer grâce à un fetch<sup>3</sup> d'environ 200 km (Lelièvre, 2000). Dans la baie du Mont-Saint-Michel, la façade est, est plus sensible aux houles que la façade ouest (abritée). La configuration du golfe et de la baie, la présence des îles anglo-normandes, font que la force et les hauteurs des houles s'atténuent à près de 69 % (Levoy, 1994), et qu' avant d'atteindre le littoral, les houles sont réfractées à l'entrée de la baie (Ehrhold, 1999) et freinée par la diffraction sur les bancs et les hauts-fonds (Illustration 31 en bas).

<sup>3</sup> Fetch (longueur de) : distance, en mer ou sur un plan d'eau, sur laquelle les vagues sont formées et où souffle un vent donné sans rencontrer d'obstacle depuis l'endroit où il est créé ou depuis une côte s'il vient de la terre.

Les hauteurs moyennes des vagues les plus élevées s'observent en entrée de Manche en janvier avec 3,2 à 3,4 mètres et en juillet avec 1 à 1,20 mètre. La direction privilégiée de la houle est le 280° avec des hauteurs moyennes de 0,50 à 1,25 mètre. Les hauteurs moyennes de houle diminuent de l'Atlantique vers le Manche. L'hiver, de grandes houles d'Ouest dépassent fréquemment les 3 mètres (Illustration 31).

Les houles sont majoritairement d'ouest (75,7 %), pour des longues périodes (11 à 12 secondes) et les agitations les plus fréquentes sont de secteurs WNW à NNW (Ehrhold, 1999). Les agitations de secteurs nord sont de courtes périodes (inférieures à 6 secondes), freinées par les hauts-fonds (Ehrhold, 1999). Nikodic (1981) a constaté l'existence d'un cycle annuel de l'agitation, minimal en été (juillet, août, septembre) et intense en hiver (décembre, janvier).

Les grandes houles levées par des vents de secteur ouest et nord-ouest ne peuvent entrer en baie de Cancale qu'après une diffraction autour de la pointe du Grouin et de la pointe de la Chaîne, au nord de Cancale, ce qui dissipe une grande partie de leur énergie.

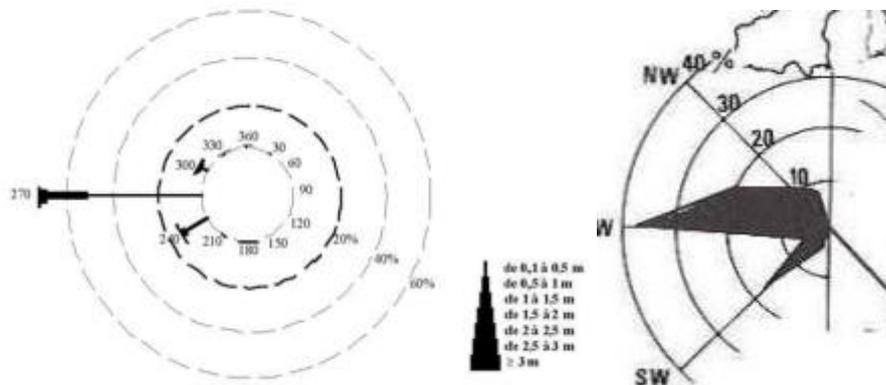


Illustration 32 : À gauche : rose d'agitation pour le site de Videcoq (Levoy, 1994) ; à droite : rose des houles en baie du Mont-Saint-Michel (d'après L.C.H.F., 1986).

Il existe une composante de houles de sud-ouest, nettement moins fréquentes que les précédentes.

La baie du Mont-Saint-Michel est relativement protégée des houles océaniques (L.C.H.F. 1987). Le fond de baie, à partir du Vivier-sur-Mer, est un espace ouvert aux houles d'ouest-nord-ouest et nord-nord-ouest dont les vagues voient leur énergie absorbées. Cependant, en déferlant, elles sont à l'origine de la construction des cordons sablo-coquilliers lors de coefficients de marées importants (Larsonneur, 1989a et 1989b ; Bonnot-Courtois, 1999, Bonnot-Courtois *et al.*, 2004). L'action de la houle et des vagues, contribuent au remaniement de la surface tidale. (Bonnot-Courtois *et al.*, 2008).

Cette surface très plate de l'estran dans la baie du Mont-Saint-Michel sur la partie Ille-et-Vilaine, va dissiper progressivement l'énergie de la houle et créant des vagues au déferlement de type *glissant*. À l'inverse, un avant-plage plus raide, aurait eu pour effet de faire déferler les vagues, qu'une fois rendues à la côte, elles sont de type *plongeant* ou *gonflant*.

### 2.2.2. Niveaux extrêmes : surcotes et décotes

Les **niveaux de mer extrêmes** sont calculés et donnés par le SHOM et le CETMEF. Ces données ont été récemment actualisées, en 2012, précédemment, les niveaux dataient de 2008 (Simon, 1994 et 2008).

Le territoire métropolitain est découpé en différentes zones, fonction des ports de référence, dont les observatoires sont permanents et pour lesquels il existent plus de 10 années de mesures effectives. Ils existent cependant quelques exceptions.

Les niveaux extrêmes sont calculés pour des périodes de retour de 10, 20, 50 et 100 ans sur les côtes de La Manche et de l'Atlantique et les altitudes des niveaux sont fournies par rapport à la référence altimétrique IGN69.

La baie du Mont-Saint-Michel, appartient à la zone « Bretagne Nord » qui comprend le littoral situé entre la Pointe d'Agon (Manche) et Roscoff (Finistère). Les ports de référence concernés pour cette zone, sont les ports de Saint-Malo et Roscoff auxquels s'ajoutent des sites secondaires, pris en compte pour les calculs en pleine mer et en basse mer. La baie du Mont-Saint-Michel a pour port de référence le port de Saint-Malo.

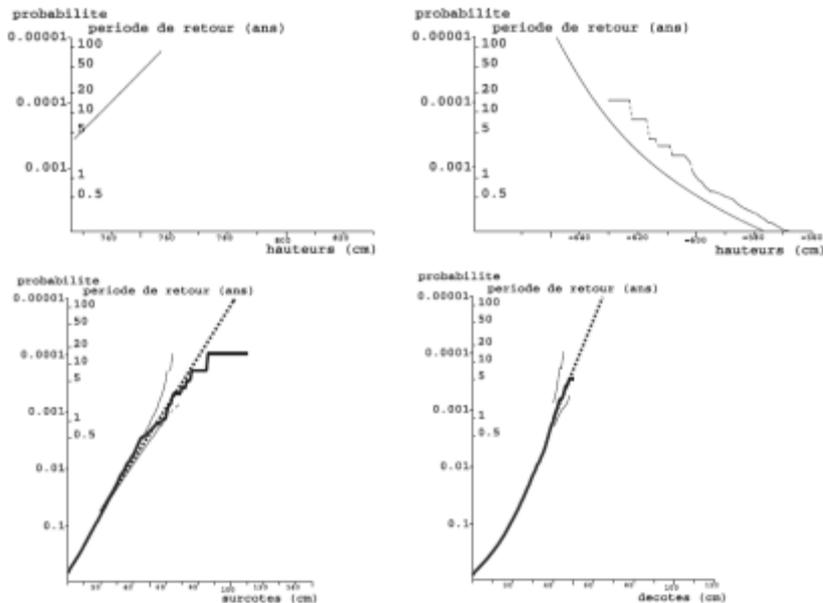


Illustration 33 : Résultats des statistiques pour le port de Saint-Malo (SHOM et CETMEF, 2012).  
Détailier gauche/droite car on a l'impression de voir la même info (en haut, mais avec des valeurs différentes)

L'illustration 33 correspond aux résultats de l'analyse statistique des niveaux de mer, pour le port de Saint-Malo, et ils tiennent compte des effets atmosphériques

Le trait plein, correspond aux probabilités d'observer des hauteurs de pleines mers supérieures (ou basses mers inférieures) à une valeur donnée, traduite en terme de périodes de retour associées.

Les traits pointillés présentent les résultats d'observations, la courbe continue est une loi théorique issue de l'analyse statistique des données observées.

Les cartes des niveaux extrêmes dans la baie du Mont-Saint-Michel (Illustration 35), montre que :

- pour une période de retour de 10 ans, le niveau extrême de pleine mer varie entre 7,30 m dans l'estuaire où se jettent la Sée et la Sélune, et 7,60 m aux larges des côtes. En fond de baie, le long des côtes, le niveau extrême passe à 7,50 m ;
- pour une période de retour de 50 ans, le niveau extrême de pleine mer varie entre 7,50 m dans l'estuaire où se jettent la Sée et la Sélune, et 7,80 m aux larges des côtes. En fond de baie, le long des côtes, le niveau extrême passe à 7,70 m ;

- pour une période de retour de 100 ans, le niveau extrême de pleine mer varie entre 7,60 m dans l'estuaire où se jettent la Sée et la Sélune, et 7,90 m aux larges des côtes. En fond de baie, le long des côtes, le niveau extrême passe à 7,80 m.

Dans le PPRL du Marais de Dol, les valeurs sont extraites graphiquement à partir des courbes du cédérom « Statistiques des niveaux marins extrêmes de pleine mer Manche et Atlantique » (© CETMEF/SHOM 2008). Pour chaque port de la baie, les niveaux extrêmes sont pour les périodes de retour de 10, 20, 50 et 100 ans (Illustration 34).

Ports	Ref. IGN69	Période de retour			
	(en cm)	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
<b>Saint-Malo</b>	-6,289	7,38	7,45	7,55	7,6
<b>Cancale</b>	-6,773	7,9	7,95	8	8,1
<b>Grandville</b>	-6,62	7,85	7,9	8	8,1
<b>Le Vivier sur Mer</b>	-	8	8,05	8,15	8,2

Illustration 34 : Niveaux extrêmes de pleine-mer (en m IGN 69) pour différentes périodes de retour (© CETMEF/SHOM 2008).

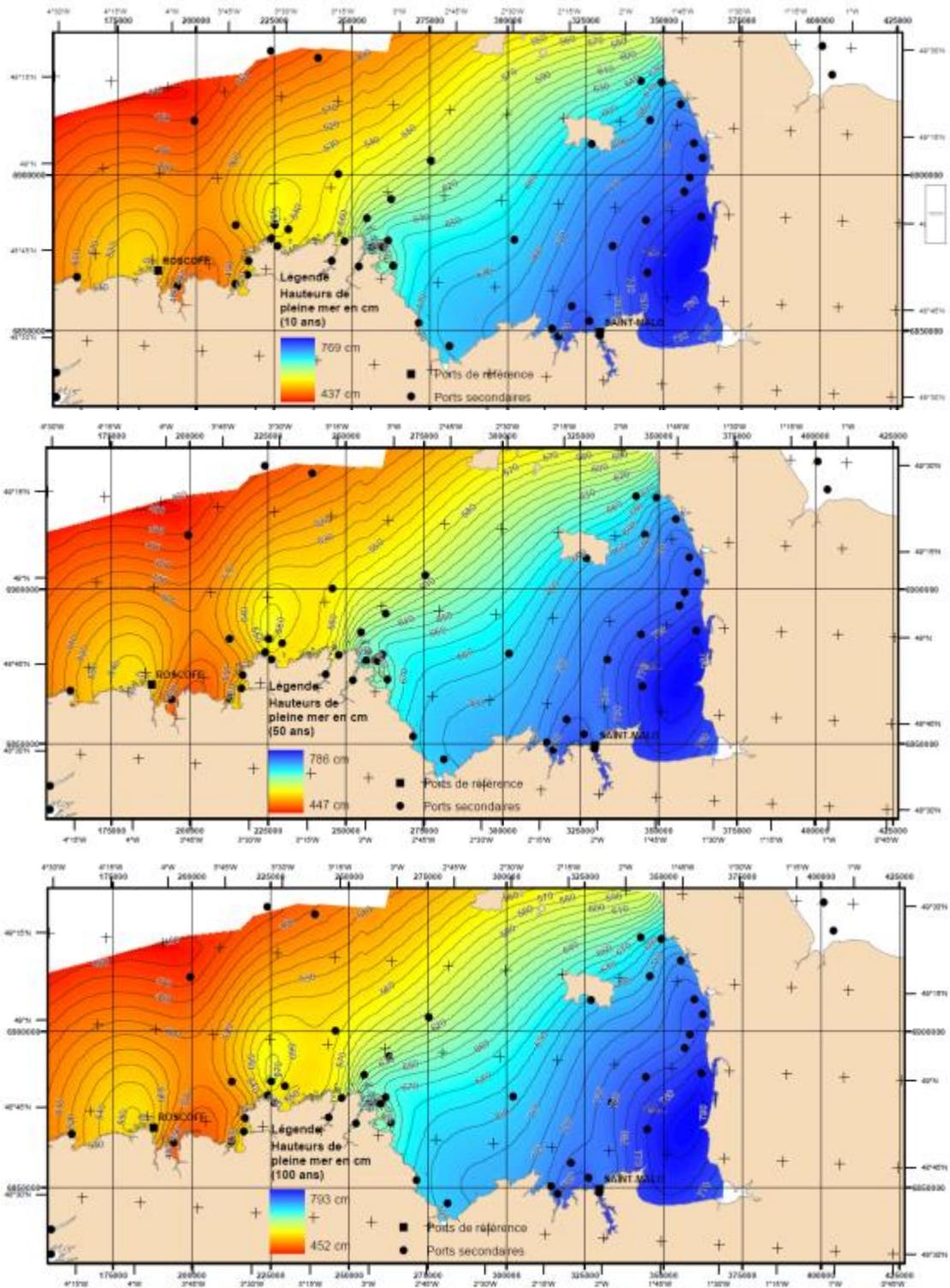


Illustration 35 : Carte des niveaux extrêmes de pleine mer sur une période de retour de 10, 50 et 100 ans (SHOM et CETMEF, 2012).

La **surcote/décote** instantanée est la différence, à un instant  $t$ , entre la hauteur d'eau observée et la hauteur d'eau prédite. On parle de surcote quand cette différence est positive, décote quand elle est négative. La surcote/décote a principalement une origine météorologique : elle est générée, lors du passage de dépressions ou d'anticyclones, par les variations de pression atmosphérique et par les vents. Elle peut avoir également d'autres origines : vagues, seiches, tsunamis... (CETMEF/SHOM, 2012).

La surcote de pleine mer est la différence entre la hauteur de pleine mer observée et la hauteur de pleine mer prédite (marée astronomique), les instants d'occurrence de ces deux niveaux pouvant être décalés dans le temps (Illustration 31). De même, la décote de basse mer est la différence entre la hauteur de basse mer observée et la hauteur de basse mer prédite.

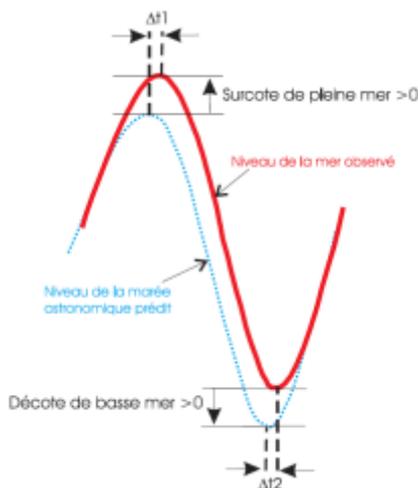


Illustration 36 : Illustration de la surcote de pleine mer et de la décote de basse mer (CETMET/SHOM, 2012).

Roux, (1998), fait la synthèse des mesures disponibles des surcotes/décotes et montre une moyenne de 30 cm, la surcote maximale ne dépasse pas 1 mètre.

Dans le cadre de l'établissement du PPRL du Marais de Dol, une note complémentaire a été demandée au groupement de bureaux d'études : Hydratec-Ascoonit et Géos, sur l'analyse statistique les niveaux de mer par temps calme au niveau d'un « limnimètre », installé à la chapelle Saint-Aubert en décembre 1996, sur le Mont-Saint-Michel, et de comparer ces mesures avec celles théoriques du SHOM.

Pour le 30 octobre 2000 à 7h30, la surcote de PM estimée par le SHOM au Mont-Saint-Michel, était de 1,81 m alors que celle estimée par l'appareil de mesures du Mont-Saint-Michel, était de 1,49 m.

Pour une période de retour de 100 ans, la marée prédite par le SHOM est de 8,55 m NGF avec un intervalle de confiance à 95 %, entre 8,31 et 8,79. Celle estimée au niveau du « limnimètre » du Mont-Saint-Michel, est pour une période de retours plus courtes de 41 ans car l'historique des données est moins fournie (données enregistrées uniquement pour des niveaux marins supérieurs à 5,5 m NGF et sur 5,25 années), est de 8,39 m NGF avec dans un intervalle de confiance à 90 %, entre 8,14 et 8,71 m.

Avec une période de retours de 41 plus qu'inférieur à celle centennale du SHOM sur 5,25 années d'enregistrement, les valeurs du SHOM sont statistiquement plus acceptables.

Pirazzoli à travers le Projet DISCOBOLE (2006), a estimé les surcotes instantanées pour le port de Saint-Malo, a 1,40 m pour une période de retour de 10 ans, 1,70 m pour 50 ans et 1,80 m pour 100 ans (PPRL Marais de Dol, 2012)

## 2.3. LES VENTS

Deux stations de mesures donnent sur 29 années le régime des vents autour de la baie du Mont-Saint-Michel. Il s'agit des stations de Granville (Le sémaphore de la Pointe du Roc) et de la Cancale (Le sémaphore de la Pointe du Grouin).

Les vents à la Pointe du Grouin viennent principalement de l'ouest et toute l'année. Au printemps, il est possible d'avoir des vents de secteur nord-est mais ils restent secondaires. En automne et en hiver, les vents sont plus orientés ouest-sud-ouest. À la Pointe du Grouin, l'influence océanique atlantique est donc palpable dans l'orientation des vents. Les vitesses à la Pointe du Grouin sont toute aussi régulières et assez fortes avec une moyenne aux alentours de 20 m/s (Illustration 37).

La baie de Cancale (et la partie ouest de la baie du Mont-Saint-Michel), sera protégée de ces vents dominants, de secteurs nord et ouest, par les falaises de schistes, de granites et de migmatites de l'Unité de Saint-Malo. Par opposition, il y aura à craindre pour la partie est de la Baie.

À la station de Granville, sur l'année, les directions des vents sont plus tumultueuses. D'octobre à mars, elles peuvent être sud-est à ouest et nord-ouest, d'avril à septembre, elles sont relativement régulières de sud à sud-est, alors que de février à Juin, elles sont orientées nord-est.

La vitesse est tout aussi contrastée avec une période calme d'avril à septembre (7 m/s) et des vitesses de 20 m/s le reste de l'année (Illustration 37).

Les vents de secteur ouest (entre 260° et 280°) sont donc dominants, et ce sont les plus violents (Guillaumont *et al.*, 1984). Ils soufflent pendant 17,8 % du temps à 20 m/s tandis que les vents de secteur est et sud sont plus calmes, atteignant les 10 m/s pendant seulement 0,5 % du temps (Nikodic, 1981).

	Oct. À mars		Avril. À sept.	Févr. À Juin
<b>Orientation</b>	SE	W & NW	S & SE	NE
<b>Vitesse</b>	8 à 24 m/s	18 m/s tempête de janvier	7 m/s	> 20m/s

	Printemps	Été	Automne - Hiver
<b>Orientation</b>	W, NW parfois NE	W & NW	WSW
<b>Vitesse</b>	18 à 24 m/s	> 20m/s	18 à 24 m/s

*Illustration 37 : En haut : orientations et vitesses de vent au sémaphore de Granville ; en bas : orientations et vitesses de vent au sémaphore de la Pointe du Grouin (Ehrhold, 1999).*

À Granville, les vents les plus fréquents (à 60 %), sont ceux qui ont une vitesse inférieure à 7,5 m/s. Ceux de 12,5 m/s sont les moins fréquents avec 4,5 à 6,5 % du temps.

À Cancale, les vents les plus fréquents sont d'ouest avec 22 % du temps, et ceux du sud-ouest avec 17 %.

La mer est généralement plus calme à Cancale qu'au large, lors de vents modérés, inférieurs à 8 m/s, de secteur nord. À l'inverse, la baie est peu protégée des vents d'est ainsi l'agitation y est supérieure à celle au large lorsque la vitesse excède 7 m/s. Cette agitation est liée au phénomène des houles croisées. Les vents de sud, supérieurs à 6 m/s, ont peu d'influence sur l'état de la mer à Cancale (Nikodic, 1981).

Au phare de l'île de Chausey, les vents dominants sont de nord-ouest, ils engendrent les plus fortes tempêtes de décembre à janvier (Ehrhold, 1999).

Cette partie du Golfe Normand-breton (Sud), les vents soufflent de façon opposée, toute l'année.

Les vents jouent un rôle important dans les mouvements sédimentaires. Ainsi un vent violent de l'ordre de 20 m/s peut transporter sur 100 km de côtes 100 000 tonnes de sédiments en une heure (L.C.H.F., 1982). Par ailleurs, les vents peuvent atténuer la durée de flot ou de jusant (Caline, 1981).

Ces vents peuvent dans la baie du Mont-Saint-Michel modifier les courants, agir sur le niveau de la mer avec des surcotes ou des décotes, et provoquent des transports sédimentaires.

Les roses mensuelles des fréquences vents à Cancale et à Granville, saisonnièrement et sur 29 années, montrent une nette dominance ouest à nord-ouest : 6 mois à Granville sur 12 et 6 mois sud-est et 10 à Cancale sur 12 en ouest à nord-ouest et 2 mois sud-est (Illustration 38).

Les tempêtes d'ouest-nord-ouest, dans des conditions de niveaux de mer élevés, pourront avoir un impact sur les parties ouest à centrale du fond de baie, alors qu'en cas de tempêtes de sud-ouest, l'impact pourrait être sur Cancale et le quartier de la Houle par exemple.

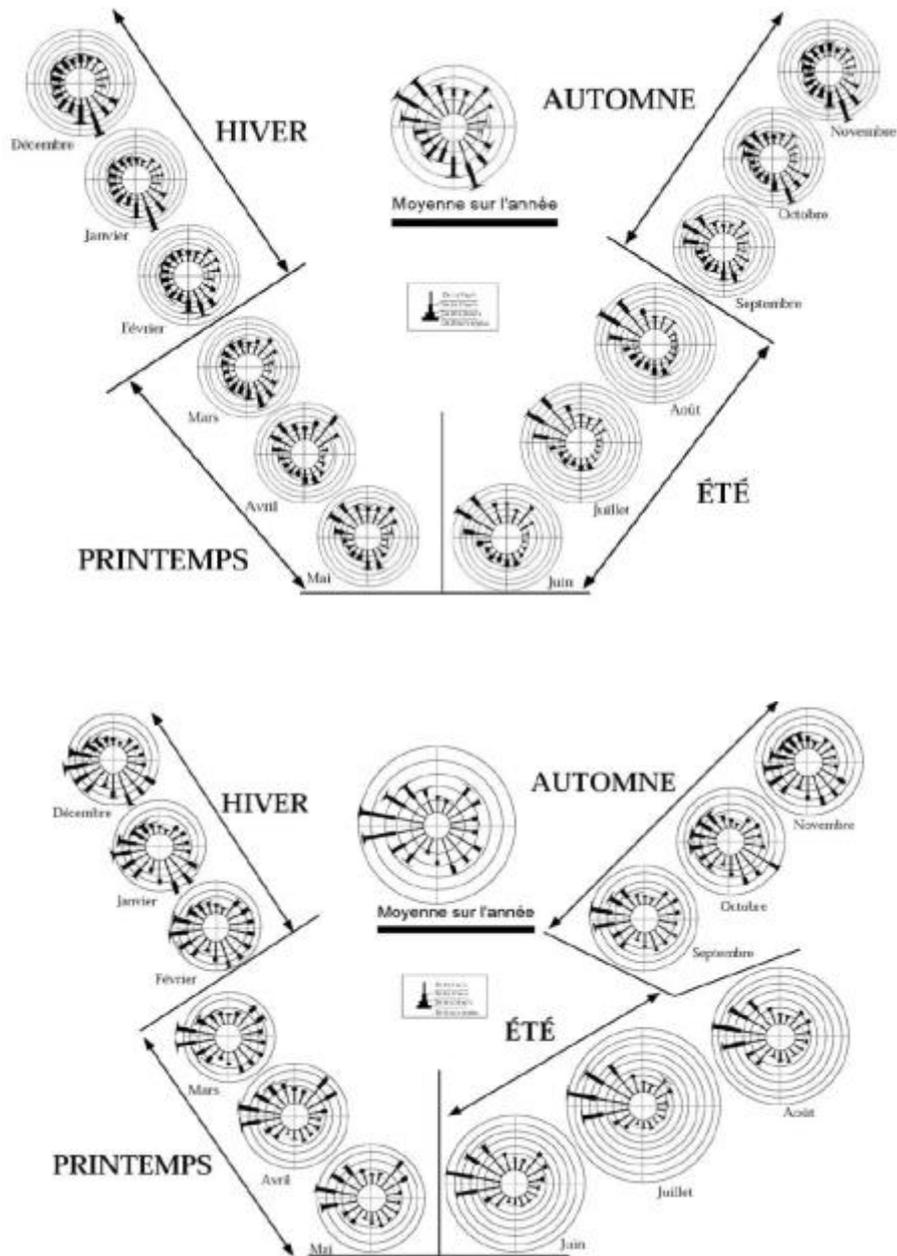


Illustration 38 : Roses mensuelles des fréquences des vents sur 29 années à la Pointe du Roc, Granville (en haut) et à la Pointe du Grouin (en bas) (Ehrhold, 1999).



## 3. Analyse historique des aléas littoraux

### 3.1. RISQUE NATUREL : QUELQUES RAPPELS

Avant de présenter la synthèse des aléas sur la Baie du Mont-Saint-Michel, quelques rappels s'imposent sur les termes aléa, enjeu, risque et vulnérabilité.



Illustration 39 : Schéma synthétique des définitions d'aléas, enjeux et risques (COCORISCO).

#### 3.1.1. Les aléas

L'aléa est la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel donné. On ajoute à cette notion, la notion d'intensité, de durée du phénomène (Ministères de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, de l'Équipement, des Transports et du Logement, 1997).

#### 3.1.2. Les enjeux

Les enjeux et la vulnérabilité sont associés aux activités humaines (habitations, infrastructures, patrimoine, activités économiques etc.). La vulnérabilité dépend des éléments exposés et de leurs résistances ou de leurs comportements face aux aléas. Elle est caractéristique d'un site à un moment donné et n'est pas intrinsèque, il existe une vulnérabilité pour chaque aléa. Comme cette grandeur est fonction de l'activité humaine, elle est donc évolutive (Ministères de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, de l'Équipement, des Transports et du Logement, 1997).

#### 3.1.3. Les risques

La notion de risque inclut deux dimensions : les aléas et les enjeux. C'est la mesure de la situation dangereuse qui résulte de la conjonction de ces deux paramètres. On caractérise donc un risque par le niveau de danger c'est-à-dire la probabilité d'occurrence d'un événement donné et de l'intensité de l'aléa. Mais également par la gravité des conséquences de l'évènement pouvant affecter les enjeux. Il n'y a donc ni risque sans aléa, ni risque sans enjeux (Ministères de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, de l'Équipement, des Transports et du Logement, 1997).

#### 3.1.4. La vulnérabilité

La vulnérabilité exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux. On peut distinguer la vulnérabilité économique et la vulnérabilité humaine. La première traduit le degré de perte ou d'endommagement des biens et des activités exposés à l'occurrence d'un phénomène naturel d'intensité donnée. La vulnérabilité humaine évalue

les préjudices potentiels aux personnes, dans leur intégrité physique et morale. Elle s'élargit également à d'autres composante de la société (sociale, psychologiques, culturelles, etc.) et tente de mesurer sa capacité de réponse à des crises. (Ministères de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, de l'Équipement, des Transports et du Logement, 1997)

## 3.2. L'ÉROSION LITTORALE ET LA SUBMERSION MARINE

Malgré un nombre important d'études disponibles sur la baie du Mont-Saint-Michel, à notre connaissance, aucune n'a porté directement sur l'érosion du trait de côte ou sur les submersions marines. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que :

- le trait de côte, sur sa quasi-totalité, est anthropisé par une digue dont la construction, la restauration jusqu'à nos jours, a débuté autours du 11<sup>ème</sup> siècle ;
- et que les études ont plus prtées sur la dynamique sédimentaire du prisme d'accrétion holocène, les limites morphologiques supérieures telles que le schorre ou les bancs coquilliers du haut-estran, et qu'elles montraient une tendance de la baie au comblement.

Cependant, la baie présente une particularité hydrosédimentaire mise en évidence par Chanal Bonnot-Courtois, avec la présence proche du trait de côte de bancs coquilliers dont la cinématique est liée à l'action de la houle, montrant que l'hydrodynamique marine importante aux portes du continent et paradoxalement malgré la tendance au comblement. L'autre particularité de la baie susceptible d'intéressé l'aléa submersion, est la position altimétrique basse du marais maritime qui en cas de rupture de digues verrait l'inondation par l'intermédiaire des « biefs » de propager vers l'intérieur des terres.

Enfin, compte tenu du fait que la baie correspond à un estuaire sous influence mégatidale (de très grandes marées), l'aléa « inondation », n'est pas à négliger notamment sur sa partie Est de la baie, avec la présence du Couesnon.

Une première conclusion semble apparaître comme une évidence. Avec son aménagement important, la baie du Mont-Saint-Michel ne semble pas avoir un niveau d'aléa élevé mais semble plutôt avoir augmenté ses enjeux.

### 3.2.1. L'aléa « érosion littorale »

Les deux marqueurs géomorphologiques que sont les bancs coquilliers du haut estran et la limite du schorre, ont une évolution différente.

Alors que le schorre aura tendance à se développer pour des niveaux marins qui lui sont inférieurs ; l'action des fortes houles et de hauts niveaux marins, qui à l'ouest, côté Cotentin, génère sur les plages et les flèches sableuses, leur érosion et la dérivation littorale, côté Est, elle est à pour conséquence morphologique de les bancs ou cordons coquilliers et leur dynamique (Ehrhold, 1999).

Plus précisément, entre Saint-Benoît-des-Ondes et La Chapelle-Sainte-Anne, c'est la diffraction des houles de secteur nord, qui est à l'origine de ces accumulations coquillières de haut estran (Migniot, 1998 ; L'Homer *et al.*, 1999).

La Mission LIDAR (de septembre 2002, IFREMER-Fondation TOTAL), montre que la cote altimétrique de ces bancs s'élève à 7,5 m IGN et qu'ils ne sont recouverts qu'exceptionnellement par les pleines mers de grande vive eau.

Les variations longitudinales de submersion des bancs de haute slikke, pour en atteindre la base sont : par les pleines mers de coefficient 100 dans les secteurs Ouest et seulement 90 à l'est.

À Chapelle-Sainte-Anne, la submersion est quasi-totale par des coefficients de 100 alors que certains bancs formant la barrière littorale à Cherrueix et à Vildé-Hirel restent émergés même par coefficient 115 (hauteurs d'eau théoriques hors conditions dépressionnaires ni agitation). (Bonnot-Courtois *et al.*, 2012).

Au niveau du bas estran, les bancs migrent à des vitesses supérieures à 100 m/an puis les vitesses diminuent régulièrement jusqu'à une cote de 5 m IGN où elles sont de l'ordre de 20 m/an. Au-dessus de 6 m IGN, la dynamique des bancs est ralentie, tombe à quelques m/an pour se stabiliser en barrière littorale à la limite du schorre (Bonnot-Courtois *et al.*, 2012).

Lors de la conjonction de fortes houles avec des pleines mers de vive eau, ces bancs de bordure du schorre peuvent être remaniés par des processus de washover avec formation de lobes de débordement migrant vers la lagune arrière banc (Weill *et al.*, 2011). La conjonction d'une forte houle avec des pleines mers de vive eau peut entraîner la formation de brèches qui déstructurent la barrière littorale (Bonnot-Courtois *et al.*, 2012).

Ces objets littoraux remarquables (cordons, dunes et bancs) entre Cancale et Cherrueix, sont aussi soumis à une détérioration importante provoquée par l'intensification des activités humaines comme le tourisme (loisirs, randonnée, équitation) et fréquentations diverses, (stationnement des véhicules professionnels, pêche à pieds) (Secula, 2011).

Cette forte dynamique sédimentaire au niveau du haut estran, soulignée par les mouvements des bancs coquilliers les plus élevés et les washovers qui ponctuellement les façonnent, peuvent être des secteurs où en cas de conjonction onde de tempête et très hauts niveaux marins (coefficients de marée supérieurs à 100), peuvent causer des dégâts côtiers (érosion comme submersion) (Illustration 40).

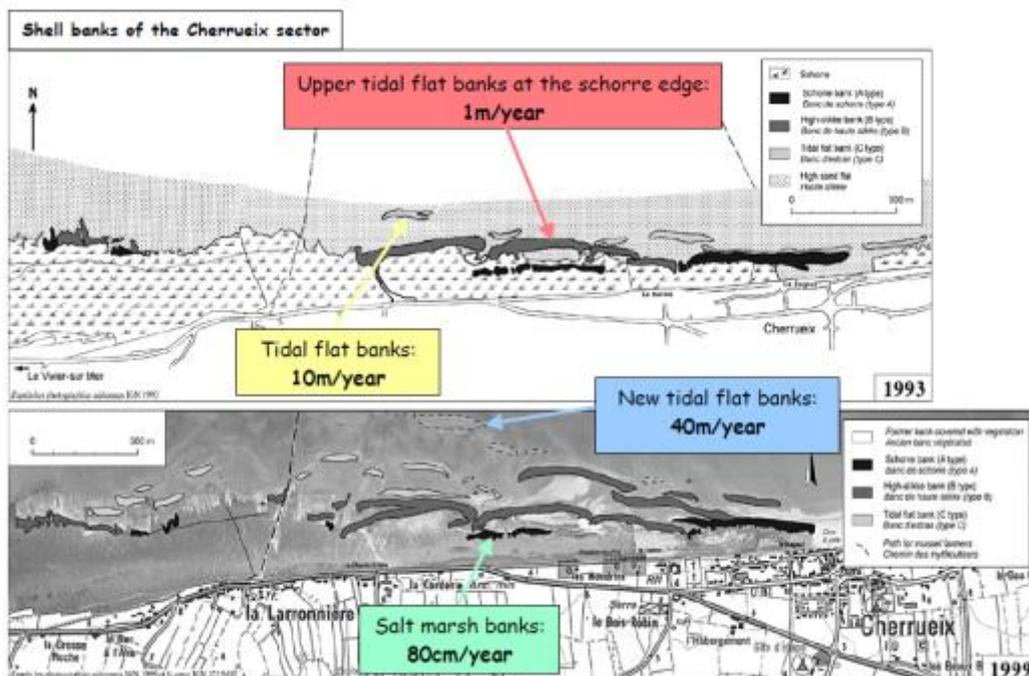


Illustration 40 : Évolution des bancs coquilliers dans le secteur de Cherrueix : la vitesse de déplacement est plus importante en bas d'estran qu'en remontant vers le haut estran (Tessier et Bonnot-Courtois, 2004).

Sur l'illustration ci-dessus, on remarque qu'alors que le schorre diminue progressivement en largeur vers Cherrueix, il y a une augmentation des bancs de sables coquilliers de haut estran. Ces secteurs pourraient correspondre à des secteurs où l'érosion littorale sera plus importante en cas de niveaux de mer extrêmes.

Secteurs de l'ouest vers l'est	Vitesse estimée de migration des bancs sablo-coquilliers				Longueur maximale des bancs (km)	Altitude maximale du haut estran (en m, IGN)
	Banc de schorre (cm/an)	Banc de haute slikke (m/an)	Banc d'estran (m/an)	Nouveau banc sableux d'estran (m/an)		
Saint-Benoit-des-Ondes	< 20	3	--	--	1,3	7,6
Vildé-Hirel	60	1	5	17	2,6	7,9
Le-Vivier	< 50	2	5	16	0,75	7,5
Cherrueix	80	1	10	20	2,2	7,9
La-Chapelle-Sainte-Anne	< 50	2	13	--	3	7,5

Illustration 41 : Altitudes et dynamiques des bancs sablo-coquilliers entre 1993 et 1999 (d'après Bonnot-Courtois et al., 2004).

Les vitesses d'ailleurs de migration des bancs coquilliers de haut estran dans ce secteur de Cherrueix et la chapelle Saint-Anne, sont les plus élevés avec 10 et 13 m/an contre 5 dans le secteur de Vildé-Hirel et le Vivier-sur-Mer.

Les schorres ont une progression de 17 hectares par an pour la partie Ille-et-Vilaine de la baie du Mont-Saint-Michel (Illustration 42).

Cependant, comme nous l'avons mentionné ci-dessus, la largeur des schorres n'est pas uniforme en avant du trait de côte. Les secteurs dans lesquels ces largeurs diminuent, pourraient être des secteurs propices à d'éventuels reculs du trait de côte (secteurs en érosion en rouge à l'est, sur l'illustration 42,).

Il existe cependant d'autres secteurs en érosion (en rouge sur l'illustration 42) et qui ne correspondent pas à de faibles largeurs faibles de schorres. Ces secteurs peuvent être la conséquence locale d'autres phénomènes d'érosion.

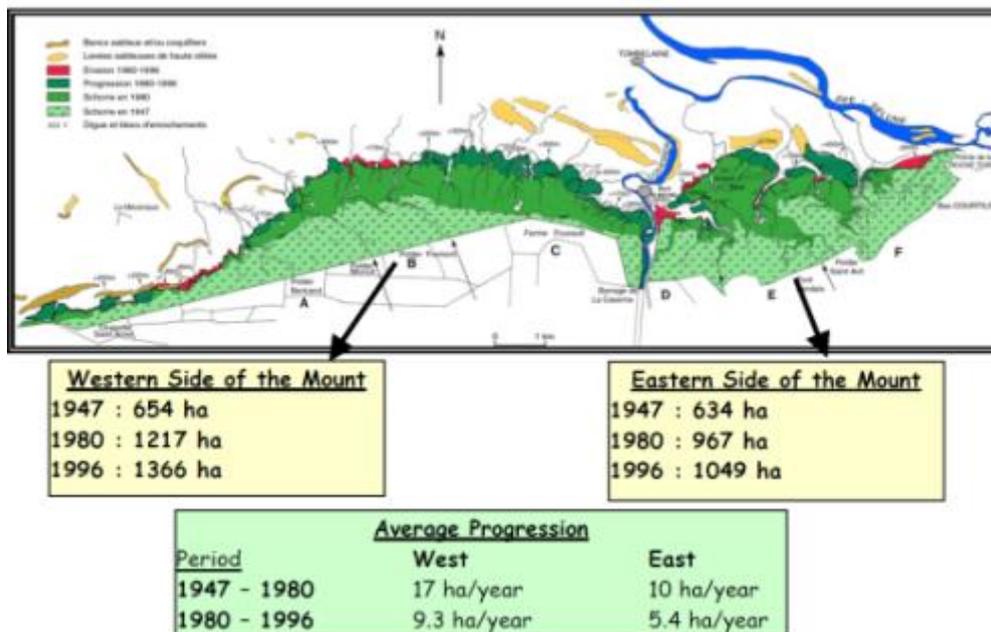


Illustration 42 : Évolution des schorres et des bancs coquilliers entre 1980 et 1995 (Tessier et Bonnot-Courtois, 2004).

Les largeurs de schorre en avant du trait de côte les plus importantes sont situées au niveau des exutoires (cours d'eau, drains naturels ou artificiels) (Illustration 43). Ainsi entre ces zones de production végétales, pourraient se situer des secteurs d'érosion.

Les cycles de vives-eaux sont importants dans les phénomènes d'érosion des vasières pré-littorales car les particules fines en suspension, alimentent la baie estuarienne. Ces cycles interviennent à 52 % des marées annuelles dans la baie (Ehrhold, 1999).

Mais une phase d'érosion des vases superficielles à Vildé-Hirel correspond à une phase de sédimentation à Cancale. Cela semble indiquer un équilibre spatial. Le bilan érosion-sédimentation est à l'équilibre au cours du temps que ça soit à l'échelle saisonnière (érosion en hiver et sédimentation de mars à septembre à Cancale en 2004) ou pluriannuelle (observation sur une période de trois ans). Il est à noter qu'il n'y a pas de relation directe entre l'amplitude de remaniement et la cote altimétrique de l'estran (Bonnot-Courtois *et al.*, 2008).

L'action érosive des vents de secteurs Ouest à Nord sur l'ensemble de l'estran de Cancale, peut être mise en relation avec le dépôt de sédiments fins sur le secteur de Vildé-Hirel. De même, les vents de sud-est érodent le moyen estran de Vildé-Hirel mais engraisent Cancale (Bonnot-Courtois *et al.*, 2008). Le vent joue un double rôle : celui de constructeur et celui de destructeur. En effet, il donne naissance à la houle qui intervient elle-même dans la variation du profil des plages et est responsable de l'érosion subaérienne (Lelièvre, 2000).

Aux abords du Mont-Saint-Michel, les taux d'accrétion sédimentaire varient de 0,2 à 10 cm/an (Bonnot-Courtois *et al.*, 2012).

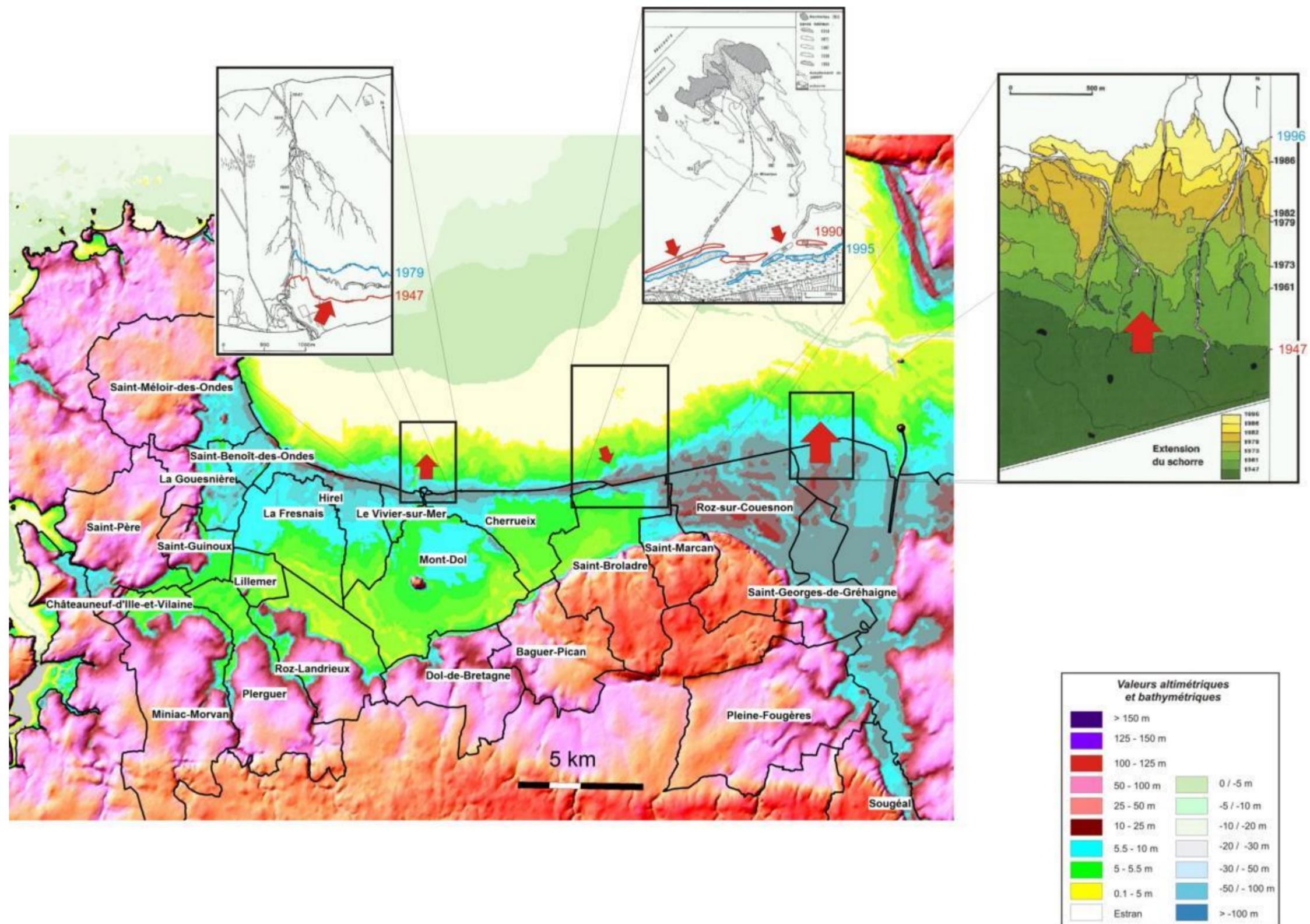


Illustration 43 : à gauche : évolution du schorre au Vivier-sur-Mer ; évolution des bancs coquilliers à Cherruix (au centre) ; idem qu'à gauche au niveau du polder (à droite) (Bonnot-Courtois et al., 2002)

### 3.2.2. L'aléa « submersion marine »

L'aléa « submersion marine » est la confrontation entre une zone basse située sous le niveau de mer exceptionnel : composé par la marée, la pression atmosphérique et le vent associé, et la houle provoquée par le vent au large.

Le niveau marin exceptionnel admis correspondrait au niveau marin centennal (NMC) avec +/- 1 m. Entre ce niveau et un mètre en dessous, l'aléa était qualifié de moyen, en dessous des - 1 m d'aléa fort, et entre le niveau centennal + 1 m, qualifié de faible.

Les nouvelles directives nationales (ref SNGTC), intégrant les conséquences du changement climatique, exigent désormais de prendre en compte le risque d'élévation du niveau moyen de la mer. Les modalités sont les suivantes : intégration systématique au niveau marin centennal d'une surcote de 20 cm (« première étape vers une adaptation au changement climatique »), qui constitue le niveau marin de référence (NMR), hypothèse d'une augmentation du niveau marin centennal (NMC) de 60 cm à l'horizon 2100, qui constitue le niveau marin de référence 2100 (NMR 2100).

L'élaboration des cartes pour définir cet aléa repose sur le croisement du modèle numérique de terrain (MNT) de la partie « terrestre » du produit Litto3D® réalisé par l'Institut géographique national (IGN) en 2012) et du niveau marin de référence (NMR et NMR 2100).

Sous le niveau marin de référence (NMR) en distinguant les hauteurs de submersion pour cet évènement (inférieur ou supérieur à 1m de submersion), respectivement les zones d'aléa fort (violet) et d'aléa moyen (orange), entre le niveau marin de référence (NMR) et le niveau marin de référence 2100 (NMR 2100) : zone d'aléa « lié au changement climatique » ou zone d'aléa futur (jaune).

Une quatrième zone a été rajoutée : zone de dissipation d'énergie à l'arrière des systèmes de protection connus contre les submersions marines (digues ou cordons dunaires). Lors d'une rupture d'un système de protection, la zone située immédiatement à l'arrière peut en effet être soumise à des écoulements violents, même par faibles hauteurs (vitesses très élevées). En l'absence d'études locales poussées, une zone d'une largeur de 100 m à l'arrière des systèmes de protection (digues et cordons dunaires) a donc été reportée sur les cartes. La zone ainsi matérialisée correspond donc à une zone de risque spécifique lié à la rupture du système de protection.

L'illustration 44 ci-dessous, correspond à la topographie au pas de 25 m de la baie du Mont-Saint-Michel. Le trait de côte correspond au trait de côte HistoLitt V2.0 du SHOM et de l'IGN : niveau de mer belle pour un coefficient de marée de 120 (marée astronomique)

Deux zones basses sont présentes dans la baie breillaine.

Une petite zone au nord-ouest qui correspond au quartier de la Houle à Cancale et le Marais de Dol, lui-même protégé derrière ses cordons dunaires anthropisés.

La zone du quartier de la Houle n'a hélas pas de borne géodésique du réseau de nivellement, afin d'avoir une altitude précise, elle se situe entre 8 et 10 m NGF (source IGN Scan25).



*Illustration 44 : Photo prise le 17 octobre 2012, coefficient de marée 109, niveau théorique : 13,95 m au dessus du ZH, 1 heure après la pleine mer, Vagues d'Ouest (0.75 à 1 m ; Prévimer) ; Quartier de la Houle, Cancale.*

Le cordon littoral endigué protégeant le Marais de Dol, a lui une vingtaine de bornes géodésiques IGN (23 exactement) avec des valeurs altimétriques entre 8 et 10 m NGF à plus (Source : [www.géoportail.fr](http://www.géoportail.fr)). À partir de la chapelle Saint-Anne et jusqu'au Mont-Saint-Michel, il n'y a pas de bornes sur la digue du Polder de l'ouest, en revanche, le lit du Couesnon en est équipé.

À l'ouest de Cherrueix, la borne N.Q.K3 – 217 a cependant une altitude : 7,899 m NGF (Illustration 39 ; cercle ouest de Cherrueix).

Cette carte topographique permet aussi de se rendre compte de la largeur du cordon endigué. À Cherrueix et à l'ouest du bourg aux niveaux des lieux-dits : la Laronnière, le Chemin Dolais et la Maison-des-Terroirs (secteur de la borne géodésique N.Q.K3 – 217), le cordon est réduit.

Directement en arrière de celui-ci la topographie est de 5 à 6 m NGF. Ces rétrécissements de cordons viennent se superposer aux rétrécissements du schorre et aux secteurs où les bancs coquilliers de haut estran sont les plus proches de la digue ou cardon endigué.

Ces secteurs pourraient être des secteurs plus vulnérables en cas de niveaux marins extrêmes. Pour Cancale et Granville et le Vivier-sur-Mer, les niveaux centennaux sont donnés par le SHOM et de CETMEF (2008), entre 8,1 et 8,2 m NGF.

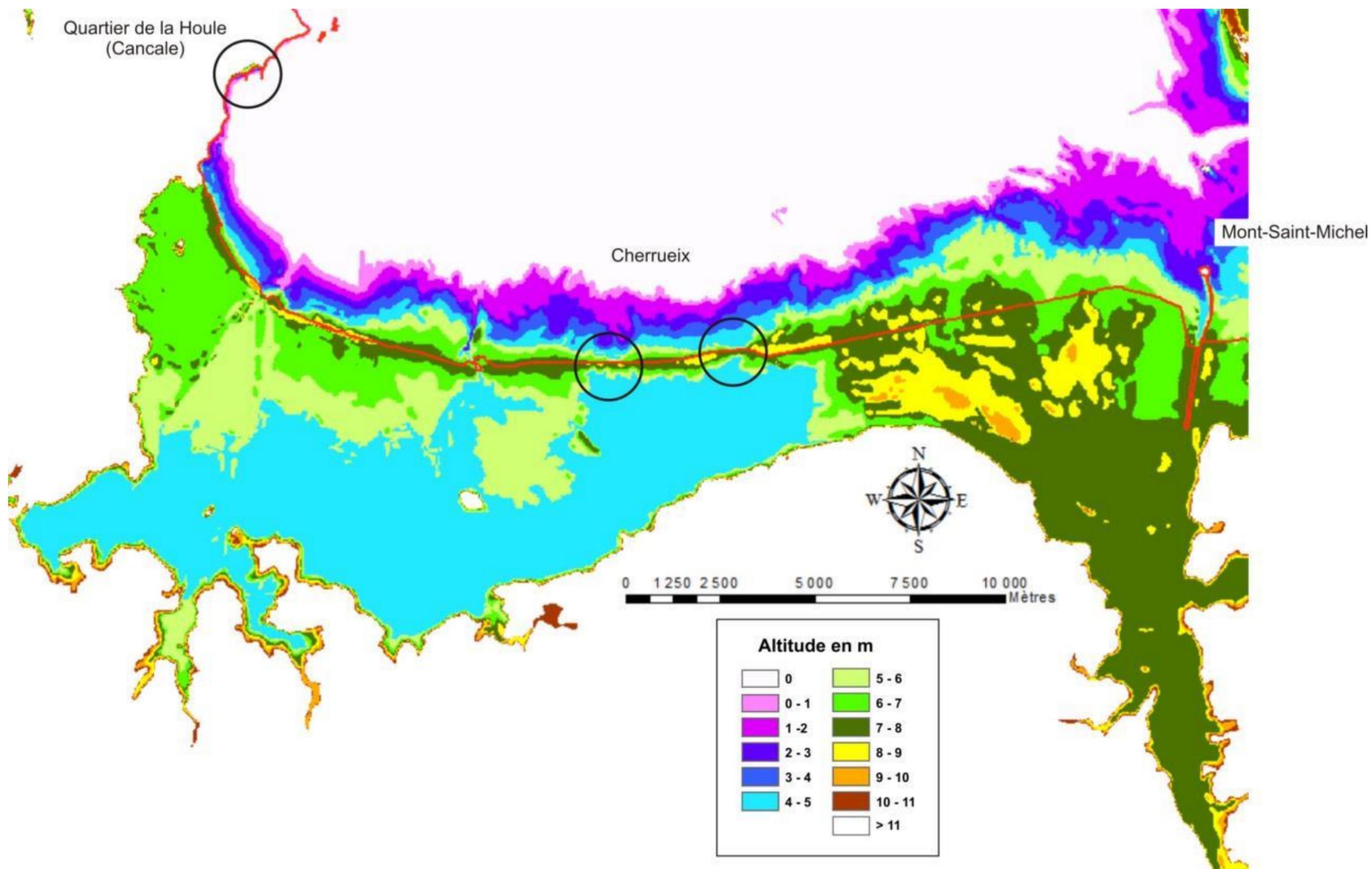


Illustration 45 : Topographie de la baie du Mont-Saint-Michel au pas de 25 m (IGN) : ligne rouge Trait de côte HistoLitt V2.0 SHOM-IGN

### 3.2.3. L'aléa « inondation estuarienne »

Les Polders de l'ouest sont des terrains qui ont été gagnés sur la partie maritime, dans laquelle se situait la plaine d'inondation du Couesnon (Illustration 46).

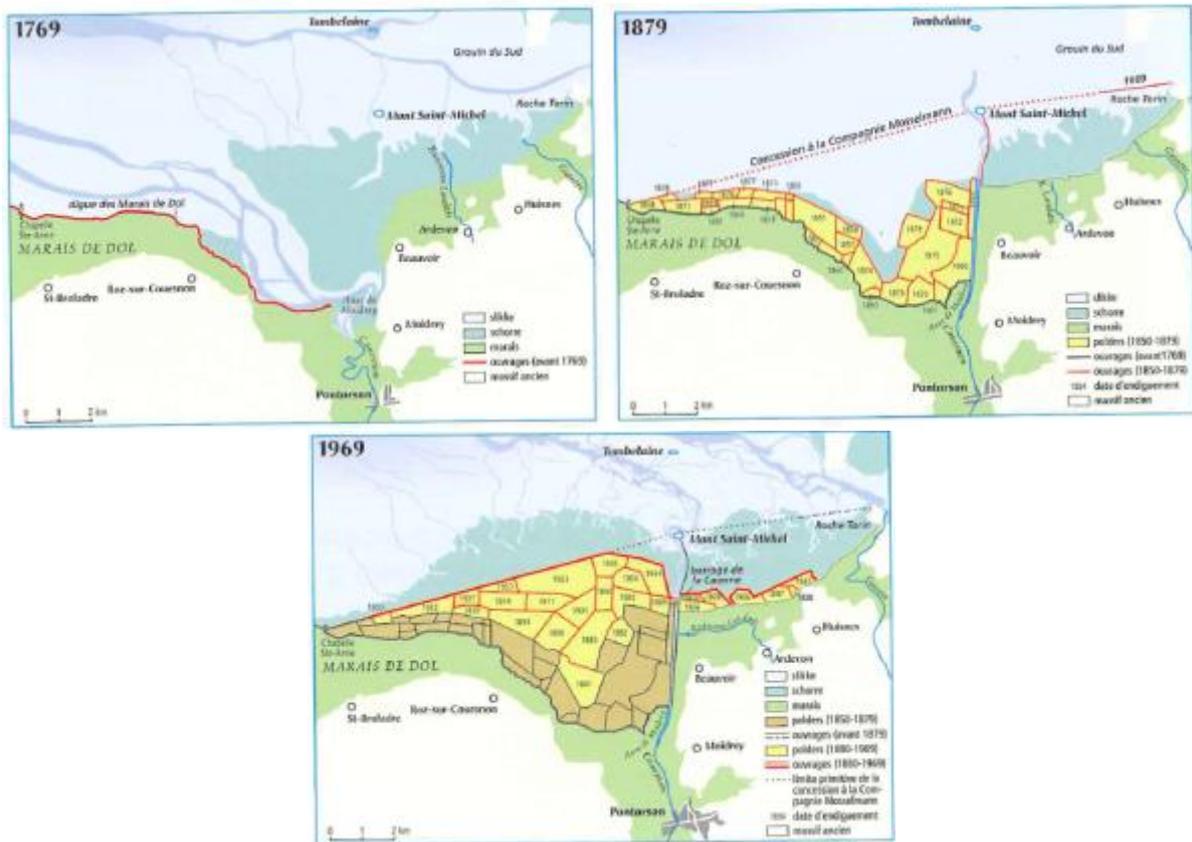


Illustration 46 : Évolution de la partie estuarienne de la Baie du Mont-Saint-Michel (F. Verger, marais et estuaires français, 2005).

Ces secteurs sont des secteurs où la dynamique sédimentaire peut être intense et où le fleuve ou la rivière côtière vient remodeler son cours antérieur, s'il n'est pas canalisé.

L'analyse de campagnes de photo-aériennes et de cartes anciennes a permis la reconstitution des différents lits et chenaux (L'Homer 2001 dans Bonnot-Courtois *et al.*, 2002), que le fleuve a emprunté entre 1851 et 1938 (Illustration 47 en haut).

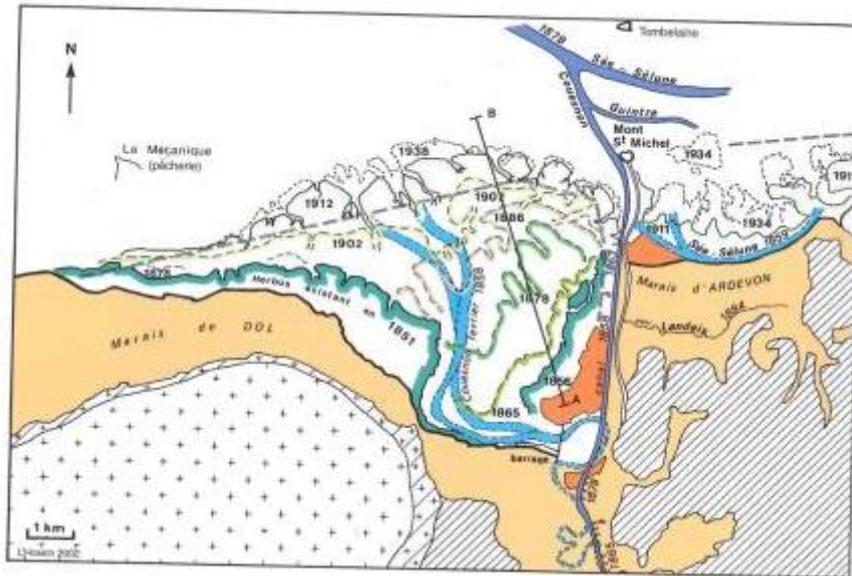


Illustration 47 : Progression de la bordure de l'herbus (schorre) de 1851 à 1938 (L'Homer 2001 dans Bonnot-Courtois et al., 2002).

La réalisation de coupes stratigraphiques AB sur l'illustration 47, entre 1912 et 1992, ont mis en évidence de deux phases importantes de recul de l'herbus (Illustration 43).

La première se situe vers entre 1916 et 1921, avec un recul de l'herbus de de 350 m environ a été estimé avec pour cause la divagation d'un chenal tidal.

Malgré la réalisation de la digue des polders en 1933, la seconde s'est produite entre 1940 et 1943, et enregistre un fort recul de 650 m (Illustration 48).

Le recensement des évènements tempétueux dommageables (paragraphe ci-dessous), montre qu'un bon nombre d'évènements se sont produits dans le secteur de Roz-sur-Couesnon et le long de la bordure Ouest du Massif granodioritique de Saint-Brolade.

Ruptures de digues et inondations ou submersions ont été assez fréquentes au 18<sup>ième</sup> et 19<sup>ième</sup> siècle.

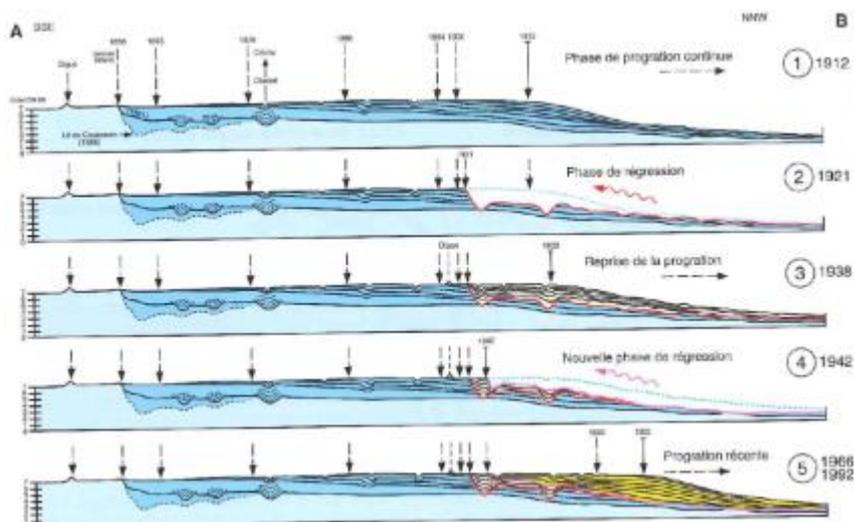


Illustration 48 : Coupes à travers l'ancien estuaire du Couesnon : Phases de progression et régression entre 1912 et 1992, L'Homer 2001 dans Bonnot-Courtois et al., 2002).

La réalisation des Polders de l'Ouest, prive les eaux du fleuve d'un espace disponible où lors des périodes de crues, elles pouvaient s'étaler. De la même façon, cet espace servait à l'étalement des marées de vive-eau en concomitance avec les eaux du fleuve.

Les anciens lits successifs du Couesnon sont aussi autant de secteurs où la perméabilité est plus forte que dans leurs encaissements et donc où les crues peuvent être plus rapides et inattendues lors des périodes de hautes-eaux ou de coefficients de marées importants.



*Illustration 49 : Vue du Mont-Saint-Michel, Couesnon et du schorre, lors d'une marée de PM de printemps (Photo Bonnot-Courtois dans Tessier et Bonnot-Courtois, 2004).*

## 4. Acquisitions de terrain (géomorphologie, prédisposition à l'érosion et cinématique du trait de côte)

### 4.1. « GEOMORPHOLOGIE » DU TRAIT DE COTE

#### 4.1.1. Eléments de méthodologie

Avant de pouvoir évaluer la prédisposition à l'érosion des côtes rocheuses, il a été nécessaire de déterminer et fixer quelles pouvaient être (1) les données possiblement utilisables et (2) sur quels éléments méthodologiques se baser, comme :

- quel trait de côte support de la géomorphologie ?
- quelle géologie pour ce trait de côte support ?
- quelle géomorphologie ?
- quels événements l'ayant détérioré utiliser ?
- enfin comment caractériser ces événements ayant trait à l'érosion de ce trait de côte ?

#### ***Quel trait de côte (TdC) support utilisé pour sa caractérisation « géomorphologique » ?***

Deux possibilités cartographiques pouvaient être envisagées. L'utilisation d'un TdC déjà existant tel que le trait de côte HistoLitt V2.0 (TdCH) construit par le SHOM et l'IGN ou la création d'un TdC à partir de différents marqueurs géomorphologiques caractéristiques des côtes rocheuses et extraits d'images aériennes.

La première solution a été celle retenue car elle avait pour principal avantage de fournir un support cohérent avec une certaine homogénéité d'échelle et de précision (Description techniques des spécificités, SHOM/IGN 2007), pour les documents réglementaires.

Prenant pour hypothèse que le trait de côte correspond à la laisse des plus hautes mers dans le cas d'une marée astronomique de coefficient 120 et dans des conditions météorologiques normales (pas de vent du large, pas de dépression atmosphérique susceptible d'élever le niveau de la mer) ; le produit TdCH modélise cette entité théorique par un ensemble de polygones 2D.

Pour la région Bretagne, les sources sont : à 65.4 % le TDCBDTOPO, à 28.63 % le TDCBDORTHO et à 5.96 % le TDC25 000 (Illustration 50).

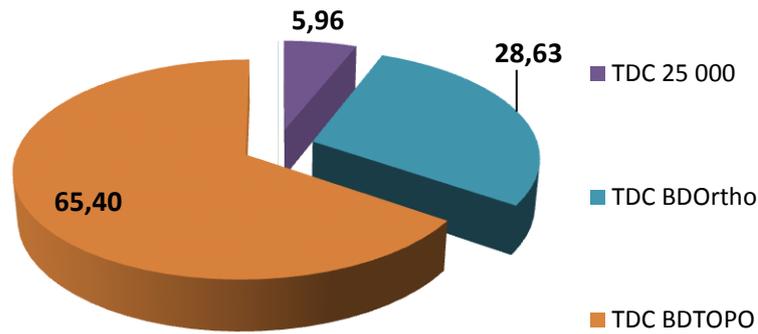


Illustration 50 : Sources composant le trait de côte HistolittV2.0 pour la Bretagne.

### Caractérisation du trait de côte

Suite à des discussions lors de différents comités techniques, des options ont été ajoutées afin d'enrichir de TdC, comme notamment la présence de la nature de l'estran sur les côtes basses (sables, galets, graviers, sables et graviers), pouvant donner des indications sur la dynamique sédimentaire sur l'avant-plage, contributions apportées par Chantal Bonnot-Courtois et Alain Hénaff.

Le BRGM a proposé l'ajout d'un trait continental car avec un tel découpage des côtes bretonnes, comblées par des formations superficielles diverses (dépôts de pente de type « head », cordons de sable ou de galets), les vitesses de recul du trait de côte allaient tout autant elles aussi être très hétérogènes, mais qui se limiteront à l'étendue de ces formations dites superficielles.

Ainsi, la géomorphologie du TdC s'est structurée autour du trait de côte HistolittV2.0 par l'ajout d'un avant et d'un arrière Trait de côte, l'AvTDC pour l'estran et un ArTDC pour l'étendue de la formation superficielle considérée (Illustration 51).

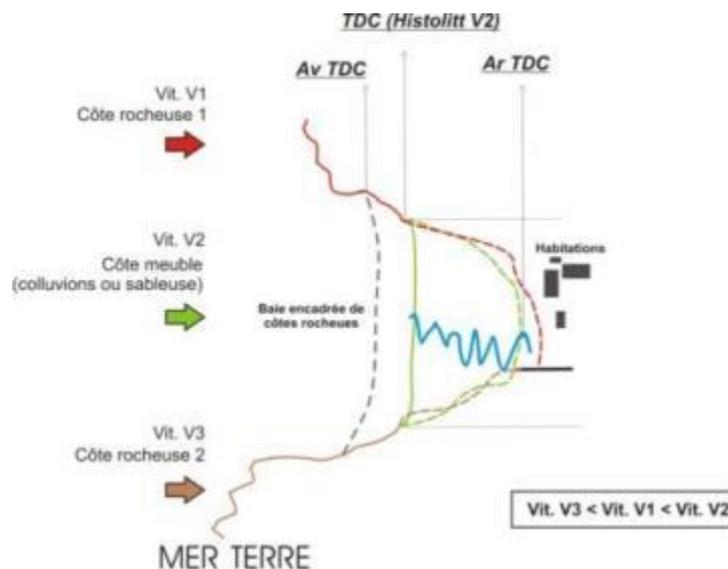


Illustration 51 : Schéma de principe de caractérisation du trait de côte.

## Quelle géologie pour le Trait de côte des trois départements (22, 29 et 35) ?

Cette partie a été faite **en plusieurs étapes**.

La **première étape** a consisté en la **réalisation d'une carte géologique harmonisée pour les trois départements**.

À partir de la meilleure échelle disponible en France métropolitaine sur la géologie du sous-sol, celle du 1/50 000 des cartes géologiques de la France du BRGM, pour chaque département français, constitué en moyenne par plus d'une vingtaine de cartes géologiques, ont été harmonisées à cette même échelle (1/50 000), lors de la réalisation des cartes départementales des argiles pour la caractérisation de leur aléa en retrait et gonflement en période de sécheresse (Illustration 52).

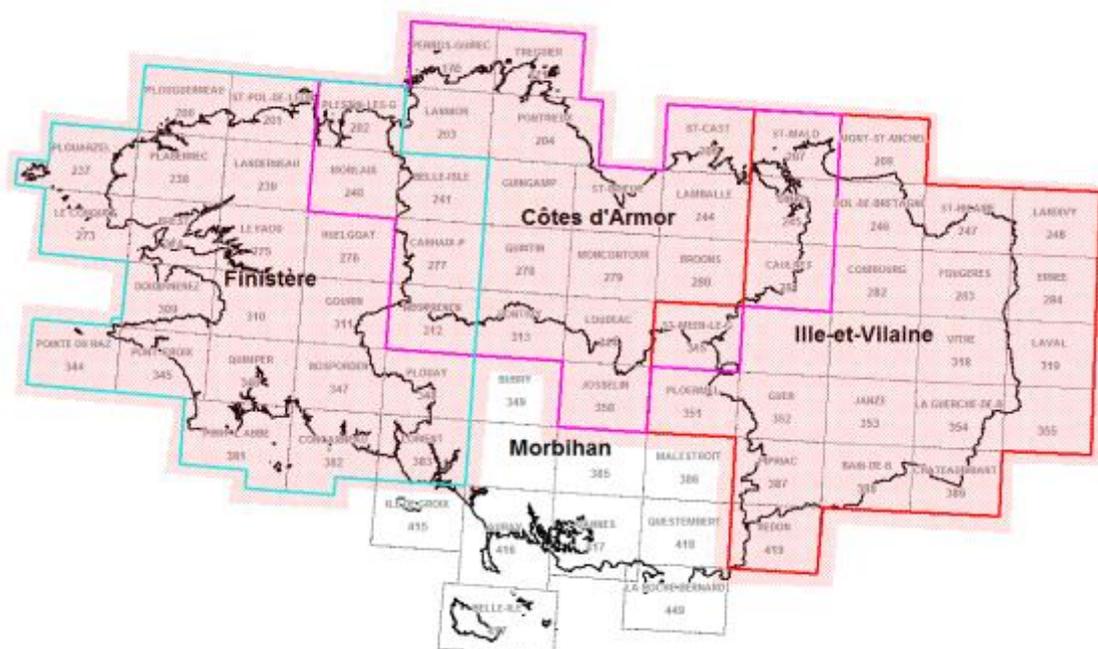


Illustration 52 : Patchwork des cartes géologiques au 1/50 000 pour les trois départements concernés (en rouge : harmonisation de l'Ille-et-Vilaine ; en rose : des Côtes-d'Armor et en bleu : du Finistère ; en surcharge : harmonisation des trois départements).

À partir de cette géologie homogène à l'échelle du département, il a été nécessaire de réaliser une harmonisation de ces trois cartes géologiques départementales harmonisées des départements du Finistère, des Côtes-d'Armor et d'Ille-et-Vilaine.

Ensuite, cette géologie sub-régionale a été affectée automatiquement par croisement entre elle et le vecteur du TdCH, dans un SIG.

À la géologie issue des cartes au 1/50 000 du BRGM, les investigations de terrain sont venues préciser la géologie des côtes basses et des côtes composées par des dépôts de pente meubles souvent cartographiés que parcimonieusement à l'échelle du 1/50 000.

**La deuxième étape** est venue compléter la première par **une acquisition de la géologie plus traditionnelle par l'utilisation d'une minute de terrain**.

Pour le littoral brétilain (Ille-et-Vilaine, 35) et celui du Finistère (29), à la méthodologie décrite ci-dessus d'attribution automatique d'une géologie au trait de côte, les investigations de terrain depuis l'automne 2012 à la fin de l'été 2013, sont venues corriger directement les

erreurs d'attribution automatique. Les précisions de terrain ont porté essentiellement sur les côtes basses, et les côtes meubles et sur l'attribution de secteur de roches altérées ou en érosion.

Pour le littoral des Côtes-d'Armor (22), il a été possible de s'appuyer sur une étude existante réalisée par Chantal Bonnot-Courtois et Gentiane Lançon (CNRS) sur la caractérisation de l'aléa érosion sur le littoral des Côtes d'Armor, contenant sur tout le littoral costarmoricain à une précision au 1/25 000, la géomorphologie côtière, les aménagements et les aléas. Grâce au croisement des informations des cartes de cette étude, avec les cartes géologiques au 1/50 000 du BRGM et les investigations de terrains de l'été 2011 du BRGM, la géomorphologie a pu être affinée.

Lors des campagnes de terrain, des minutes de terrain ont été réalisées dont le support a été le Scan 25 de l'IGN, agrandi à l'échelle du 1/15 000 (Illustration 53).



Illustration 53 : Minute de terrain au niveau de Camaret-sur-Mer (29).

Ainsi de nombreuses informations qui ne figuraient pas sur les cartes géologiques, telles que la géologie (**roche saine ou altérée, côtes meubles** etc.), **les secteurs en érosion, la nature de l'estran ou encore les extensions des formations meubles, ont pu être retranscrits**. Ces observations de terrain ont donc permis un enrichissement supplémentaire **avec secteur sain et altéré ou encore en érosion ou pas**.

Pour des commodités cartographiques de rendu à l'échelle du 1/15 000, l'avant trait de côte a été positionné sur le « 0 » NGF des Scan25IGN. Sa nature (sableuse, à galets, vaseuse, rocheuse) a pu être définie grâce aux investigations de terrain sur le Finistère et l'Ille-et-Vilaine, et en s'appuyant sur les cartes de l'étude de C. Bonnot-Courtois, complétée par les images satellites en libre accès sur <http://www.bing.com/maps/> ou <https://www.google.fr/maps>.

Enfin, l'arrière trait de côte, comme l'extension des formations superficielles a été le plus délicat à tracer. Les cartes géologiques au 1/50 000 sont venues apporter l'information de présence ou pas, mais le tracé s'est appuyé sur les Scan25IGN et sur l'interprétation à partir de l'analyse de la végétation, de l'occupation des sols des images satellites (<http://www.bing.com/maps/> ou <https://www.google.fr/maps>).

La **troisième étape importante**, a été la **simplification** de cette géologie des trois départements.

Avec 475 caissons ou polygones correspondants chacun à une formation géologique, il n'était pas possible de réellement faire une analyse sur les prédispositions de tant de formations géologiques à l'érosion.

Un **travail de simplification de la géologie** a permis le regroupement de ces 475 formations géologiques en :

- **11** formations géologiques pour les côtes rocheuses ;
- et **14** formations géologiques pour les côtes meubles.

Le regroupement des formations géologiques des côtes rocheuses s'est faite sur :

- la lithologie (regroupement des formations géologiques de même nature ou de la même famille), tel que : les leucogranites, granites et granodiorites ou l'ensemble des formations géologiques volcaniques acides, ou encore des alluvions avec les colluvions ou dépôts de pentes périglaciaires ;
- l'expertise du géologue régional ;
- la connaissance du comportement mécanique des formations géologiques, comme le Module de Young et le Coefficient de Poisson (Illustration 54) ;

<i>Matériau</i>	<i>Module de Young E (GPa)</i>	<i>Coefficient de Poisson <math>\nu</math></i>
Granite	10 – 80	0.25 – 0.35
Basalte	20 – 70	0.25 – 0.35
Quartzite	30 – 90	0.12 – 0.15
Gneiss	10 – 60	0.25 – 0.35
Schiste	7 – 50	0.15 – 0.20
Calcaire très compact	60 – 80	0.25 – 0.35
Calcaire compact	30 – 60	0.25 – 0.35
Calcaire peu compact	10 – 30	0.25 – 0.35
Calcaire tendre	2 – 10	0.25 – 0.35
Marne	0.05 – 1	0.25 – 0.35
Grés	5 – 60	0.25 – 0.35
Molasse	1.5 – 5	0.25 – 0.35
Marbre	80 – 110	0.27 – 0.3
Gypse	2 – 6.5	0.27 – 0.3

*Illustration 54 : Module de Young et coefficient de Poisson pour quelques familles de roches (Mestat, 1993).*

- et sur le comportement des minéraux des formations géologiques face à l'altération comme par exemple l'ordre établi par Goldich (1938) de résistance des minéraux à l'altération (Illustration 55).

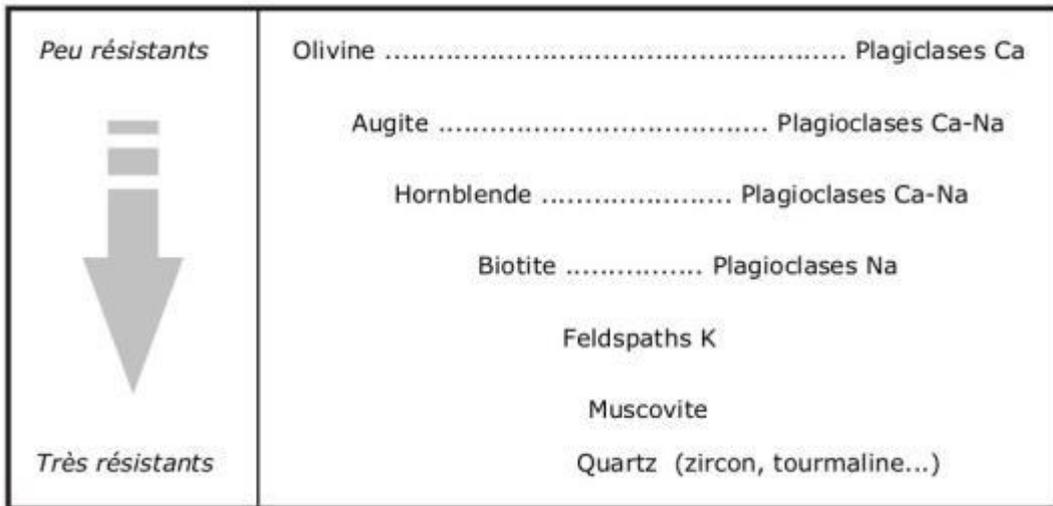


Illustration 55 : Ordre de résistance des minéraux à l'altération (Goldich, 1938).

#### 4.1.2. La « géomorphologie » du trait de côte des trois départements

##### Synthèse générale

Cette cartographie (1) de la géologie des côtes à falaises et de la géomorphologie/géologie des côtes d'accumulation, du trait de côte, précise au 1/15 000, permet de dresser un état des lieux du trait de côte des trois départements (d'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère).

Pour un **linéaire total de côte** de **2 071,5 km** étudié, le trait de côte est composé à **25,8 %** d'**aménagements anthropiques** (digues, murs, épis, quais etc.), soit un linéaire de **534,8 km**.

Les **côtes naturelles** sont composées de **486,19 km** de **côtes meubles** (alluvions estuariens, colluvions de pente, côtes d'accumulation sableuses et à galets etc.), soit **23,46 %** et de **1 051,5 km** de **côtes rocheuses**, soit **50,74 %** (Illustration 56).

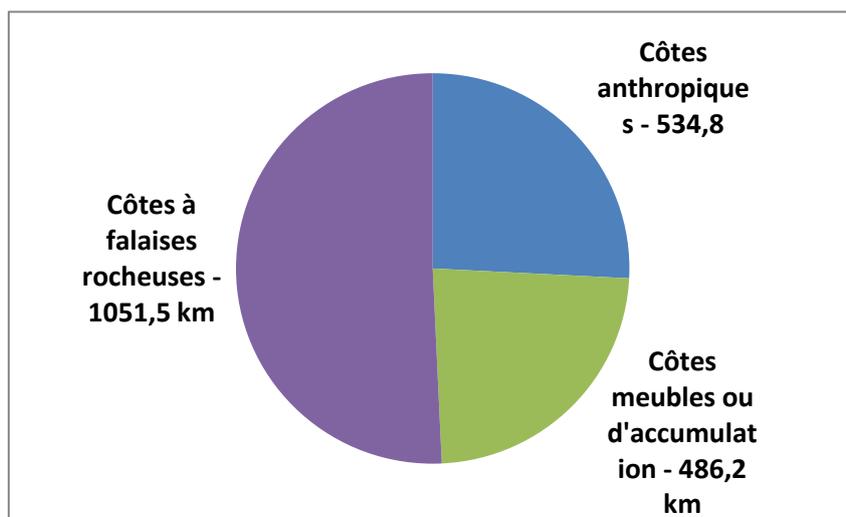


Illustration 56 : Synthèse du linéaire côtier étudié pour les départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère.

L'identification sur le terrain de linéaire interprété en érosion (sur les côtes meubles comme rocheuses), permet de dresser ce bilan de **230,93** km de côte **en érosion** soit **11,14** %.

Pour les **côtes rocheuses**, le linéaire en érosion est de **77,84** km, soit **7,40** %, alors que pour les côtes meubles, le linéaire en érosion est de **153,06** km en érosion, soit **31,49** %.

Pour la partie anthropique de ce linéaire côtier sur les **534,8** km, **7,7** km soit sur **1,4** %, a été observé endommager.

### Synthèse par formations géologiques littorales

Pour l'ensemble des trois départements, il a été possible de caractériser :

- les différents linéaires de côtes rocheuses sains et altérés ;
- les différents linéaires de côtes rocheuses comme meubles en érosion ou pas.

Le linéaire des côtes rocheuses des trois départements est constitué (illustration 52) :

1. de **roches** de la famille des **granites** (**459** km) ;
2. suivi de **261** km de côtes de **roches métamorphiques** (des micaschistes, gneiss aux migmatites) ;
3. **156** km de **roches sédimentaires déformées (schisto-gréseuses)** ;
4. **63** km de roches de type grés **armoricain** ;
5. **33** km de **roches plutoniques à volcaniques basiques** ;
6. **27** km de différents **filons rocheux** ;
7. **23** km de **roches métamorphiques basiques** ;
8. **14** km de **roches volcano-sédimentaires** ;
9. **11** km de **roches volcanites et métavolcanites acides** ;
10. Et enfin « *anecdotiquement* » **0.4** km de **roches quartzitiques ou localement mylonitiques**.

		en km	altéré	en érosion	altéré en érosion	Total	Roch alt./Roch saine		En érosion/Non érodé	
								en %		en %
Trait de côte (total 22, 29 et 35)										
Falaises rocheuses et meubles	Roches granitiques	406,80	34,20	10,90	7,50	459,40	0,08	8,41	0,04	4,17
	Roches métamorphiques	233,36	12,68	7,65	8,01	261,70	0,09	8,58	0,06	6,36
	Roches métamorphiques basiques	19,83	0,55	0,31	2,74	23,43	0,16	16,34	0,15	14,97
	Roches sédimentaires (schisto-gréseuses)	121,76	6,14	3,60	25,29	156,79	0,25	25,07	0,23	22,59
	Roches de type grés armoricain	61,33	0,84	0,88	-	63,05	0,01	1,35	0,01	1,42
	Roches volcano-sédimentaires	14,25	0,32	-	-	14,57	0,02	2,25	-	-
	Roches plutoniques à volcaniques basiques	24,00	1,48	0,00	8,02	33,50	0,40	39,58	0,31	31,48
	Roches volcanites et métavolcanites acides	10,72	0,22	-	-	10,94	0,02	2,05	-	-
	Roches quartzitiques (ou localement mylonitiques)	0,40	-	-	-	0,40	-	-	-	-
	Filons rocheux	22,90	1,88	0,54	2,40	27,72	-	-	-	-
	Depots de pente (colluvions aux alluvions)	75,64	-	92,25	-	167,89	-	-	1,22	121,96

Illustration 57 : Tableau des formations géologiques littorales simplifiées des côtes rocheuses des départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère (Sont présents les linéaires altérés, sains et érodés).

Les formations géologiques qui finalement apparaissent avec un faible linéaire, avaient été extraites des 475 de l'harmonisation géologique des trois départements et retenues car elles pouvaient constituer des hétérogénéités : points résistants ou meubles pouvant être le siège d'aléa ponctuel.

Enfin, les formations géologiques de type **dépôts de pente (des colluvions aux alluvions)**, qui correspondent à des falaises d'altitudes variées entre 1 m à 15/20 m, et qui

correspondent à une géomorphologie intermédiaire entre les côtes rocheuses et les côtes meubles, font un linéaires côtier de **167 km**.

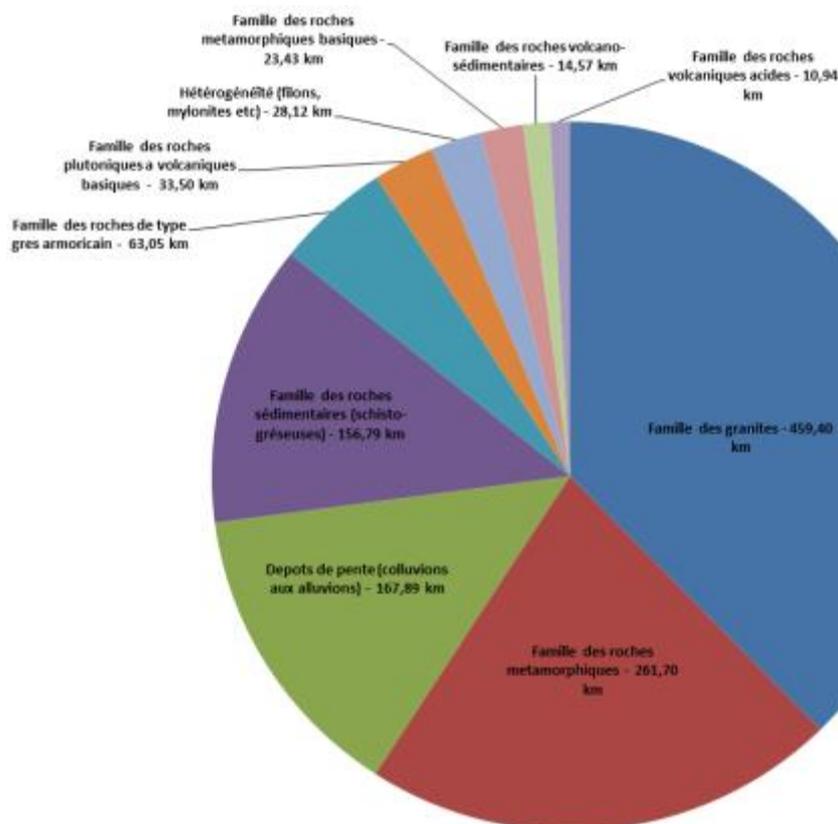


Illustration 58 : Linéaire en kilomètre des différents linéaires de côtes rocheuses.

### Synthèse sur l'altération des formations géologiques littorales

Un **rapport entre le linéaire altéré et sain (non altéré)**, a été réalisé afin d'avoir une image du degré d'altération des différents linéaires de côtes rocheuses, (Illustration 52).

Les formations géologiques qui présentent **un rapport [linéaire altéré/linéaire sain]** le plus important, sont les :

1. **roches plutoniques à volcaniques basiques** avec **39 %** de leur linéaire altéré ;
2. suivies par les **roches sédimentaires (schisto-gréseuses)** avec **25 %** ;
3. puis par les **roches métamorphiques basiques** avec **16 %** ;
4. les **roches granitiques et métamorphiques** ont un linéaire de côte altérée égal de **8 %** environ ;
5. et enfin les **roches sédimentaires de type grès armoricain et volcano-sédimentaires** sont très peu altérées avec respectivement **1,35** et **2,25 %** de leur linéaire côtier.

Ces **résultats** confirment dans un premiers temps, **l'ordre de résistance des minéraux à l'altération de Goldish (1938)**, mais dans un deuxième temps, montrent que pour les côtes rocheuses des trois départements, **si les roches composées de minéraux facilement altérables comme celles basiques sont les plus altérées, les roches contenant le plus de discontinuités intrinsèques comme acquises, sont elles aussi tout autant altérables** telles que les roches sédimentaires (schisto-gréseuses).

## Synthèse sur l'érosion des formations géologiques littorales

### • Sur les côtes rocheuses

La même démarche a été réalisée mais cette fois-ci par la réalisation d'un rapport entre **linéaire en érosion et « sain »** (Illustration 57). Les formations géologiques qui présentent **un rapport [linéaire en érosion/linéaire sain]** le plus important, sont les :

1. **roches plutoniques à volcaniques basiques** avec **31 %** de leur linéaire en érosion ;
2. suivies par les **roches sédimentaires (schisto-gréseuses)** avec **22 %** ;
3. puis par les **roches métamorphiques basiques** avec **14 %** ;
4. les **roches granitiques et métamorphiques** ont un linéaire de côte en érosion sensiblement identique avec respectivement **4,7** et **6,36 %** environ ;
5. et enfin les **roches sédimentaires de type grés armoricain** ont un linéaire côtier en érosion faible de **1,42 %**.

Pour les formations géologiques restantes, leur linéaire n'a pas été observé en érosion.

**Cependant, les dépôts de pente (des colluvions aux alluvions), présentent un linéaire en érosion supérieur à leur linéaire « stable », ce qui les place comme la formation géologique à falaises la plus mobile du littoral des trois départements avec 121 %.**

Ces **résultats** confirment dans un premiers temps, **les données mécaniques qui caractérisent les différentes lithologies (Illustration 54, d'après Mestat, 1993)**, mais dans un deuxième temps, **bousculent ces premières confirmations en montrant un lien direct entre altération et érosion.**

Ainsi pour les formations géologiques des côtes rocheuses des trois départements (formation des dépôts de pente exclue), **les linéaires de roches en érosion se corrélient assez bien avec les linéaires de roches en altération, soulignant l'importance que l'altération peut jouer dans la mobilité des falaises, en diminuant leur résistance mécanique.**

### • Sur les côtes meubles

Pour les côtes meubles ou à accumulation, tels que les cordons dunaires de sables ou de galets, les flèches etc. (Illustration 58), cette approche n'est pas des plus adaptées mais malgré tout **le rapport entre linéaire en érosion et « stable »**, montre que :

1. les **flèches de sable** sont des objets géomorphologiques très mobiles avec **99 %** en érosion ;
2. suivies par les **cordons dunaires** (de sable), à **55 %** ;
3. Les **plages adossées et autres plages** (plagettes), ont respectivement **14** et **10 %** de leurs linéaires en érosion ;
4. et enfin les **cordons de galets** n'ont, eux, que **7 %** de leur linéaire observé en érosion.

		en km	altéré	en érosion	altéré en érosion	Total	En érosion/Non érodé	
Côtes basses et anthropiques	Cordon de galets	58,67	-	4,27	-	62,94	0,07	7,28
	Plage de galets	1,99	-	-	-	1,99	-	-
	Queue de comète de galets	0,10	-	-	-	0,10	-	-
	Fleche de galets	15,58	-	0,14	-	15,72	-	-
	Tombolo de galets	0,52	-	-	-	0,52	-	-
	Cordon de sable et galets	2,23	-	-	-	2,23	-	-
	Plage sablo-graveleuse	12,42	-	0,37	-	12,79	0,03	2,98
	Cordon dunaire sableux	83,29	-	46,02	-	129,31	0,55	55,25
	Fleche de sable	8,25	-	8,20	-	16,45	0,99	99,39
	Tombolo sableux	0,68	-	1,22	-	1,90	-	-
	Plage de sable (adossée)	3,08	-	0,44	-	3,52	0,14	14,29
	Plages autres (plagettes adossées etc.)	1,65	-	0,18	-	1,83	0,11	10,91
	Plages ou alluvions perches (sablo-graveleux)	4,80	-	-	-	4,80	-	-
	Marais maritime ou Estuaire	64,20	-	-	-	64,20	-	-
	Cote anthropique	527,15	-	7,65	-	534,80	0,01	1,45

Illustration 59 : Tableau des formations géologiques littorales simplifiées des côtes meubles des départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère (Sont présents les linéaires altérés, sains et érodés).

## 4.2. PREDISPOSITION A L'ÉROSION DES CÔTES A FALAISES

Pour évaluer la prédisposition à l'érosion, quatre critères ont été mis en place :

- 1 - le **rapport linéaire sain - linéaire en érosion** par formation géologique ;
- 2 - le **rapport linéaire saint - linéaire altéré** par formation géologique ;
- 3 - la **densité de mouvement de terrain au kilomètre linéaire** par formation géologique ;
- 4 - et la **densité de cavités au kilomètre linéaire** par formation géologique.

### 4.2.1. Le levé de terrain ayant trait à l'érosion

Pour le département des Côtes d'Armor, le levé de terrain s'est fait pendant l'été 2011, et a été complété à l'hiver 2011-2012. Pour les autres départements (Ille-et-Vilaine et Finistère), le levé a été réalisé lors de l'automne 2012 et de l'hiver à la fin de l'été 2013. Seulement quatre agents ont arpenté les 2 000 km environ de littoral.

#### Plusieurs types d'éléments ont été relevés :

L'ensemble des **mouvements de terrain** (cf. paragraphe ci-dessous sur la typologie mouvements relevés),

L'ensemble des **cavités** liées à l'action des vagues,

Et pour les côtes anthropisées (aménagées), l'ensemble des **réparations** réalisées sur les ouvrages (quais, digues, épis) ou **impacts** (dommages) quand il était possible de les observer.

Afin d'accélérer ce processus d'acquisition des données, les agents étaient munis d'un **GPS** © **Trimble Juno 3B**, contenant déjà dans l'appareil, les bases de données nécessaires à renseigner pour une **acquisition numérique**.

#### L'acquisition numérique

Les données de terrain ont été acquises grâce à un GPS © Trimble Juno 3B (Illustration 60). Ce GPS permet :

- d'obtenir une précision en temps réel de 2 à 5 m grâce au SBAS (Satellite-Based Augmentation System). Cette précision peut atteindre 1 à 3 m grâce au post-traitement. Ces précisions sont suffisantes pour permettre de localiser précisément les objets géographiques ;
- d'acquérir des données de trois types : des pointes, des lignes ou des surfaces.



Illustration 60 : GPS © Trimble Juno3B.

### **Préparations avant l'acquisition des données**

Avant l'acquisition de nouvelles données, il est nécessaire de définir dans l'appareil le système de coordonnées géographiques, de la précision voulue ou attendue, ou encore du pas d'acquisition.

Préalablement, un dictionnaire d'attribut est défini en fonction de la nature de l'acquisition. Le dictionnaire d'attribut correspond à l'ensemble des caractéristiques ou observations (attributs) qui seront relevés sur le terrain et rattachées à l'objet géographique levé, et qui seront directement stockées en temps réel dans l'outil de saisi.

Il permet un travail uniforme d'un opérateur à un autre, avec par exemple, la possibilité de bloquer l'acquisition d'un attribut, tant que le précédent n'a pas encore été identifié. Ces attributs levés directement sur le terrain permettent un gain de temps car de l'acquisition terrain, l'opérateur peut passer directement à son système d'information géographique et à la gestion de ces champs attributaires.

Deux logiciels sont nécessaires pour l'acquisition des données.

Le logiciel © PathFinder, développé par la société © Trimble, est outre un véritable logiciel SIG, un logiciel dans lequel il est possible de créer les dictionnaires d'attributs mais aussi de réaliser un traitement différentiel des données acquises afin d'en améliorer la précision.

Le second logiciel ©Terrasync Pro, est un aussi SIG embarqué sur le GPS portable et qui permet la gestion des données géoréférencées (vecteurs, rasters, ponctuels), consultables directement sur le terrain pour aider à l'acquisition ou la mise à jour. © TerraSync Pro permet aussi la synchronisation de l'ensemble des données embarquées et des données préparées sur l'ordinateur de bureau.

Les données collectées sont de deux types, on distingue :

- les données ponctuelles telles que les mouvements de terrain, les cavités, les impacts ou les réparations d'ouvrage ou encore les observations ponctuelles diverses (brèche de cordons etc.) ;
- les données linéaires permettant de relever des pieds et les crêtes de falaise ou les limites de végétation sur les côtes meubles.

### **Acquisition des données**

L'acquisition des données avec le © Trimble Juno3B, ne peut se faire qu'avec un minimum de quatre satellites connectés pour qu'à chaque point acquis, la précision soit la meilleure possible. La réception du signal peut être perturbée si l'opérateur se situe en pieds de falaise, et si celle-ci est située entre les satellites et l'opérateur. Pour la Bretagne, les falaises d'exposition nord, sont les moins bien-orientées pour une acquisition optimale. Les acquisitions trop proches de la surface de l'eau (de la mer) sont aussi perturbées par l'agitation de surface. Il est important que l'opérateur soit vigilant en surveillant la précision affichée par le GPS et la présence de la correction en temps réel active de l'appareil même s'il est possible de faire une correction des données en post traitement.

Après avoir transféré les données sur l'ordinateur grâce au logiciel © Pathfinder, celles-ci doivent être post-traitées. Ce post-traitement correspond à faire une comparaison à partir de l'heure et de la date d'acquisition des données avec la station GPS fixe la plus proche du secteur d'acquisition. Cette correction dite aussi « de différentielle », est une étape majeure qui permet d'améliorer considérablement la précision des mesures. Le post-traitement effectué, les données sont prêtes pour être exportées vers un SIG (Système d'Information Géographique) au format © Esri shapefile, ou mid/mif ou encore dxf, avec les champs attributaires prédéfinis dans le dictionnaire d'attribution (Illustration 61).

Au moment de l'acquisition des données, les différents champs attributaires du dictionnaire d'attribut prédéfinis tels que la typologie, la hauteur, la largeur et la profondeur ou encore la géologie (roche sédimentaire, roche granitique, sable, ...), sont acquis avec le mouvement de terrain. Enfin d'autres informations comme la direction, le pendage de la structure tectonique principale responsable de l'objet géographique ainsi qu'une photographie et des éléments de précision viennent compléter les attributions du GPS (Illustration 61).

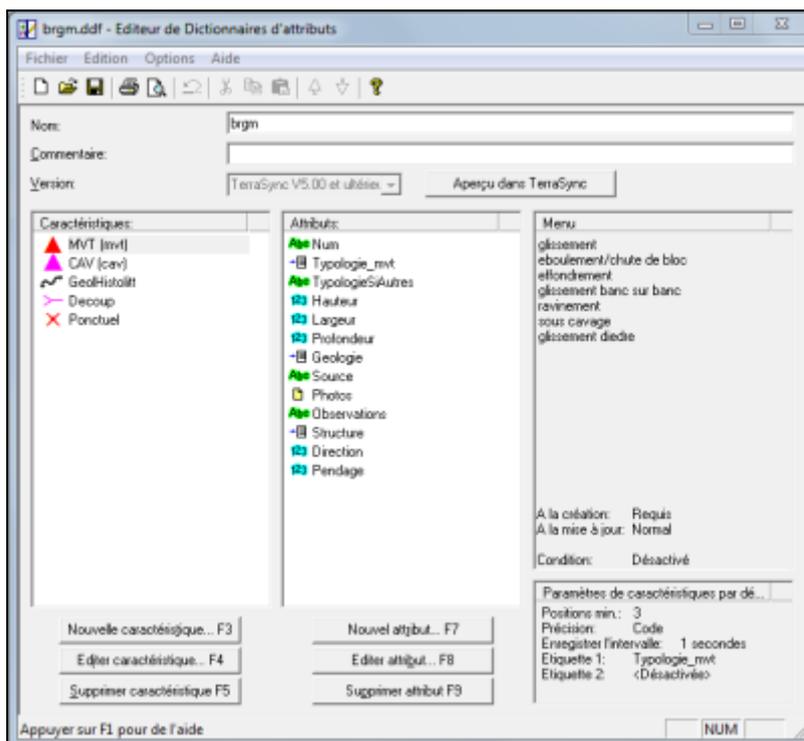


Illustration 61 : Dictionnaire d'attributs réalisé pour cette étude.

#### 4.2.2. Synthèse des éléments relevés lors de la phase terrain

##### **Les mouvements de terrain littoraux**

###### • La typologie des mouvements de terrain littoraux

Une nomenclature des instabilités des falaises, dépendant de différents facteurs (principalement la géologie et la morphologie) et s'appuyant sur la nomenclature nationale utilisée lors des inventaires départementaux des mouvements de terrain ([www.bdmvt.fr](http://www.bdmvt.fr)), a été établie pour le littoral des trois départements auscultés.

Les critères de définition concernent à la fois le type de mécanisme de déformation, de rupture et de déplacement des matériaux, le type de matériaux déplacés ainsi que le volume de matériaux déplacés.

##### **Glissements de terrain (illustration 62)**

Les glissements de terrain correspondent à des déplacements de terrains le plus souvent meubles le long d'une surface de rupture.

Les facteurs de prédisposition sont différentes lithologies depuis le sol, à des massifs fracturés, des formations superficielles meubles. La géométrie du plan de glissement est fonction de la topographie.

Les facteurs aggravants sont souvent de fortes précipitations, des actions anthropiques en aval comme en amont, l'action des vagues en pied de falaise qui déblayent le bourrelet.



Illustration 62 : Schéma de principe d'un glissement de terrain (Landevennec, 29).

### Glissements banc sur banc (Illustration 63)

Les glissements banc sur banc correspondent à des déplacements de terrains le long d'une surface correspondant à l'inclinaison du plan stratigraphique des roches, orienté vers le vide.

Les facteurs de prédisposition sont différentes lithologies mais surtout des roches sédimentaires ayant été basculées ou plissées. La géométrie de la discontinuité est fonction de l'histoire géologique de la formation géologique en cause.

Les facteurs aggravants sont souvent de fortes précipitations, des actions anthropiques en aval comme en amont, l'action des vagues qui érode le pied de falaise.



Illustration 63 : Schéma de principe d'un glissement banc sur banc (A : Binic, 22 ; B : Cap à la Chèvre, 29).

### Glissements de dièdres (Illustration 64)

Les glissements de dièdres correspondent à des déplacements de terrains le long d'au moins deux surfaces (discontinuités), sécantes pour individualiser un élément (bloc, gros bloc etc).

Les facteurs de prédisposition sont différentes lithologies mais surtout des roches avec au moins deux générations de fracturation sécantes. La géométrie des discontinuités est fonction de l'histoire géologique de la formation géologique en cause, autant intrinsèque qu'acquise.

Les facteurs aggravants sont souvent de fortes précipitations, des actions anthropiques en aval comme en amont, l'action des vagues qui érode le pied de falaise.



Illustration 64 : Schéma de principe d'un glissement de dièdres (A : Kerfany, 29 ; B : Plouha, 22).

### Éboulement, chute de blocs (Illustration 65)

Les éboulements ou chutes des blocs sont des phénomènes rapides ou événementiels mobilisant des éléments rocheux plus ou moins homogènes avec peu de déformation préalable d'une pente abrupte jusqu'à une zone de dépôt.

Les facteurs de prédisposition sont la présence d'un massif rocheux, de conglomérats, et de nombreuses discontinuités : stratigraphiques, tectoniques.

Les facteurs aggravants sont souvent de fortes précipitations, des actions anthropiques en aval comme en amont et la végétation.



Illustration 65 : Schéma de principe d'un éboulement/Chute de blocs (A : Pointe du Van, 29 ; B : Planguenoual, 22).

### Ravinement (Illustration 66)

Le ravinement est le résultat de l'érosion de la tête de falaise essentiellement. Il se produit surtout pour des têtes de falaises composées de formations géologiques meubles telles que des altérites (allotérites et isaltérites), des dépôts de pente ou une forte épaisseur de sols, par l'action des eaux météoritiques.



Illustration 66 : Ravinement important des formations superficielles composées de sols sombres épais (1 m) sur un manteau latéritique (Cap à la Chèvre, 29).

### **Sous-cavage (Illustration 67)**

Le sous-cavage est essentiellement présent en pied de falaise, et il est essentiellement lié à l'action des vagues. Le sous-cavage emprunte différentes hétérogénéités de la formation géologique en jeu, à partir du moment où celles-ci se situent au niveau de la mer. Il correspond au développement d'une érosion régressive frontale ou latérale, suivant des plans de fracturation, des plans de failles, des intrusions magmatiques mineures (filons de dolérites ou de quartz), des plans de stratification etc.

Les tempêtes associées à de hauts niveaux marins sont des conjonctures favorables à leur formation.



Illustration 67 : Sous-cavage (A : secteur Saint-Coulomb, 35 ; B : Plouha, 22).

### **Effondrement (Illustration 63)**

Les effondrements sont la conséquence de l'évolution prononcée du phénomène précédent qui aboutit à la rupture du toit d'une cavité souterraine qui s'est formée dans la zone d'action des vagues.

Les facteurs de prédisposition sont l'existence de discontinuités situées dans la zone d'action des vagues pour générer une cavité (dissolution, etc..) et la proximité de la surface.

Les facteurs aggravants sont souvent les tempêtes associées à de hauts niveaux marins et de fortes précipitations.



Illustration 68 : Effondrement sur la bordure nord de l'anse de Dinan (Camaret, 29).

### • Synthèse des mouvements de terrain

**2 537** mouvements de terrain ont été recensés sur le littoral des trois départements. Leur répartition géographique se fait pour l'essentiel sur les falaises rocheuses mais aussi sur les falaises meubles composées soit de dépôts de pente soit de cordons dunaires sableux ou à galets.

**96,50 %** des volumes de ces mouvements de terrain font moins de **5 000 m<sup>3</sup>**, soit un effectif total de **52**

**2,13 %** des volumes font moins de **20 000 m<sup>3</sup>**, soit un effectif total de **54**, et **0,9 %** des volumes sont supérieur à **50 000 m<sup>3</sup>**, pour un effectif total de **23**, et enfin **4** sont inférieurs à **100 000 m<sup>3</sup>** et **4** les plus importants sont inférieurs à **167 000 m<sup>3</sup>**.

Les volumes mis en jeu augmentent avec l'augmentation des hauteurs de falaises. Ainsi c'est sur la presqu'île de Crozon dans le Finistère (29) (depuis le port de Morgat et jusqu'à la pointe des Espagnols) et sur la façade Ouest de la baie de Saint-Brieuc (sur la commune de Plouha, aux alentours de la pointe du même nom), que se situent les mouvements de terrain les plus importants. Dans ces deux secteurs, les hauteurs de crête frôlent la centaine de mètres d'altitude à légèrement supérieur. Les figures ci-dessous illustrent quelques exemples pris sur la presqu'île de Crozon, de mouvements de terrain les plus importants (Illustration 69 A, B, C et D).

### • Quelques mouvements de terrain importants ou particuliers

Les investigations de terrain ont permis d'observer quelques mouvements de terrain de tailles assez importantes ou présentant un caractère singulier.

En **A** (Illustration 69), à partir du Cap de la chèvre et allant vers le Nord sur la commune de Crozon, on remarque la présence de tête de glissement qui moutonnent la topographie. La stratigraphie est aval pendage (orientée vers la mer) et la partie supérieure de la falaise semble altérée.

Ces têtes de glissements se suivent sur environ une centaine de mètres, décrivant un mouvement de terrain de type glissement de 20 m de hauteur, 80 de large, aggravé par la topographie littorale, le déblaiement des matériaux glissés par la mer et les eaux de ruissellement.

En **B** (Illustration 69), les fameuses grottes de Morgat sur la commune de Crozon, sont le résultat de l'érosion le long de plans de fracturation / de failles, N070 et pentées vers la mer et de plans N020 verticaux perpendiculaires à la falaise.

Le travail de sape de l'action des vagues le long des plans N020, et l'orientation favorable au glissement des plans N070, entraînent la création des cavités au niveau des plus hautes mers, qui se matérialisent pas des effondrements.

En **C** (Illustration 69), au niveau de la pointe de Pen Hir (sur la commune de Camart-sur-Mer), le travail de l'érosion littorale le long de plans de fractures / failles sub Est-Ouest, rejoint la limite entre les grés armoricain très grés-quartzitiques et une alternance de grés et schistes sombres.

Dès que la mer a franchi cette limite lithologique, elle génère des boutonnières d'érosion dans le matériel schisto-gréseux alors que les grés résistent. Ce processus d'érosion différentiel entre les grés s.s. et le matériel schisto-gréseux pourrait être à l'origine de la formation des fameux tas de pois.

Enfin en **D** (Illustration 69), depuis Camaret-sur-Mer en direction de la pointe des Espagnols, les falaises d'une altitude de 80 m environ, ont une orientation approximative N150, identique à la direction de la faille Kerforne.

Toujours suivant cette même orientation préférentielle, on remarque un bloc glissé de plusieurs centaines de mètres cubes.

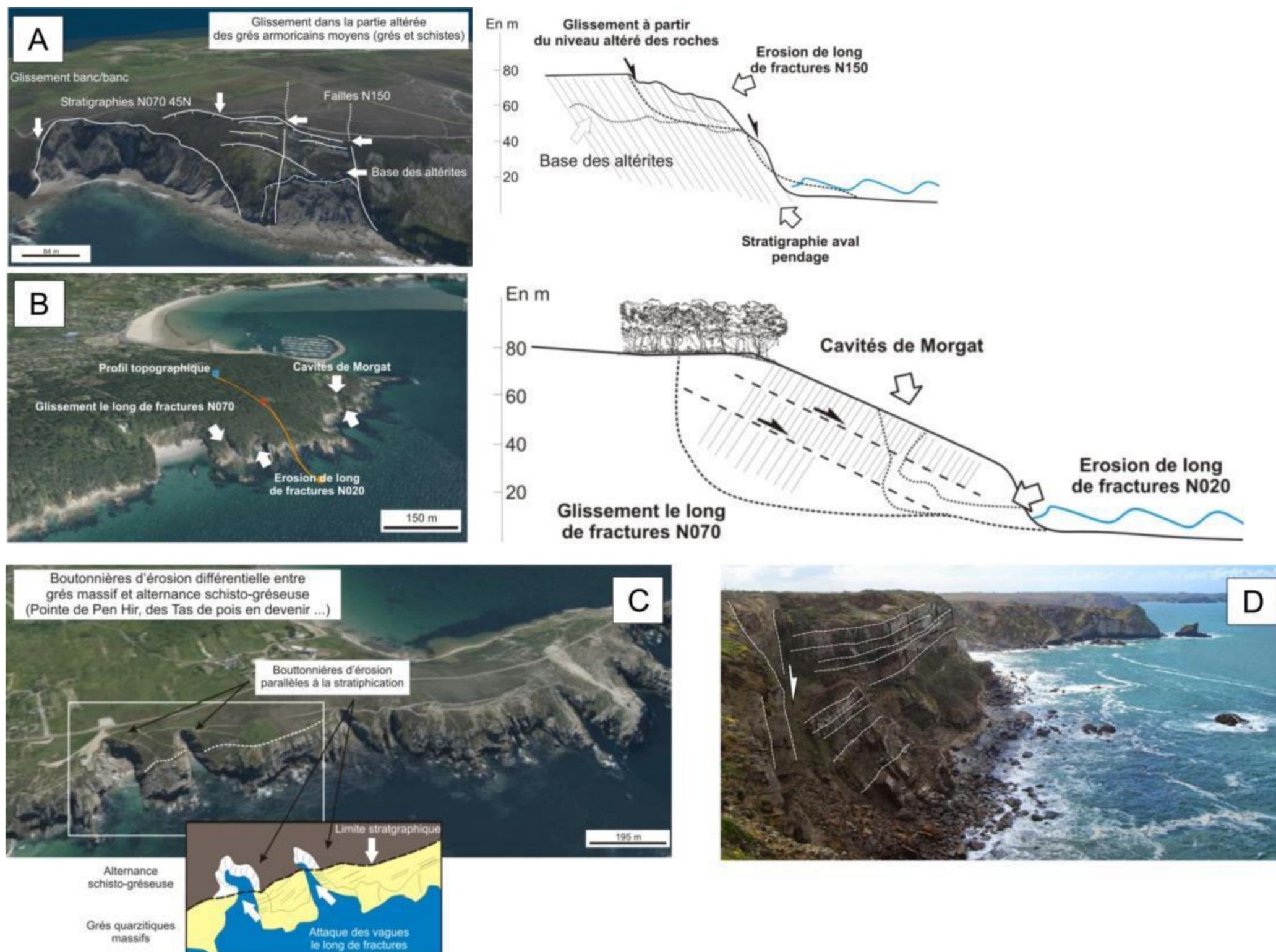


Illustration 69 : A : Glissement de terrain en tête de falaise sur la base des altérites meubles (Cap à la Chèvre, Crozon 29) ; B : Glissement le long de failles orientées vers le vide et formation de cavité dans la zone d'action des vagues (Morgat, Crozon 29) ; C : Erosion différentielle et formation de boutonnières d'érosion (Pointe de Pen Hir, Camaret 29) ; D : Bloc glissé de plusieurs milliers de m<sup>3</sup>, entre Camaret et la pointe des Espagnols (29), suivant un plan N150 satellite de la faille Kerforne.

## **Les cavités**

**1349** cavités ont été recensés sur le littoral des trois départements. Ces 1349 cavités correspondent à la compilation des cavités recensés lors des inventaires de cavités des départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes et du Finistère terminés en 2010, et des investigations de terrain réalisées au cours de cette étude.

Géographiquement, elles sont surtout situées d'ouest en est, autours de la presqu'île de Crozon depuis le sud de la pointe du Raz jusqu'après la pointe Saint-Mathieu, dans les baies de Morlaix et Lannion, dans la baie de Saint-Brieuc et autours de la Rance.

Dès que l'altitude des côtes diminuent, le nombre de cavités lui aussi diminuent (Illustration 70).

## **Les différentes observations**

Lors des visites de terrain, différentes observations pouvant avoir un intérêt sur la connaissance des aléas littoraux, mais qui ne rentraient pas le cadre d'inventaires de mouvements de terrain ou de cavités, ont été recensées.

Ces différentes observations ont été de deux ordres. Celles correspondant sur les ouvrages de protection du littoral, à des impacts : brèche, fissures, détérioration etc. et celles correspondant à des réparations (bétonnage d'une structure en moellons (digue, quai, épi etc.), reflexion de joints, greffes etc.).

D'autres observations ont pu être faites, comme des enrochements précaires ou sauvages, des traces d'érosion ou d'overwash (traces de laisses de haute-mer etc.) ou encore du piétinements notamment sur les côtes meubles sableuses (Illustration 70).

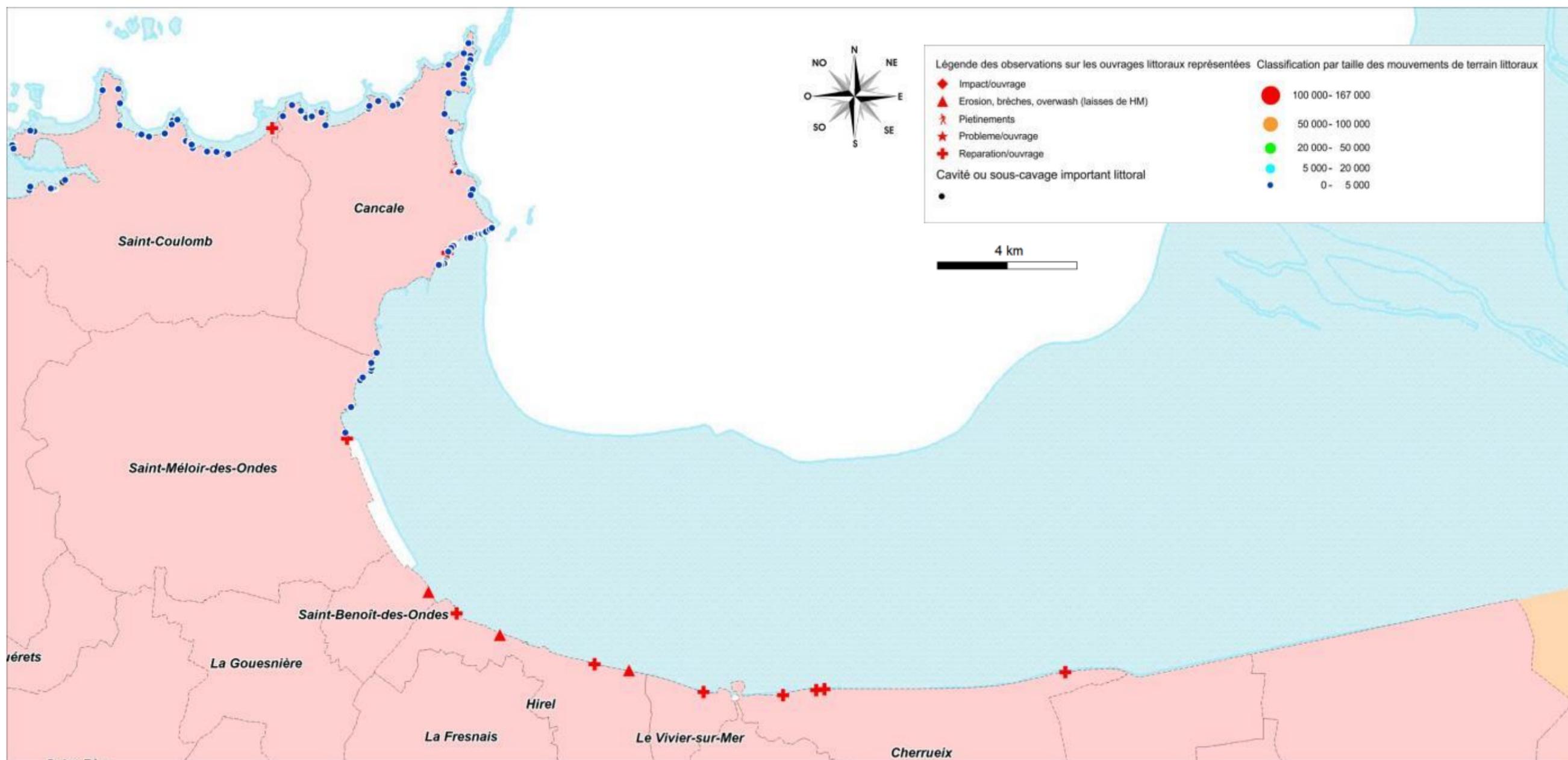


Illustration 70 : Recensement des mouvements de terrain, des cavités et impacts ou réparation sur ouvrages littoraux.

#### 4.2.3. Les critères d'évaluation de la prédisposition des côtes rocheuses à l'érosion

Plusieurs méthodes ont été développées pour l'évaluation de l'aléa mouvement de terrain sur les falaises ou versants rocheux, sur des régions montagneuses (Baillifard, F. *et al.*, 2003) ou sur les régions côtières (Wildman et Hobbs, 2005 ; Pérez-Alberti *et al.*, 2011 ou Marçot *et al.*, 2009). Très souvent l'analyse porte sur la géomorphologie et la cinématique d'un marqueur géomorphologique, mais plusieurs autres critères peuvent être pris en compte (fracturation, altération, morphologie des falaises, altitude ou les nombres d'événements recensés par linéaires de côtes considérées etc.).

L'analyse s'est ainsi portée par une analyse multicritère afin d'être au plus près de l'évaluation des phénomènes, et il s'est avéré que la prise en compte de critères tels que la géomorphologie très complexe des côtes rocheuses bretonnes ou la cinématique, pouvait être trop chronophage et irréalisable lorsque les linéaires de côtes étaient trop importants.

Il a été donc essentiel d'essayer de trouver des paramètres adaptés à la taille de l'objet géographique, à l'échelle de restitution, qui peuvent rendre compte des phénomènes mis en jeu afin de pouvoir restituer une analyse fidèle et qui balaye un espace géographique important.

Ainsi l'analyse des aléas littoraux des guides méthodologiques, c'est-à-dire, la caractérisation du trait de côte et l'analyse cinématique de son évolution, se sont avérées pour un trait de côte tel que celui de la Bretagne composé de falaises et versants rocheux pléthoriques, irréalisables. Cette méthodologie plus adaptée aux côtes d'accumulation, a été maintenue sur ce type de côtes, mais sur les côtes rocheuses, d'autres critères ont été utilisés.

Afin de pouvoir évaluer entre eux, les différents linéaires de côtes rocheuses, quatre critères ont été identifiés : le rapport entre linéaire de côtes saines et altérées, le rapport entre linéaire en érosion ou pas, la densité de mouvements de terrain et la densité de cavités au kilomètre linéaire pour chaque formation géologique.

Des notes au prorata des résultats obtenus par formations géologiques littorales, ont été affectées à chaque linéaire de côte, et les moyennes arithmétiques de ces notes, ont été considérées comme la note d'évaluation de la prédisposition à l'érosion.

Les tableaux qui suivent, illustrent les notes qui ont été attribuées à chaque formation géologique, en fonction des différents critères énoncés ci-dessus.

Les rapports de linéaires d'altération et d'érosion ont été discutés plus haut, ne sont discutés ici que l'attribution des notes.

#### ***Le rapport linéaire sain - altéré***

Avec une répartition relativement homogène, le pourcentage de linéaire altéré par formation géologique permet l'attribution d'une note s'étalant de 1 à 5 (de faible à élevé respectivement) :

- où la note sur le degré d'altération de 1 (faible) correspond aux formations géologiques ayant un pourcentage compris entre 1.35 et 2.25 telles que les roches de type grès armoricain, volcano-sédimentaires et les volcanites et métavolcanites acides ;
- la note de 2 pour des pourcentages de 8.41 à 8.58 pour les roches granitiques et métamorphiques ;

- de 3 pour un pourcentage de 16.34 pour les roches métamorphiques basiques ;
- de 4 pour un pourcentage de 25.07 pour les roches sédimentaires (schisto-gréseuses) ;
- et enfin de 5 (très élevé) pour un pourcentage de 39.58 pour les roches plutoniques à volcaniques basiques (Illustration 71).

		altéré	en érosion	altéré en érosion	Total	Roch alt./Roch saine		Note alt.	
							en %		
Falaises rocheuses et meubles	Trait de côte (total 22, 29 et 35)	2084,22							
	Roches granitiques	406,80	34,20	10,90	7,50	459,40	0,08	8,41	2
	Roches métamorphiques	233,36	12,68	7,65	8,01	261,70	0,09	8,58	2
	Roches métamorphiques basiques	19,83	0,55	0,31	2,74	23,43	0,16	16,34	3
	Roches sédimentaires (schisto-gréseuses)	121,76	6,14	3,60	25,29	156,79	0,25	25,07	4
	Roches de type gres armoricain	61,33	0,84	0,88		63,05	0,01	1,35	1
	Roches volcano-sédimentaires	14,25	0,32	-	-	14,57	0,02	2,25	1
	Roches plutoniques a volcaniques basiques	24,00	1,48	0,00	8,02	33,50	0,40	39,58	5
	Roches volcanites et metavolcanites acides	10,72	0,22	-	-	10,94	0,02	2,05	1
	Roches quartzitiques (ou localement mylonitiques)	0,40	-	-	-	0,40	-	-	-
	Filons rocheux	22,90	1,88	0,54	2,40	27,72	-	-	-
	Depots de pente (colluvions aux alluvions)	75,64	-	92,25	-	167,89	-	-	-

Illustration 71 : Tableau d'attribution des notes du degré d'altération pour les formations géologiques littorales.

### Le rapport linéaire sain – en érosion

En ce qui concerne l'attribution d'une note sur le degré d'érosion, une formation géologique se détache très nettement des autres. C'est celle qui correspond aux dépôts de pente des alluvions aux colluvions. Avec un pourcentage de 121 % de linéaire en érosion c'est-à-dire un linéaire en érosion supérieur à celui « sain », une note importante de 20 lui a été attribué car ce pourcentage correspond à 4 fois le second pourcentage le plus élevé. Pour les autres attributions de notes, le même schéma que celui-ci-dessus de l'altération, a pu être appliqué.

Avec une répartition relativement homogène, le pourcentage de linéaire en érosion par formation géologique permet l'attribution d'une note s'étalant de 1 à 5 (de faible à élevé respectivement) :

- où la note de 1 (faible) correspond à la formation géologique des roches de type grès armoricain ;
- de 2 pour des pourcentages de 4,17 à 6,36 telles que les roches granitiques et métamorphiques ;
- de 3 pour un pourcentage de 14,97 pour les roches métamorphiques basiques ;
- de 4 pour un pourcentage de 22,59 pour les roches sédimentaires (schisto-gréseuses) ;
- et enfin de 5 pour un pourcentage de 31,48 pour les roches plutoniques à volcaniques basiques (Illustration 72).

	en km	altéré	en érosion	altéré en éro	Total	En érosion/Non érodé		Note_Ero	
							en %		
Falaises rocheuses et meubles	Trait de côte (total 22, 29 et 35)	2084,22							
	Roches granitiques	406,80	34,20	10,90	7,50	459,40	0,04	4,17	2
	Roches métamorphiques	233,36	12,68	7,65	8,01	261,70	0,06	6,36	2
	Roches métamorphiques basiques	19,83	0,55	0,31	2,74	23,43	0,15	14,97	3
	Roches sédimentaires (schisto-gréseuses)	121,76	6,14	3,60	25,29	156,79	0,23	22,59	4
	Roches de type gres armoricain	61,33	0,84	0,88		63,05	0,01	1,42	1
	Roches volcano-sédimentaires	14,25	0,32	-	-	14,57	-	-	-
	Roches plutoniques a volcaniques basiques	24,00	1,48	0,00	8,02	33,50	0,31	31,48	5
	Roches volcanites et metavolcanites acides	10,72	0,22	-	-	10,94	-	-	-
	Roches quartzitiques (ou localement mylonitiques)	0,40	-	-	-	0,40	-	-	-
	Filons rocheux	22,90	1,88	0,54	2,40	27,72	-	-	-
	Depots de pente (colluvions aux alluvions)	75,64	-	92,25	-	167,89	1,22	121,96	20

Illustration 72 : Tableau d'attribution des notes du degré d'érosion pour les formations géologiques littorales.

## La densité de mouvement de terrain

En ce qui concerne l'attribution d'une note correspondant à la densité de mouvements de terrain par kilomètre linéaire pour chaque formation géologique littorale, une formation géologique se détache très nettement des autres. C'est celle qui correspond aux formations très siliceuses (roches quartzitiques ou localement mylonitiques) et qui génèrent par leurs fortes résistances à l'érosion, localement des phénomènes d'érosion différentielle. Avec un nombre de 15 mouvements (de terrain) au kilomètre, une note importante de 20 lui a été attribuée. Pour les autres attributions de notes, le même schéma que ceux cités ci-dessus, a pu être appliqué.

Avec une répartition relativement homogène, les densités de mouvements de terrain par formation géologique permettent l'attribution d'une note s'étalant de 1 à 5 (de faible à élevée respectivement):

- où la note de 1 (faible) correspond aux formations géologiques des roches granitiques et roches volcanites et métavolcanites acides ;
- de 2 aux roches métamorphiques, sédimentaires (schisto-gréseuses), de type grès armoricain, plutoniques à volcaniques basiques et aux dépôts de pente ;
- de 3 aux roches métamorphiques basiques et volcano-sédimentaires ;
- et enfin de 5 aux filons rocheux acides comme basiques.

			altéré	en érosion	altéré en éro	Total	Nbre/mvt	Mvt/km	Note_mvt
Trait de côte (total 22, 29 et 35)		2084,22							
Falaises rocheuses et meubles	Roches granitiques	406,80	34,20	10,90	7,50	459,40	362	0,79	1
	Roches métamorphiques	233,36	12,68	7,65	8,01	261,70	633	2,42	2
	Roches métamorphiques basiques	19,83	0,55	0,31	2,74	23,43	101	4,31	3
	Roches sédimentaires (schisto-gréseuses)	121,76	6,14	3,60	25,29	156,79	514	3,28	2
	Roches de type grès armoricain	61,33	0,84	0,88		63,05	130	2,06	2
	Roches volcano-sédimentaires	14,25	0,32	-	-	14,57	54	3,71	3
	Roches plutoniques à volcaniques basiques	24,00	1,48	0,00	8,02	33,50	76	2,27	2
	Roches volcanites et métavolcanites acides	10,72	0,22	-	-	10,94	12	1,10	1
	Roches quartzitiques (ou localement mylonitiques)	0,40	-	-	-	0,40	6	15,00	20
	Filons rocheux	22,90	1,88	0,54	2,40	27,72	133	4,80	5
Dépôts de pente (colluvions aux alluvions)		75,64	-	92,25	-	167,89	554	3,30	2

*Illustration 73 : Tableau d'attribution des notes en fonction de la densité de mouvements de terrain (nombre de mouvements de terrain par kilomètre linéaire pour chaque formation géologique littorale).*

On remarque que les hétérogénéités latérales dans les falaises comme la présence de filons qui soient basiques (c'est-à-dire en érosion négative) ou acides (c'est à dire en érosion positive) sont des lieux propices à la genèse de mouvements de terrain, comme pour les roches quartzitiques à localement mylonitiques.

## La densité de cavités

La note correspondant à la densité de cavités par kilomètre linéaire pour chaque formation géologique littorale, le même schéma que ceux cités ci-dessus, a pu être appliqué.

Avec une répartition relativement homogène, la densité de cavités (nombre de cavités par kilomètre linéaire pour chaque formation géologique littorale) permet l'attribution d'une note s'étalant de 1 à 5 (de faible à élevée respectivement) :

- la note de 1 (faible) est attribuée aux formations géologiques telles que les roches granitiques, métamorphiques, métamorphiques basiques, plutoniques à volcaniques basiques et les dépôts de pente ;
- de 2 pour les roches sédimentaires (schisto-gréseuses) et volcano-sédimentaires ;

- de 3 pour les filons rocheux basiques comme acides ;
- et enfin de 5 pour les roches de type grés armoricain.

		altéré	en érosion	altéré en éro	Total	Nbre/cav	Cav/km	Note_cav	
	Trait de côte (total 22, 29 et 35)	2084,22							
Falaises rocheuses et meublées	Roches granitiques	406,80	34,20	10,90	7,50	459,40	398	0,87	1
	Roches métamorphiques	233,36	12,68	7,65	8,01	261,70	227	0,87	1
	Roches métamorphiques basiques	19,83	0,55	0,31	2,74	23,43	18	0,77	1
	Roches sédimentaires (schisto-gréseuses)	121,76	6,14	3,60	25,29	156,79	244	1,56	2
	Roches de type grés armoricain	61,33	0,84	0,88		63,05	355	5,63	5
	Roches volcano-sédimentaires	14,25	0,32	-	-	14,57	24	1,65	2
	Roches plutoniques a volcaniques basiques	24,00	1,48	0,00	8,02	33,50	19	0,57	1
	Roches volcanites et metavolcanites acides	10,72	0,22	-	-	10,94	1	-	-
	Roches quartzitiques (ou localement mylonitiques)	0,40	-	-	-	0,40	1	-	-
	Filons rocheux	22,90	1,88	0,54	2,40	27,72	62	2,24	3
	Dépôts de pente (colluvions aux alluvions)	75,64	-	92,25	-	167,89	55	0,33	1

Illustration 74 : Tableau d'attribution des notes en fonction de la densité cavités (nombre de cavités par kilomètre linéaire pour chaque formation géologique littorale).

Les résultats de cette étude sur la formation de cavités ou de sous cavage littoraux, corroborent les résultats déjà connus des inventaires des cavités souterraines départementaux (Schroetter et Peyras, 2010).

Ainsi les filons rocheux acides comme basiques montrent qu'ils sont propices à l'érosion différentielle, et que la formation géologique des roches de type grés armoricain qui bénéficie d'un inventaire précis, réalisé par les aires marines protégées, et qui avait été intégré à l'inventaire départemental des cavités souterraines des départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère, est une formation géologique qui en milieu littoral, génère des cavités dont les taille peuvent être importantes comme celles de la presqu'île de Crozon (Schroetter et Peyras, 2010).

#### 4.2.4. La prédisposition à l'érosion des falaises littorales

La note finale de prédisposition à l'érosion des formations géologiques littorales des départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère, est la moyenne arithmétique de l'ensemble de ces notes explicitées ci-dessous (Illustration 75).

Ainsi cette **note finale de prédisposition à l'érosion des côtes rocheuses** des départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère, montre que les familles de roches avec une faible prédisposition à l'érosion (**note finale de 1**) sont les roches de la famille des **granites**, les roches **métamorphiques** (gneiss, micaschistes etc.), les **volcanites** et **méta-volcanites acides**.

Ces trois formations géologiques sont suivies par aussi trois familles de roches (**note finale égale à 2**) : les roches de la famille des roches **métamorphiques basiques**, les roches de **type grés armoricain** et les roches **volcano-sédimentaires**.

Les familles de roches avec une **note finale de 3** soit une prédisposition à l'érosion moyenne sont les **roches sédimentaires (schisto-gréseuses)** et les roches **plutoniques à volcaniques basiques**.

Les roches créant un contraste important avec les roches avoisinantes de parts leur nature et leur géométrie sont les roches **quartzitiques localement mylonitiques** et les **filons rocheux**, qui génèrent une **note finale de 4**.

Enfin, les **dépôts de pente (des colluvions aux alluvions)**, qui localement peuvent atteindre des hauteurs de falaises de 10 m, ont **la note finale la plus élevée de 5**. Cette

formation géologique littorales qui constitue le trait d'union mécanique mais géomorphologique entre les côtes rocheuses s.s. et les côtes meubles s.s., est la formation géologique littoral « à falaises », ayant les prédisposition à l'érosion la plus importante (Illustrations 75 et 76).

		en km	altéré	en érosion	altéré en érosion	Total	Moyenne	Note finale
Falaises rocheuses et meubles	Trait de côte (total 22, 29 et 35)							
	Roches granitiques	406,80	34,20	10,90	7,50	459,40	1,5	1
	Roches métamorphiques	233,36	12,68	7,65	8,01	261,70	1,8	1
	Roches métamorphiques basiques	19,83	0,55	0,31	2,74	23,43	2,5	2
	Roches sédimentaires (schisto-gréseuses)	121,76	6,14	3,60	25,29	156,79	3,0	3
	Roches de type gres armoricain	61,33	0,84	0,88		63,05	2,3	2
	Roches volcano-sédimentaires	14,25	0,32	-	-	14,57	2,0	2
	Roches plutoniques a volcaniques basiques	24,00	1,48	0,00	8,02	33,50	3,3	3
	Roches volcanites et metavolcanites acides	10,72	0,22	-	-	10,94	1,0	1
	Roches quartzitiques (ou localement mylonitiques)	0,40	-	-	-	0,40	5,0	4
	Filons rocheux	22,90	1,88	0,54	2,40	27,72	4,0	4
	Depots de pente (colluvions aux alluvions)	75,64	-	92,25	-	167,89	7,7	5

Illustration 75 : Note finale de prédisposition à l'érosion des formations géologiques littorales des départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère.

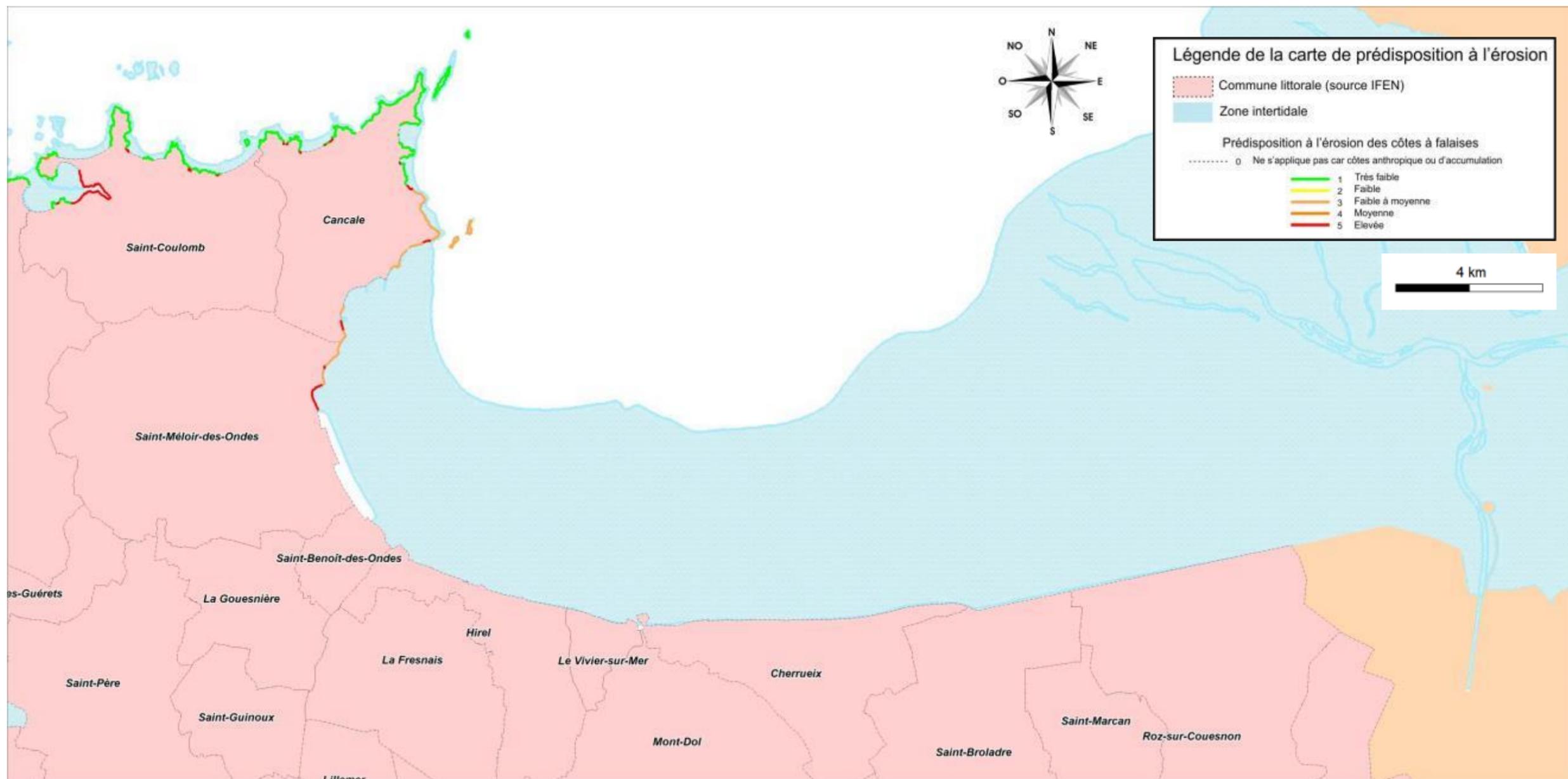


Illustration 76 : Note finale de prédisposition à l'érosion des côtes à falaises du compartiment C1

### 4.3. LES COTES D'ACCUMULATION

La caractérisation et l'évolution du trait de côte sur les côtes sédimentaires du linéaire côtier des départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes-d'Armor et du Finistère, ont été réalisés pour une période semi-séculaire comprise entre 1950 et 2009. Ce travail a été réalisé par Emmanuel Blaise (BREST, UBO, IUEM), dans le cadre de son travail de doctorat, supervisé par le professeur Serge Suanez.

#### 4.3.1. INTRODUCTION

L'analyse des parties de côtes d'accumulation du linéaire côtier des trois départements, a porté sur deux objectifs principaux :

- la caractérisation morpho-sédimentaire de ces côtes meubles ;
- et leur évolution littorale (accrétion, érosion, submersion marine) pour les périodes comprises entre 1949-2007 pour l'Ille-et-Vilaine, 1950-2008 pour les Côtes-d'Armor et 1952-2009 pour le Finistère.

Les seules données existantes, traitant de la cinématique du trait de côte à l'échelle de la région Bretagne, étaient celles du programme EROCOVUL (HENAFF *et al.*, 2006) et qui portait sur la période 1998-2003. Hélas, EROCOVUL ne renseignait que 30% du linéaire breton, et montrait que 22% de celui-ci était en érosion, 72% était stable, et que 6% était en accrétion. Mais malgré la synthèse de nombreuses études ponctuelles, il était difficile de faire une synthèse régionale car les méthodes d'analyse et/ou les indicateurs morphologiques du trait de côte utilisés pouvaient être très différents d'une étude à l'autre.

Ainsi, il nous est apparu donc nécessaire de mettre en place une méthode homogène à toutes les plages des trois départements.

La quantification de l'évolution du trait de côte des côtes meubles s'est faite pour une période moyenne identique (sur les soixante dernières années), au linéaire côtier à traiter, fonction de la disponibilité des campagnes de photographies aériennes et de leurs qualités.

Deux missions de photographies aériennes ortho-rectifiées pour les périodes comprises entre 1949-2007 pour l'Ille-et-Vilaine, 1950-2008 pour les Côtes d'Armor et 1952-2009 pour le Finistère, ont été utilisées.

La première partie du travail a consisté à établir une classification des différents types de cotes sédimentaires en fonction de la morphologie et de la nature du matériel de ces dernières. Dans un second temps, il s'est agi de définir un (ou des) indicateur(s) permettant de définir la limite du trait de côte en fonction des caractéristiques morpho-sédimentaires du milieu. Enfin, le travail de numérisation et de quantification de la cinématique du trait de côte a été réalisé sous arc gis en suivant un protocole méthodologique aujourd'hui bien connu (Dolan *et al.* 1978 ; Cromwell *et al.* 1991 & 1997 ; Shosha *et al.* 1992 ; Fente *et al.* 1993 ; Douglas *et al.* 1998 ; Moore, 2000). Dans le cadre de cet article, nous ne présenterons que les résultats obtenus pour le département du Finistère.

#### 4.3.2. MÉTHODOLOGIE

##### **Typologie des différents types de côte sédimentaires**

Afin d'avoir des critères de comparaison de l'analyse des différentes côtes d'accumulation, il a été nécessaire de créer une typologie des côtes basses qui s'est appuyé sur :

- une typologie préliminaire réalisée à l'aide de l'outil d'archives photographiques *Panoramio* disponible via le portail *Google Earth* ;
- les données photographiques acquises par le BRGM Bretagne dans le cadre de cette présente étude pour la validation de la typologie préliminaire ;
- et des validations-terrains finales lorsque s'était nécessaire.

Cette typologie a pris en compte plusieurs critères morpho-sédimentaires :

- l'exposition de la plage : plages de fond de baie, plages ouvertes, d'estuaire ou de poche (Illustration 77) ;
- un critère sédimentologique : plages de galets, plages de sables ou plages mixtes (sables et galets) ;
- et enfin un dernier critère morphologique tel que plages adossées (à une falaise), cordons dunaires, formes fuyantes (flèches de sables et de galets, tombolos), etc. (Illustration 77).

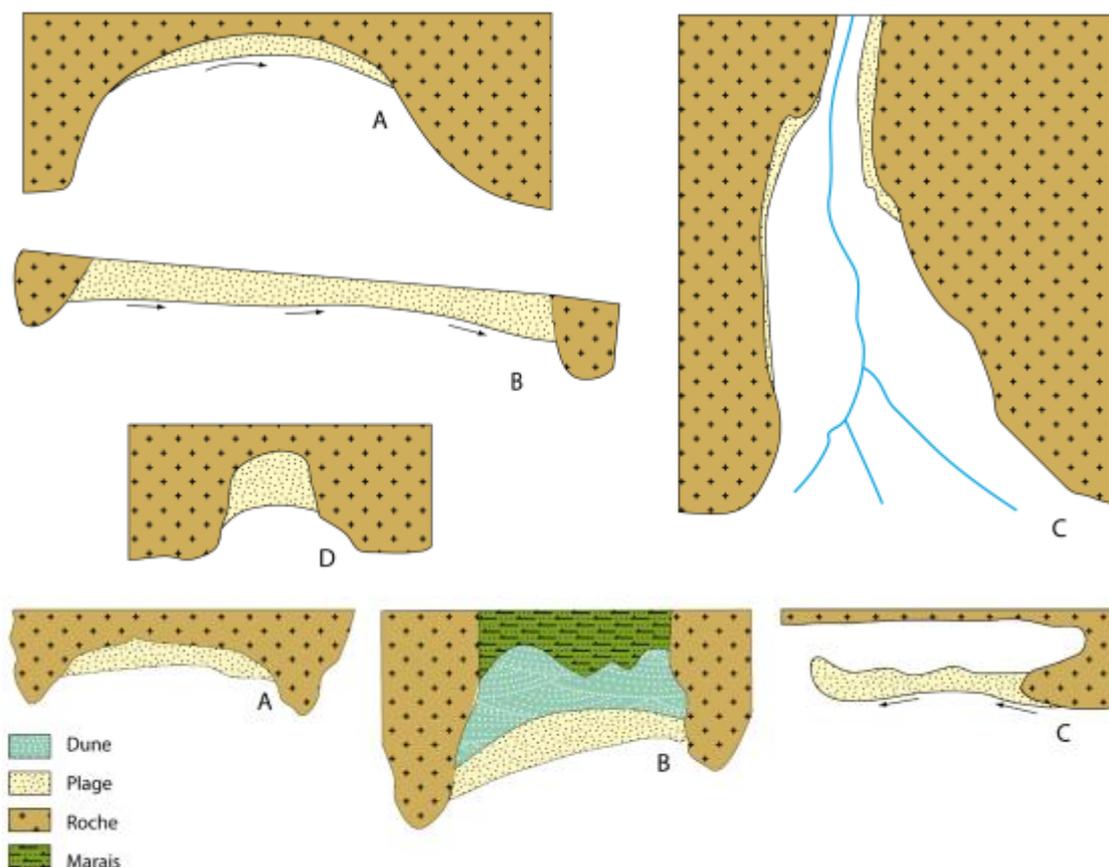


Illustration 77 : En haut : physionomie des plages selon l'exposition : A. plage de fond de baie – B. plage ouverte – C. plage d'estuaire – D. plage de poche ; En bas : Physionomie des plages selon la morphologie : A. plage adossée – B. cordon dunaire – C. forme fuyante.

### Choix d'une ligne de référence

En géomorphologie, le trait de côte repose obligatoirement sur une limite physiographique « fixe » que l'on peut suivre dans le temps et dans l'espace.

Néanmoins, cette limite diffère en fonction du type de côte et du contexte marégraphique. De très nombreuses études portant notamment sur l'analyse de la cinématique du trait de côte ont proposé un très large éventail de ligne de référence pouvant être classées en trois grandes familles que sont les indicateurs morphologiques, biologiques, et la position des différents niveaux d'eau (BOAK & TURNER, 2005).

Pour un travail uniforme, de typologie de plages en typologie de plages, une limite du trait de côte adaptée a été prise pour chaque environnement littoral.

La limite de végétation dunaire a été retenue pour les cordons dunaires, qui peut correspondre, soit au sommet de l'escarpement de falaise lorsque la dune est érodée, soit à la limite des dunes embryonnaires de haut de plage lorsque le système plage/dune est en accrétion (Illustration ci-dessous).

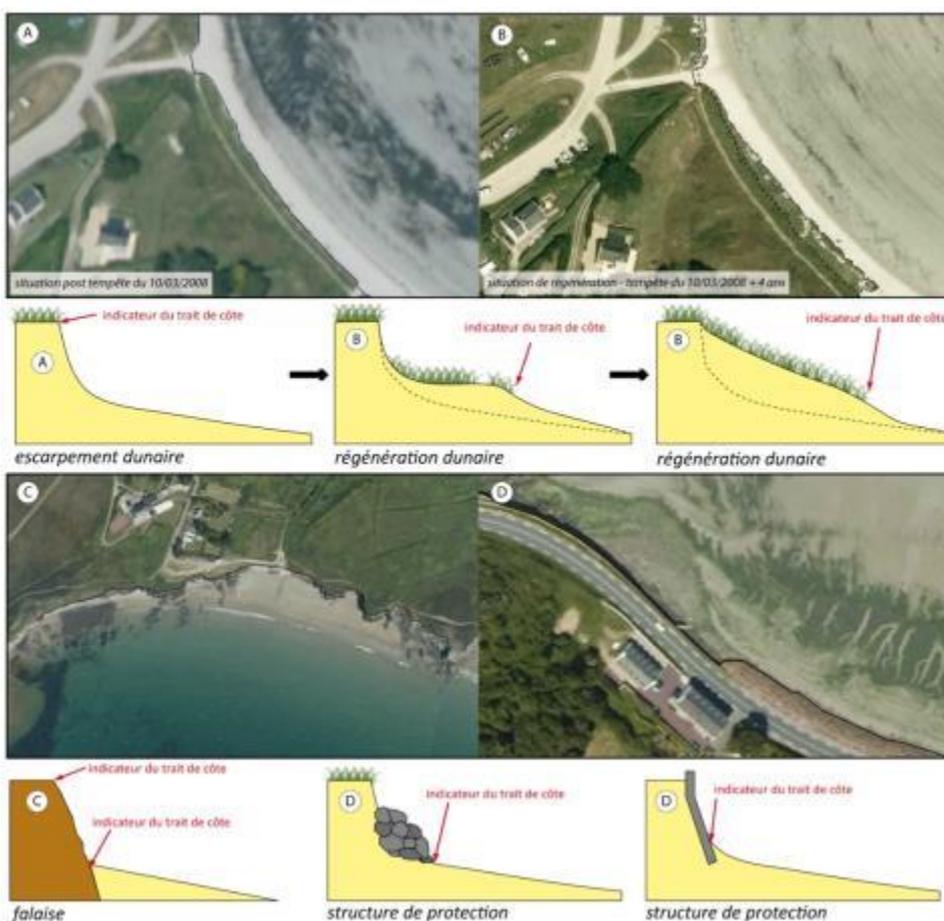


Illustration 78 : Limite de trait de côte retenue : A et B. limite de la végétation dunaire – C. sommet ou pied de falaise – D. pied de l'aménagement de protection.

La limite de végétation constitue la limite la plus pertinente pour l'étude de la dynamique du trait de côte en milieux dunaires en milieu macro tidal, ceci notamment en raison du contraste élevé et perceptible entre le sable (clair) et la végétation (sombre) sur les photographies aériennes (Moore *et al.*, 1999 ; Priest, 1999 ; Boak & Turner, 2005). D'autres

parts, la végétation saisonnière quasi invisible sur les photographies aériennes anciennes, est facilement dissociable de la végétation pérenne sur les ortho-photographies de 2009.

La végétation supra littorale a été choisie pour les cordons de galets "végétalisés" ainsi que pour les crêtes sommitales falaises meubles. Pour les falaises rocheuses, le pied de falaise ou le haut de falaise (suivant le contraste et l'exposition de l'ortho-photographie de 1952) ont été retenues. Pour les formes fuyantes mobiles telles que les flèches de galets à pointe libre, c'est le pied du revers qui a été choisi (Stéphan, 2011). Pour finir, lorsque le trait de côte était fortement anthropisé, le contact entre la plage et l'ouvrage a été retenu (Moore *et al.*, 1999) (Illustration 78).

### **Outil utilisé pour l'évolution du trait de côte**

La digitalisation du trait de côte a été réalisée à même l'écran à l'aide du logiciel ArcGIS d'ESRI, à partir de deux séries d'ortho-photographies IGN (missions de mai à juin 1952 et de mai 2009) référencées en Lambert 93 (Illustration 79). Les marges d'erreur inhérentes à l'ortho-correction et au géo-référencement des photographies aériennes, ainsi qu'à la digitalisation du trait de côte, ont été estimées à +/-5 m.

Année	Département	Nature
1949	35	Photographie aérienne noir et blanc ortho-rectifiée -IGN
1950	22	Photographie aérienne noir et blanc ortho-rectifiée -IGN
1952	29	Photographie aérienne noir et blanc ortho-rectifiée -IGN
2007	35	Ortho-photographie couleur IGN
2008	22	Ortho-photographie couleur IGN
2009	29	Ortho-photographie couleur IGN

*Illustration 79 : Campagnes photographiques disponibles.*

L'analyse quantitative du trait de côte a été réalisée à l'aide de l'extension ArcGIS, *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*, développé par l'USGS (Douglas *et al.*, 1998 ; Moore, 2000 ; Thieler *et al.*, 2009). Le principe de cette extension est de mesurer les évolutions entre les différentes positions des traits de côte grâce à une série de transects orthogonaux à la plage, disposés le long d'une « ligne de base ».

Les paramètres de construction des transects (longueur, direction et espacement) sont définis par l'opérateur. Cela permet de comparer des changements de position des traits de côte en un grand nombre de points de façon automatique.

L'espacement des transects choisi pour cette analyse est de 50 m. Cette valeur est celle de départ ; il est possible que certains transects aient été espacés ou rapprochés suivant la pertinence de leur position automatique (Illustration 80).

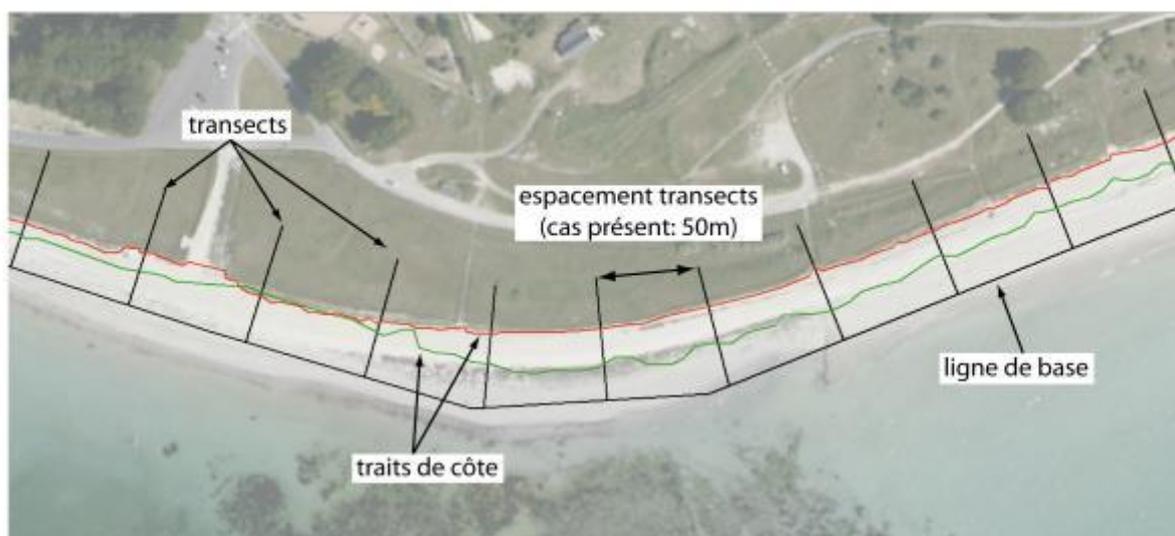


Illustration 80 : Principe du Digital Shoreline Analysis System.

### Nombre de plages par compartiments

La typologie présentée ci-dessus, a permis d'inventorier les plages pour chaque compartiment mais aussi de les classer entre elles. Il est possible d'établir pour chaque compartiment, le bilan ci-dessous (Illustration 81).

Le compartiment C1 : baie du Mont-Saint-Michel possède 6 plages sur sa façade maritime, dont la raison principale est la présence d'une structure anthropique qui « artificialise » le trait de côte à près de 99 % des côtes d'accumulation ou meubles.

compartiment	nombre de plages par compartiment	linéaire côtier total, par compartiment (m)	linéaire côtier renseigné, par compartiment (m)	% du linéaire renseigné par rapport au linéaire total
C1	6 plages	39094	63003	62.05%
C2	61 plages	35199	369960	9.51%
C3	62 plages	45779	287151	15.94%
C4	110 plages	56160	505905	11.10%
C5	45 plages	20876	95833	21.78%
C6	134 plages	89662	346084	25.91%
C7	40 plages	296689	563828	52.62%
C8	16 plages	30475	101226	30.11%
C9	60 plages	49529	386674	12.81%
TOTAL	534	663463	2719664	

Illustration 81 : Synthèse du linéaire côtier de la zone d'étude.

#### 4.3.3. CINÉMATIQUE DU TRAIT DE CÔTE DU COMPARTIMENT C1

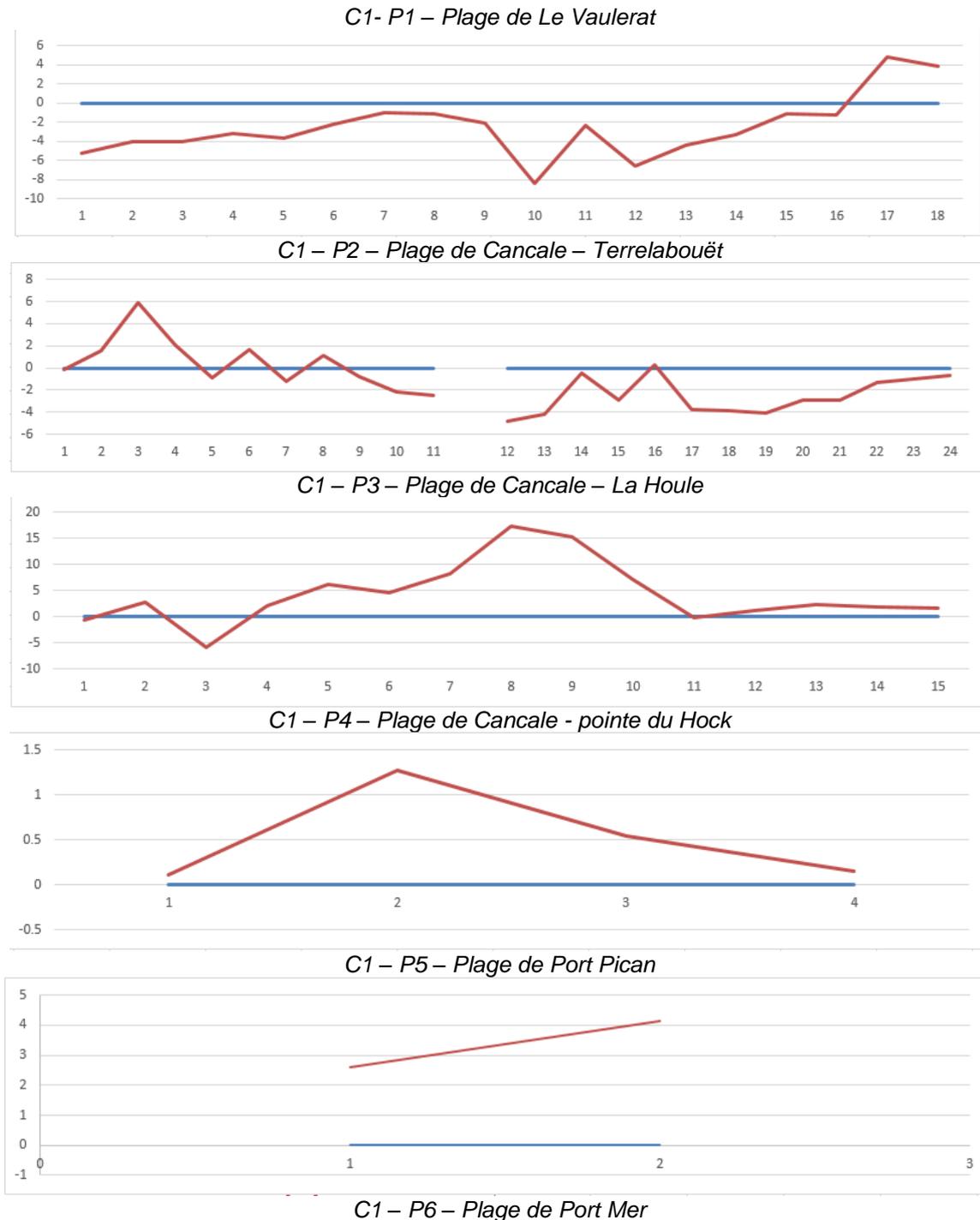
La cinématique du trait de côte a été réalisée par convention d'est en ouest en partant du compartiment C1 le plus à l'est vers le compartiment C9.

Les graphiques ci-dessous illustrent cette cinématique du trait de côte, où les nombres en abscisse correspondent à la position de chaque transect (espacés de 50 m) perpendiculaires à la plage et les chiffres en ordonnées au recul ou avancé du trait de côte (en m).

Le trait de couleur « bleu » correspond au trait historique (de 1949) alors que celui rouge correspond au trait subactuel (ici de 2007).

Seule plage du Vaulerat n'a pas son trait de côte anthropisé. La tendance observée est celle de l'érosion (C1-P1, Illustration 82).

Cette plage est située au sud de Cancale et adossée à une falaise rocheuse (C1-P1, Illustrations 82 et 83). Les autres plages par leur anthropisation ont des tendances à la stabilité ou à l'accrétion en amont de structures.



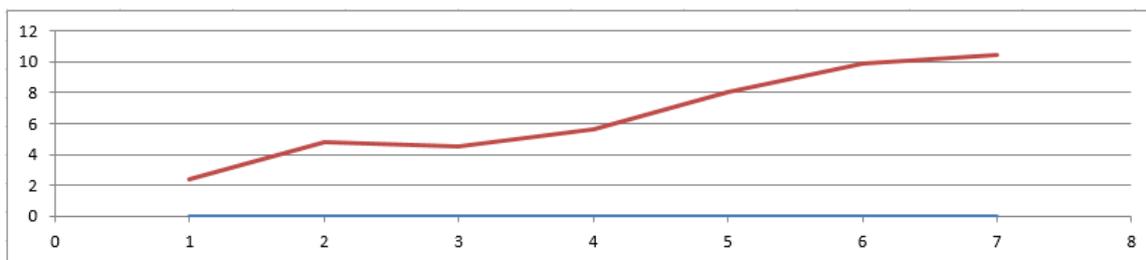


Illustration 82 : Cinématique du trait de côte pour les plages du compartiment C1.

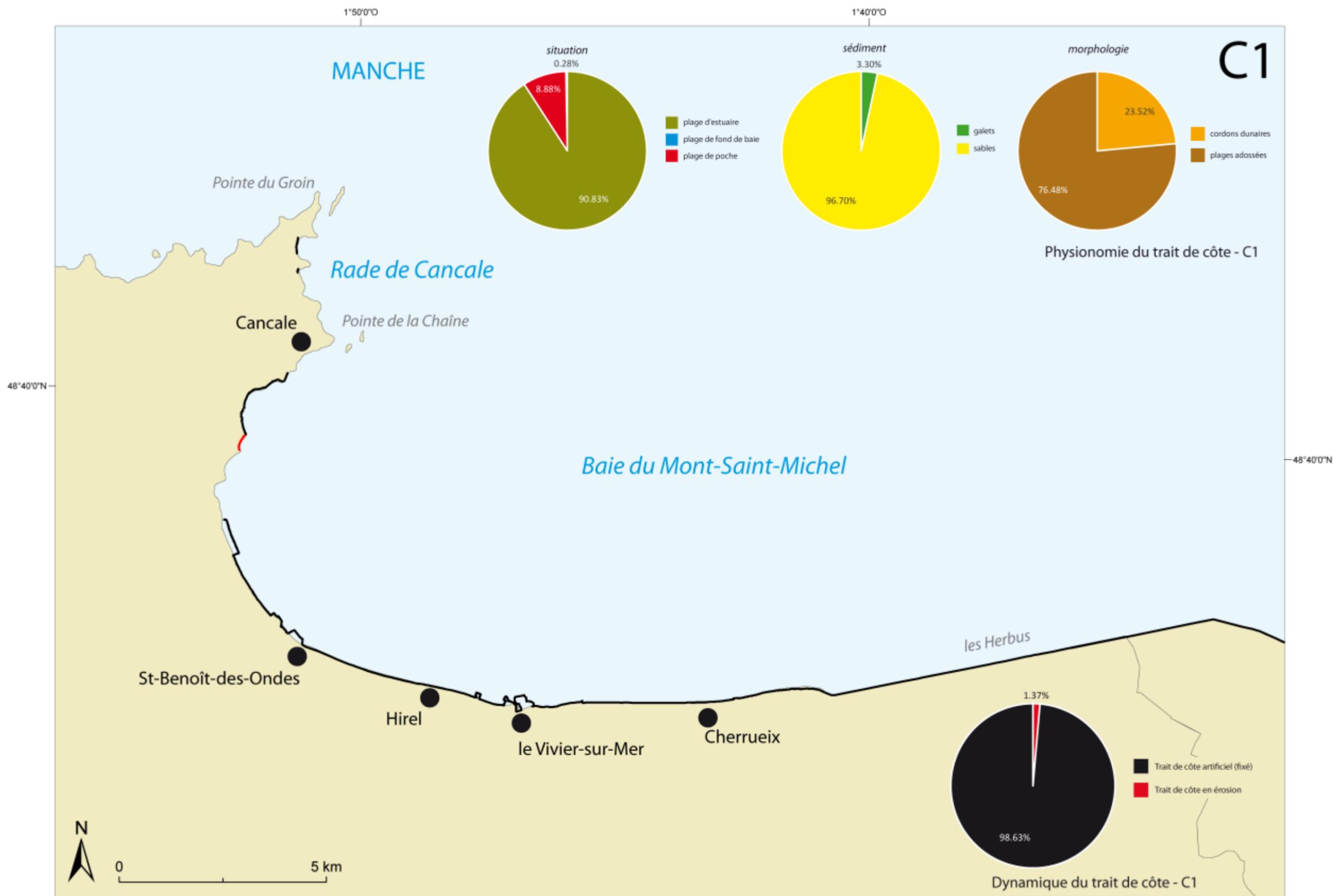


Illustration 83 : Synthèse de la géomorphologie des côtes meubles du trait de côte du compartiment C1



## 5. Évènements tempétueux dommageables

### 5.1. INTRODUCTION

L'une des étapes dans la réalisation de cet atlas consistait en la création et la synthèse l'utilisation d'une base de données des événements tempétueux dommageables.

Trois sources principales ont alimentées cette base de données : la base de données du BRGM, créée dans le cadre de ce projet (BD BRGM), la base de données de l'UBO (BD UBO) et une base de données réalisée dans le cadre de l'établissement des Plans de Prévention des Risques Littoraux de Bretagne (Marais de Dol de Bretagne, Baie de Saint-Brieuc et de la commune de Saint-Malo).

Quatre étapes distinctes, ont été nécessaires :

1. La première étape de révision de la Base de données de l'UBO, par un travail (1) d'uniformisation avec la BD BRGM, (2) de correction des erreurs (fautes d'orthographe, doublons éventuels, etc.) et (3) de géoréférencement d'évènements complémentaires (500 environ) ;
2. La seconde étape a été : à partir de l'inventaire des événements de tempêtes réalisés dans le cadre des PPRL, de (1) créer une base de données, structurée sur celle du BRGM, et (2) de géoréférencer les points extraits (380 points environ) ;
3. La troisième partie, a été de compiler ces trois sources de données et enfin d'en faire l'analyse statistique et de faire ressortir des éléments pouvant être exploités dans la construction de l'atlas des aléas littoraux.
4. Enfin, la quatrième étape, a été de réaliser des fiches synthétiques, des principaux événements tempétueux.

### 5.2. METHODOLOGIE

#### 5.2.1. La Base de Donnée de l'UBO (Université Bretagne Occidentale)

La base de données fournie au BRGM en provenance de l'UBO, n'avait pas de coordonnées géographiques. Cependant, il a été possible de récupérer une version antérieure à cette base de données, géoréférencée (fournie par la DDTM 29), et le première tâche a été de faire le lien entre les deux bases de différentes versions et d'en extraire les événements qui n'avait toujours pas de coordonnées géographiques, afin de leur attribuer une localisation.

#### ***Pointage des événements sans coordonnées.***

Le géoréférencement s'est fait sous SIG, à partir des cartes IGN au 1/25 000 (BD Scan25-IGN) et en s'appuyant sur des sites internet libre d'imagerie spatiale (Google Earth, Bing, Géoportail etc.). 492 points ont été ainsi localisés sur les 1994 de départ.

#### 5.2.2. Les événements recensés lors de PPRL

Le PPRL de Saint-Malo, contenait plus 70 tempêtes et 109 événements enregistrés, celui du Marais de Dol de Bretagne, 90 événements de tempêtes s'étant déroulés entre le 25 décembre 1081 et le 25 avril 1951, et enfin celui de la baie de Saint-Brieuc 106 événements entre le 18 août 1773 au 28 février 2010.

Chaque événement a été localisé et intégré dans la base de données selon un format prédéfini.

### 5.2.3. Création d'un format pour une base de données commune

Lors de différents comités techniques, il a été décidé d'attribuer différents champs attributaires (champs d'information) aux événements recensés. En fonction des différents partenaires, le BRGM a créé les champs listés ci-dessous (Illustration 84).

Ces champs sont regroupés en fonction de différentes thématiques, telles que : Etat de la mer (coefficient de marée, niveau théorique de la mer au moment de l'évènement, surcote), Météo (vitesses des vents, direction, pression atmosphérique etc.), Aléa et facteur (description de l'évènement : érosion, submersion, forte houle etc.), ou encore Localisation (Département, commune, compartiment etc.).

Certains champs peuvent paraître redondants mais ils ont été maintenus car ils correspondent à des champs des bases de données originelles. Deux champs synthétiques ont été créés celui :

- **Aléa\_interprété** sur lequel il est facile de faire une analyse thématique et contenant la typologie de l'Aléa : Erosion, submersion marine, crue et submersion, naufrages en mer, à quai etc. ;
- et celui **Localisation\_description** qui contient une description très précise de la localisation de l'impact avec une description précise des dégâts.

<b>Identifiant</b>	<b>Incrément</b> : Numéro de ligne de l'événement en question
<b>Tri par localisation</b>	<b>XL2E V78Paris et YL2E V78Paris</b> : Coordonnées Lambert 2 Etendu (Base BRGM)
	<b>XL93Euro et YL93Euro</b> : Coordonnées Lambert 93 (Base BRGM)
	<b>Prec Taille Obj en m</b> : Taille de l'objet ayant subi des dégâts (Base BRGM)
	<b>Obj Prec</b> : Objet ayant subi des dégâts (Base BRGM)
	<b>Insee</b> : Numéro INSEE
	<b>Comm</b> : Nom de la commune
	<b>Depart</b> : Département
	<b>Compart</b> : Numéro du compartiment (Base BRGM)
<b>Localisation précise et Dégâts</b>	<b>Localisation_description</b> : Localisation précise de l'événement sur la commune (Base BRGM)
<b>Qualité de la donnée</b>	<b>Qualité</b> : Qualité des informations au sujet de l'événement (numéro entre 1 et 4, 1 bonne qualité et 4 moins bonne qualité) (Base BRGM)
<b>Aléa et facteur</b>	<b>Aléa interprété</b> : Type de l'aléa selon une nomenclature établie par le BRGM (Aménagements, Crues, Éolien/Crues, Érosion, Érosion/Naufage au mouillage, Naufage, Naufage au mouillage, Naufage en mer, Submersion, Submersion/Crues, Tempête)(Base BRGM)
	<b>Facteur Origine</b> : Facteur à l'origine de l'événement (Base UBO)
	<b>Type Facteur</b> : Marin ou météorologique, ou les deux (Base UBO)
	<b>Facteur</b> : Caractérise l'événement (Base UBO)
	<b>Description_dégâts</b> : Description des dégâts occasionnés par l'événement (Base UBO)
	<b>Type dégâts</b> : Selon une certaine dénomination (Dégâts côtiers, Submersion etc.)(Base UBO)
	<b>Infra_mise_en_danger</b> : Infrastructure ayant subi des dégâts ou étant menacé à la suite de l'événement (Base UBO)
<b>Date</b>	<b>Jour, mois, année</b> : Date, plus ou moins précise de l'événement (Base BRGM)
<b>Météo</b>	<b>Durée tempête en jour</b> : Durée de l'événement si elle dépasse un jour.
	<b>Direction_vent</b> :
	<b>Vitesse_vent_km_h</b> : Vitesse ou force du vent si la vitesse n'est pas clairement énoncé.
	<b>Vitesse_vent_m_s</b> :
<b>Etat de la mer</b>	<b>Baromètre_hPa</b> : Pression de l'air en hPa.
	<b>Coefficients_marée</b> : Coefficient le plus haut sur la durée de la tempête.
	<b>Hauteur_mer</b> : Hauteur de mer théorique la plus importante sur la durée de la tempête.
	<b>Surcôte_m</b> : Hauteur de la surcôte du niveau de la mer.
<b>Dégâts, coûts et victimes</b>	<b>Houle_vague</b> :
	<b>Dégâts (?)</b> :
	<b>Coûts</b> : Coûts des dégâts dans la monnaie de l'époque.
<b>Traçabilité</b>	<b>Nb_victimes</b> :
	<b>Contexte_étude</b> : ATLAS BRGM
	<b>Auteur</b> : Nom et Prénom de la ligne
	<b>Travail_harmo</b> : Personne(s) ayant également travaillé sur les données.
<b>Sources des données</b>	<b>o_ou_n</b> : Fiche oui ou non
	<b>Sources</b> : De 1 à 10 sources pour les informations de la ligne.

Illustration 84 : Champs créés pour chaque événement tempétueux dommageable : à gauche : leur thématique, à droite : le nom de chaque champ.

#### 5.2.4. Établissement de fiches récapitulatives

Pour synthétiser les données, les événements tempétueux dommageables sur lesquels il y avait le plus de données récoltées ou qui avaient l'impact le plus important, ont été rassemblés sous forme de fiche, regroupant le plus d'information possible de l'événement.

Une fiche contient :

1. une partie purement informative sur la date, les communes impactées avec une carte, l'auteur de la fiche et la date de réalisation ;
2. une deuxième partie sur les conditions de la tempêtes quand elles étaient disponibles : Température, direction et vitesse du vent, pression, et enfin le coefficient de marée ;

3. une troisième partie sur les dégâts de la tempête : détails des dégâts par communes, coût et victimes éventuelles ;
4. et une dernière partie sur les sources : regroupement de toutes les sources (journaux, rapports, ouvrages, photos) parlant de la tempête.

En prenant les tempêtes avec le plus grand nombres d'événements et des sources convenables (quantitativement), on a ainsi pu établir 27 fiches donc 27 tempêtes pour la Bretagne mais où à chaque tempête correspond plusieurs évènements et sur plusieurs communes.

### **5.3. ANALYSE DES RESULTATS**

La base de données ainsi constituée permet de faire une analyse des données en exploitant l'ensemble des champs attributaires créés. La base de données sous Système Géographique d'Information (SIG), peut être exportée sous Excel, pour un analyse statistique plus souple. et de dégager des tendances sur les tempêtes.

#### ***Analyse temporelle des évènements de tempêtes :***

L'analyse temporelle à l'échelle historique est difficilement décriptable (Illustration 85 en haut). Plus le temps passe, et plus les moyens technologiques évoluent et plus certainement, il existe de l'information sur les évènements de tempêtes. Le pic de la période 2000-2009 est dû à la tempête Johanna du 10 mars 2008 qui a été extrêmement bien répertoriée, mais aussi à la prise de conscience des populations sur les changements climatiques grandement médiatisés. Si on regarde la répartition de plus près ; on remarque qu'il existe des périodes entières dépourvues de tempêtes. Elles peuvent correspondre à une documentation inexistante ou perdue, à une période de guerre où l'homme avait d'autres préoccupations comme la Révolution Française, les Première et Deuxième Guerres Mondiales. En effet, le nombre de tempêtes diminue pendant les deux grandes et augmente entre chacune d'entre-elles.

Si l'analyse temporelle se fait à l'échelle de l'année, on remarque cette fois que les tempêtes surviennent surtout en automne et hiver, que les périodes printanières et estivales sont globalement épargnées. Les précipitations étant plus importantes en automne et hiver ; montre que c'est la période où la Bretagne est soumise aux agents météo-marins en provenance de l'Atlantique. Ainsi la mer doit aussi être plus impétueuse, et les pressions plus susceptibles de baisser durant ces saisons. On remarque que la fin de l'hiver comporte le plus de tempêtes, ce qui correspond aux périodes de l'année enregistrant les plus fortes variations climatiques Une analyse peut être faite aussi en relation avec des niveaux marins élevés soit due à la marée soit due à une dépression atmosphérique ou à la conjoncture des deux (Illustration 85).

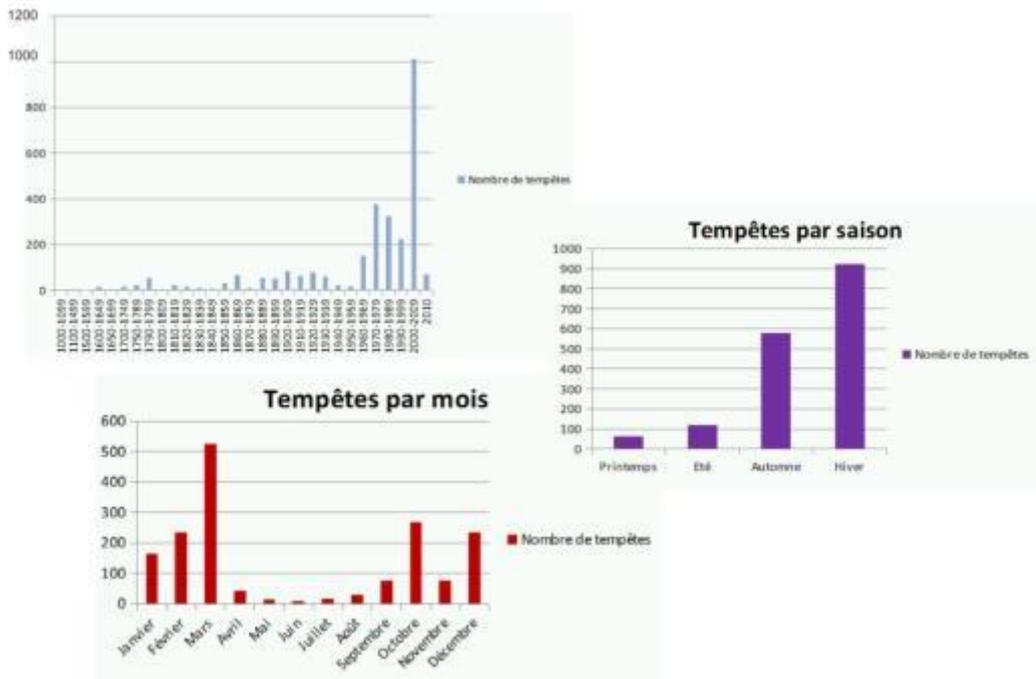


Illustration 85 : En haut : nombres de tempêtes par décennie ; à droite : nombre de tempêtes par saison enfin en bas : Nombre de tempêtes par mois de d'année par compartiments.

**Analyse spatiale des évènements de tempêtes :**

L'analyse spatiale montre que le nombre de tempête est plus important dans le Finistère que dans les autres départements. Mais une analyse plus poussée serait de faire des rapports nombre d'évènements et longueur de côtes (d'exposition). De plus, il est possible que la sensibilité aux agents météo-marins dans le Finistère, par ses habitants, soit plus importante d'ailleurs. On peut cependant dire que les compartiments 1 et 3 semblent peu touchés par rapport à leur taille. Ces deux compartiments n'ont pas d'exposition directe sur l'océan Atlantique. Les compartiments les plus exposés semblent être ceux du Finistère Nord et Sud (Illustration 86).



Illustration 86 : En haut : nombre de tempêtes par département, en bas : nombre de tempête.

Enfin, pour l'analyse en fonction des types d'aléas (Illustration 87), l'aléa érosion prédomine nettement sur celui de l'aléa submersion. En effet, l'aléa submersion est certainement plus possible pendant une période où il existe un haut niveau marin de marée c'est-à-dire environ 4 fois dans l'année, il est donc intéressant et possible d'ajouter un facteur temporel à cette analyse.

On remarque alors que la plupart des érosions et submersions enregistrées se sont produites après 1950.

L'évolution de la société vers une société des loisirs avec l'arrivée des congés payés, à entrainer une évolution de l'urbanisation. L'urbanisation et l'augmentation de la population ont fait que les populations se sont installées plus près des côtes, dans les zones parfois inondables ou exposées à des tempêtes. Ainsi certainement avant les 50, les hommes prenaient la mer pour gagner leur vie et les aléas ont été plus des naufrages en mer, naufrages au mouillage et autres naufrages que des dégâts côtiers. L'activité côtière de la Bretagne était principalement la pêche, ce qui impliquait de plus nombreux bateaux, et plus souvent en mer, donc plus de risque de naufrages. Et après 1950, l'activité de l'industrie de la pêche a commencé à baisser et les bateaux sont devenus de plus en plus sûrs.

Ainsi après les années 50, les enjeux sont venus s'installer à proximité des aléas, créant des zones à risques.

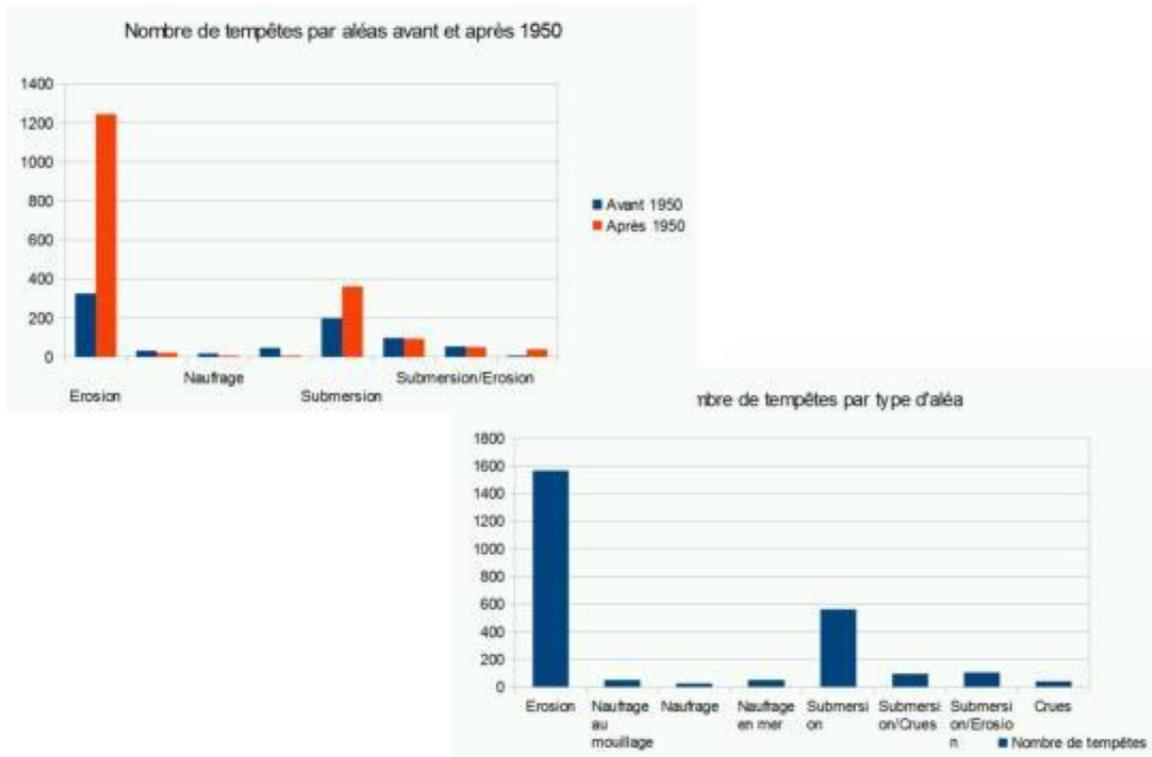


Illustration 87 : En haut : type d'aléa avant et après 1950 : en bas : type d'aléa par tempêtes.

Chaque événement, inventorié et géoréférencé est une occurrence d'un événement lié à un événement climatique ou météo-marin en un lieu précis. Il demeure important de rester prudent sur les résultats, car ils dépendent surtout de la qualité avec laquelle elle a été décrite. Par exemple, la tempête du 10 mars 2008 comporte plusieurs centaines d'occurrences, alors que d'autres événements ne sont relevés qu'en quelques endroits.

#### 5.4. REPARTITION DES EVENEMENTS SUR LE COMPARTIMENT C1

Les événements tempétueux dommageables à la côte ne sont pas pour autant la conséquence des plus fortes tempêtes que la Bretagne ait connue. Ceci est d'autant plus vrai qu'avec son fort marnage, la baie du Mont-Saint-Michel peut exposer son trait de côte aux assauts de la mer que 8 % de l'année (Rhun, 1982).

Les événements qui touchent le compartiment C1 sont essentiellement des événements recensés pour la réalisation du PPRL du Marais de Dol qui ont été recoupés avec la BD de F. Bouttes (CETMEF) et celle du BRGM.

Le PPRL du Marais de Dol répertorie 90 événements de tempêtes s'étant déroulés entre le 25 décembre 1081 et le 25 avril 1951. Les sources proviennent principalement des Archives Départementales d'Ille-et-Vilaine. Ce sont principalement des ouvrages documentaires, des correspondances de dignitaires de l'État, des rapports d'ingénierie, ou encore des articles de journaux. Les données de coefficient de marée proviennent du SHOM.

L'ensemble des événements est localisé sur la digue de la Duchesse-Anne continentale (Illustration 60) dont les communes qui avaient été principalement touchées, étaient Roz-sur-Couesnon, Saint-Brolade et Cherruex. Le lieu-dit de la chapelle Saint-Anne à l'ouest comme à l'Est aurait été un secteur impacté de façon privilégiée.

Les évènements sont au nombre de 163, le plus ancien est autour de 1081 et le plus récent date de 1996.

38 sont des submersions ou submersion/Erosion c'est-à-dire brèche puis inondation par la mer, 113 phénomènes d'érosion et 7 naufrages (Illustration 88).

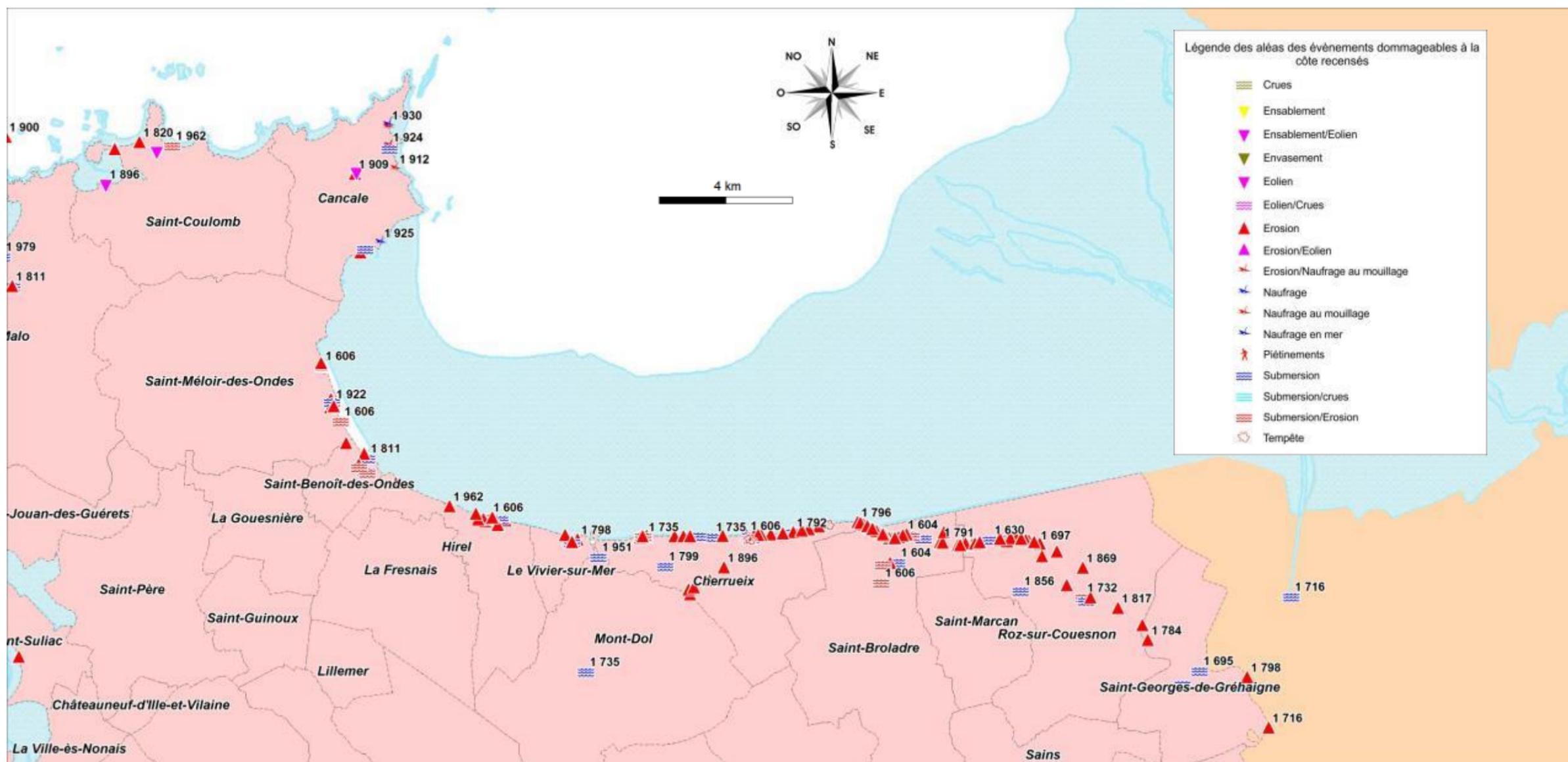


Illustration 88 : Carte synthétique des événements dommageables pour le compartiment C1



## 6. Synthèse & conclusions

L'analyse du compartiment C1 fait ressortir deux éléments importants.

L'ensemble des évènements tempétueux est localisé sur la digue de la duchesse Anne sur sa partie actuellement continentale. Ceci semble montrer que ces évènements devaient certainement être accompagnés de crues du Couesnon, puisque son ancien lit se situait entre son lit actuel et cette fameuse digue. Ainsi la réalisation des polders a pour conséquence de privé les eaux marines comme continentales d'un espace disponible qui pouvaient être occupée lors des crues ou des surcotes. En mettant ici en face des aléas à des enjeux, le niveau de risque en a été élevé.

Le compartiment C1 correspond aux exécutoires de plusieurs cours d'eau dont les principaux que sont la Sélune et le Couesnon. Les estuaires sont des sources de sédiments et d'approvisionnement des estrans. Cependant, au niveau des secteurs où la largeur du cordon littoral endigué se réduit, se superpose les rétrécissements du schorre et la présence des bancs coquilliers de haut estran.

Ces bancs coquilliers actent la présence de forte énergie hydraulique marine qui pourrait faire de ces secteurs des secteurs plus vulnérables en cas de hauts niveaux marins accompagnés de d'évènements tempétueux.



## 7. Bibliographie & Webographie

Arroucau P., 2006, *Sismicité du Massif Armoricaire : relocalisations et interprétation tectonique*, Univ. Nantes, Thèse Doct. Spéc. Géophysique, 230p.

Auffret G.A., 1983, *Dynamique sédimentaire de la Marge Continentale Celtique évolution cénozoïque, spécificité du pléistocène supérieur et de l'holocène*, Thèse Université de Bordeaux I, 381 p.

Bassoulet, P. et al., 2000, Sediment transport over an intertidal mudflat: field investigations and estimations of fluxes within the "Baie de Marennes-Oléron" (France). *Continental Shelf Research* 20, 1635-1653.

Bellessort B., Migniot C., 1979, *Etude de l'envasement des parcs ostréicoles de Cancale*, Rapport général, Lab. Cal d'Hydraulique de France, Maison-Alfort, 122p.

Bellessort B., Migniot C., 1987, *Catalogue sédimentologique des côtes françaises, Côtes de la Manche et de l'Atlantique, de la baie du Mont Saint Michel à la frontière espagnole*, n°65, Edition Eyrolles, coll. de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, 559 p.

Billeaud I., 2006, *Dynamique de construction d'un prisme sédimentaire littoral en régime mégatidal*. Thèse, Université de Caen, 245 p.

Bonnefille R., 1976, *Les réalisations d'Electricité de France concernant l'énergie marémotrice*, La Houille Blanche, n°2, p.87-149

Bonnot-Courtois C., 1992, « La digue de Paramé et la plage de Saint-Malo : sédimentologie et analyse des risques », *Géologues*, n°97, 17-22 pp.

Bonnot-Courtois C., 1994, *Les bancs coquilliers du haut estran de la baie du Mont-Saint-Michel entre Saint-Benoît-des-Ondes et la Chapelle Sainte-Anne*. Rapport EPHE/DREB, 73 p.

Bonnot-Courtois C. et al, 2002, *La Baie du Mont-Saint-Michel et Estuaire de la Rance*. Bull. Centre Rech. ELF Explor. Prod., Mémoire 26, 256 p.

Bonnot-Courtois C. et al., 2004, *Morphodynamique actuelle des bancs coquilliers dans la partie occidentale de la Baie du Mont-Saint-Michel (France)*, Géomorphologie : relief, processus, environnement, Janvier-mars, vol.10, n°1, pp.65-79

Bonnot-Courtois C. et al., 2008, *Remaniements sédimentaires superficiels sur l'estran occidental de la baie du Mont-Saint-Michel*, Revue Européenne de Génie Civil, vol. 12 (1-2), pp. 51-65

Bonnot-Courtois C. et al., 2012, *Dynamique sédimentaire intertidale en baie du Mont-Saint-Michel entre évolution naturelle et aménagements*, XIIèmes journées Nationales Génie Côtier-Génie civil, Ed. Paralia, 36 p.

Caline, B., 1982, *Le secteur occidental de la Baie du Mont-Saint-Michel : morphologie, sédimentologie et cartographie de l'estran*, In: "Doc. du BRGM, n°42." p. 250.

- Cariolet J.M., 2011, *Inondation des côtes basses et risques associés en Bretagne – Vers une redéfinition des processus hydrodynamiques liés aux conditions météo-océaniques et des paramètres morpho-sédimentaires*, UBO, thèse, 348 p.
- Clique P.-M., Lepetit J.-P., 1986, *Catalogue sédimentologique des côtes françaises, Côte de la Mer du Nord et de la Manche, n°61*, Edition Eyrolles, coll. de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, 406 p.
- Compain, P. et al, 1988, *Les sédiments et leur dynamique dans la partie Nord-Est de la baie du Mont-Saint-Michel*, Bull. Soc. Linn. de Normandie 112–113, 109–114, 455 p.
- De Saint-Léger E., Levoy F., 2010, *Programme LITEAU « surcote » Subir, réagir et s'adapter aux changements globaux : l'exemple de la côte des havres du Cotentin*, MEEDDM, 106 p.
- Doulier P., 1977, *Le Mont-Saint-Michel. Le problème du caractère maritime du site*. Thèse Docteur-Ingénieur, Université de Paris XI Orsay, 218 p.
- Ehrhold A., 1999, *Dynamique de comblement d'un bassin sédimentaire soumis à un régime megatidal : exemple de la Baie du Mont-Saint-Michel*. Thèse, Université de Caen, 303 p.
- Elhaï H., 1963, *La Normandie occidentale entre la Seine et le Golfe normand-breton. Etude morphologique*, Thèse, Paris, Bière imp. Bordeaux, 624 p.
- Foucault A. et Raoult J.-F., 1995, *Dictionnaire de géologie*, Paris, 4<sup>ème</sup> édition, Masson, 324p.
- Guillaumont B. et al., 1984, *Baie du Mont-Saint-Michel 1981, Etude écologique d'avant-projet du site marémoteur du golfe normano-breton*, Ifremer, 127p.
- Houthuys R., Trentesaux A. et De Wolf P., 1994, *Storm influences on a tidal sandbank's surface*, (Middelkerke Bank, southern North Sea), *Marine Geology*, 121, 23-41pp.
- L'Homer A. et al., 1999, *Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Baie du Mont-Saint-Michel (208)*, BRGM, Notice explicative, 48,183p.
- Lafond L.R., 1986, *Carte morphosédimentaire des zones interdidales du Golfe Normand-Breton au 1/25 000 : Côte Ouest du Cotentin et Baie du Mont-Saint-Michel – Atlas*. IFREMER, n°84-7599, 85 p.
- Larsonneur C., 1989a, *La baie du Mont-Saint-Michel*. Bulletin IGBA, n°46, pp.1-75.
- Larsonneur C., 1989b, *La baie du Mont-Saint-Michel, un modèle de sédimentologie en zone tempérée*. Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitain, n°46, pp. 5-74
- Larsonneur C., 1989c, *Bancs coquilliers et bancs sableux en baie du Mont-Saint-Michel : dynamique et évolution*. 2<sup>ème</sup> congrès Français de sédimentologie, Paris, 20 au 22 nov. 1989, 165 p.
- Lefevre J.-C., Mouton J.-P., 2009, *L'histoire de la Baie du Mont-Saint-Michel et de son abbaye*, Ouest France, 288 p.
- Lelièvre O., 2000, *Dynamique morpho-sédimentaire des accumulations sableuses littorales entre Saint-Malo et Cancale*. UBO, Laboratoire Géomorphologie et Environnement Littoral, 148 p.
- Levoy F., 1994, *Évolution et fonctionnement hydrosédimentaire des plages macrotidales : l'exemple de la côte Ouest du Cotentin*. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Caen, 413 p.

Mathieu R., 1966, Mise en évidence d'un faciès à affinités estuariennes dans un milieu franc. Région de Chateaux-Richeux. Baie du Mont-Saint-Michel, Bull. Soc. Géol. Normandie Amis Museum du Havre, t. 56, pp.51-55

Mathieu R., 1966, *Contribution à l'étude du domaine benthique de la baie du Mont-Saint-Michel. Sédiments actuels, microfaune, écologie*, Thèse IIIème cycle, géol., option micropaléontol., Paris, 2 vol. I, pp.1 -174, II, pp.175-293

Mathieu R., 1966, *Structures sédimentaires des dépôts de la zone intertidale dans la partie occidentale de la baie du Mont-Saint-Michel*, Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn., (2), 3, 1, pp.113-122

Ministères de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, de l'Équipement, des Transports et du Logement, 1997, *Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles (PPR), Guide général*, Paris, La Documentation française, 76 p.

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM), 2007, *Changement climatique et prévention du risque sur le littoral, les contributions, Séminaire sur la prévention des risques naturels majeurs*, 92 p.

MEEDDM, 2010, *La gestion du trait de côte*, éd. Quae, 290 p.

Meur-Ferec C., 2006, *De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral : un itinéraire de géographe*, HDR Université de Nantes, 247 p.

Migniot C., 1998, *Synthèse des connaissances hydro-sédimentaires de la baie*. Mission Mont-Saint-Michel, Rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel, DDE50, 111 p.

Nikodic J., 1981, *Dynamique sédimentaire dans la partie occidentale de la baie du Mont-Saint-Michel, influence des installations conchylicoles*, Thèse Institut des Sciences de la Nature de l'Université de Nantes, 180 p.

Orbi A., 1986, *Circulation de marée dans le golfe normand-breton*, contrat UBO/lfremer N°84/7480, 229 p.

Paskoff R., 1998, *Les littoraux, impact des aménagements sur leur évolution*, Paris, 3ème édition, Masson, collection Géographie, 260 p.

Philipponneau M., 1956, *Contribution à l'étude du Golfe normand-breton et de la baie du Mont-Saint-Michel*. Mémoire Soc. Géol. Minéralogie Bretagne, tome XI, 303 p.

Rétière C., 1979, *Contribution à la connaissance des peuplements benthiques du golfe Normano-breton*. Thèse Doctorat de l'État, Université de Rennes, 430 p.

Secula C., 2011, *Acteurs et gestion du littoral. Une anthropologie de la baie du Mont-Saint-Michel*, Thèse Muséum National d'Histoire Naturelle, 783 p.

SOGREAH, 1998, *Projet de rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel : études hydro-sédimentaires - Modèle physique d'ensemble – Réglage sédimentologique*, Rapport 51, 15 p.

Tabeaud M et al., 2009, *Le risque « coup de vent » en France depuis le XVIe siècle*, Annales de Géographie, n° 667, 318-331.

Verger F. et Ghirardy R., 2005, *Marais et estuaires du littoral français*, Belin, 335 p.

Weill P. et al., 2011, *Shelly cheniers on a macrotidal flat (Mont-Saint-Michel bay, France) – Internal architecture revealed by ground-penetrating radar*, Journal of Sedimentary Geology, Vol. 17 december 2010.

## **Webographie**

Site internet du Projet ANR COCORISCO : Connaissance, compréhension et gestion des risques côtiers : <http://www.cocorisco.fr>

Site internet de l'Institut National de la statistique et des études économiques : <http://www.insee.fr>

Site internet institutionnel du service hydrographique et océanographique de la Marine.: <http://www.shom.fr/>

Site internet du MEDDE : <http://www.prim.net/>, qui favorise la mise à disposition, le partage et l'actualisation d'informations relatives aux risques naturels et technologiques pour renforcer notre résilience individuelle et collective.

## **8. Annexe 1 : Recensements des évènements dommageables**



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique**

3, avenue Claude-Guillemain  
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**Direction régionale BRETAGNE**

Atalante Beaulieu – 2, rue de Jouanet  
35700 – Rennes – France

Tél. : 02 99 84 26 70 – Fax : 02 99 84 26 79