



Caractérisation de la géomorphologie du trait de côte, vulnérabilité à l'érosion et inventaire des tempêtes dans le département du Morbihan (56)

Rapport final

BRGM/RP-69485-FR

Janvier 2020



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Caractérisation de la géomorphologie du trait de côte, vulnérabilité à l'érosion et inventaire des tempêtes dans le département du Morbihan (56)

Rapport final

BRGM/RP-69485-FR

Janvier 2020

Étude réalisée dans le cadre des
opérations de Service public du BRGM (AP17REN011)

S. Le Roy, F. Voix, E. Blaise

Avec la collaboration de

J.M. Schroëtter et M. Bardeau

Vérificateur :

Nom : Jean-Michel Schroëtter

Fonction : Géologue Ph D

Date : 04/03/2020

Signature :



Approbateur :

Nom : Mélanie Bardeau

Fonction : Directrice du BRGM
Bretagne

Date : 09/03/20

Signature :



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

Contact : qualite@brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots-clés : Littoral, Aléa, Submersion, Érosion, Géomorphologie, Tempêtes, Base de données, Bretagne, Morbihan, Trait de côte.

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

S. Le Roy, F. Voix, E. Blaise avec la collaboration de J.M. Schroëtter et M. Bardeau (2020) – Caractérisation de la géomorphologie du trait de côte, vulnérabilité à l'érosion et inventaire des tempêtes dans le département du Morbihan (56). Rapport final. BRGM/RP-69485-FR, 191 p., 129 ill., 1 annexe

© BRGM, 2020, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans une perspective de gestion intégrée du trait de côte (GITC), la DREAL Bretagne avait missionné le BRGM en 2011 pour la réalisation d'un atlas des risques côtiers sur les départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère (des travaux étant déjà engagés en ce sens à l'époque pour le département du Morbihan). Ce travail, réalisé en collaboration avec l'Université de Bretagne Occidentale (UBO) et achevé en 2015 (Schroëtter et Blaise, 2015) avait permis de segmenter le littoral des 3 départements en 9 compartiments et d'en caractériser la géomorphologie du trait de côte à l'échelle du 1/15 000^{ème}, sur la base du trait de côte Histolitt du SHOM, de la géologie, de la bibliographie scientifique disponible et de reconnaissances de terrain permettant de juger le caractère altéré et en érosion du trait de côte. En complément, la prédisposition à l'érosion des côtes à falaises avait pu être qualifiée sur la base de ces données, et une analyse diachronique de la position du trait de côte sur les côtes d'accumulation avait été réalisée (travail de thèse mené à l'UBO ; Blaise, 2017). Enfin, une base de données des impacts de tempête avait été réalisée, à travers le géoréférencement des divers impacts (notamment érosion et dommages d'ouvrages, submersions, mais aussi naufrages...) contenus dans diverses bases de données (Plans de Prévention des Risques, base de données de l'UBO sur le Finistère) et en archives.

Afin d'assurer une vision homogène du trait de côte à l'échelle de la région Bretagne, la DREAL Bretagne a missionné le BRGM en 2017 pour étendre cet atlas au département du Morbihan, tout en actualisant la base de données des impacts de tempêtes.

Cette méthodologie définie par Schroëtter et Blaise (2015) pour les départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère a donc été appliquée au département du Morbihan :

- Segmentation du littoral morbihannais en **4 compartiments** ;
- Caractérisation de la **géomorphologie du trait de côte, à une échelle du 1/15 000^{ème}** et en utilisant comme support le trait de côte Histolitt du SHOM (l'attribution de la géomorphologie dépend directement de la position du trait de côte Histolitt, donc du niveau des plus hautes mers ; ainsi par exemple, une plage adossée à un ouvrage anthropique sera qualifiée en tant que plage si elle reste émergée à marée haute ou en tant que côte artificielle si la mer atteint l'ouvrage) ;
- Qualification de la **prédisposition à l'érosion des côtes à falaises** ;
- Caractérisation de la **dynamique des côtes d'accumulation sur le long terme** ;
- Extension de la **base de données des impacts de tempêtes** au département du Morbihan, et actualisation de cette base sur toute la Bretagne.

Les résultats obtenus montrent que le trait de côte du Morbihan est **majoritairement représenté par des côtes à falaises** (47,8 %), les côtes d'accumulation ne représentant que 23 % du littoral départemental (essentiellement des cordons dunaires sableux, notamment de Gâvres à Quiberon, et des marais maritimes, notamment à l'Est du département). Comparativement au reste de la région Bretagne, **les côtes anthropiques représentent un linéaire important** (29,1 %).

Les côtes à falaises du département ont été reconnues comme altérées sur près de 16 % de leur linéaire, et en érosion sur environ 35,5 %. La prédisposition des côtes à falaises à l'érosion a été qualifiée par le croisement de différents critères (géologie, érosion, altération, mouvements de terrain, cavités). Le résultat indique une prédisposition très faible sur près de 97,5 km, faible sur près de 246,6 km, faible à moyenne sur plus de 63,8 km, et enfin moyenne et élevée sur 0,89 km chacune.

En ce qui concerne les côtes d'accumulation, seuls 7,4 % ont été reconnus comme étant en érosion. Cependant, l'analyse diachronique issue de la digitalisation de 297 plages en 1952 et en 2010 montre qu'à plus long terme **18 % des côtes d'accumulation sont stables, tandis que 21 % ont une tendance à l'accrétion et 13 % à l'érosion**, les résultats sur le reste des côtes d'accumulation n'étant pas significatifs du fait de l'imprécision de la méthode ou de l'artificialisation.

La mise à jour de la base de données des impacts de tempêtes sur toute la Bretagne a permis d'atteindre les 6012 points d'impacts recensés, dont plus de 75 % correspondent à des impacts directs (érosion et dommages aux ouvrages, submersions...), en intégrant notamment 1182 points issus de l'inventaire de Le Cornec *et al.* (2012), 731 points correspondant à des impacts récents sur les 4 départements et de nombreux ajouts et corrections sur les 4 départements. L'analyse des résultats a permis d'identifier **546 événements de tempêtes** dont l'année est comprise entre 1081 et 2019 (d'autres impacts n'ayant pu être rattachés à des dates précises). Parmi les tempêtes les plus dommageables, on peut retenir les dates du 01/01/1877, du 04/12/1896, du 02/02/1904, du 05/03/1912, du 09/01/1924, du 15/12/1989, du 19/02/1996, du 10/03/2008, du 28/02/2010, du 04/01/2014 et du 02/02/2014.

Dans le détail, on peut retenir que :

- Le **compartiment C10** (de Guidel à la pointe de Quiberon) est caractérisé par une **prédominance des côtes à falaises** sur les côtes d'accumulation ; les **côtes anthropiques sont assez importantes** (34 % du linéaire). L'analyse de la dynamique sur le long terme des côtes d'accumulation montre plutôt une **tendance à l'accrétion**, bien qu'il soit nécessaire de distinguer cette tendance selon les sites. Du point de vue des impacts de tempêtes, **la commune de Gâvres se distingue nettement par le nombre d'impacts recensés**, suivie par **Larmor-Plage et Lorient**.
- Le **compartiment C11** (de la pointe de Quiberon à Pénestin) se caractérise par une **large prédominance des côtes d'accumulation** sur les côtes à falaises. Cette prédominance des côtes d'accumulation et des zones basses se traduit par un **taux d'artificialisation particulièrement important** (37 %). L'analyse de la dynamique sur le long terme des côtes d'accumulation montre une **situation assez équilibrée**, avec 18 % de linéaire assez stable et une même proportion de 16 % jugée en érosion ou en accrétion. Du point de vue des impacts de tempêtes, **la commune de Sarzeau se détache nettement** des autres, suivie par les communes de **Damgan, Carnac et le Tour-du-Parc**, toutes exposées à des phénomènes de submersion marine en cas de dommages aux protections naturelles et anthropiques.
- Le **compartiment C12** (Golfe du Morbihan) se caractérise par une **large prédominance des côtes à falaises** sur les côtes d'accumulation. **L'artificialisation du trait de côte reste importante** dans le Golfe (34 %). L'analyse de la dynamique sur le long terme des côtes d'accumulation montre que ces dernières sont **majoritairement stables** (28 %), les zones en érosion ou en accrétion ne représentant que 5 % chacune, ce qui peut s'expliquer par la situation relativement fermée et abritée du Golfe. Du point de vue des impacts de tempêtes, **les communes de Vannes et d'Auray se distinguent très nettement** du fait des épisodes récurrents de submersion, souvent en conjonction avec une crue, suivies ensuite par les communes de **Séné, l'île d'Arz et Sarzeau**, toutes exposées à des phénomènes de submersion marine du fait de la présence de zones basses.
- Le **compartiment C13** (Belle-Ile-en-Mer, Houat, Hoëdic) se distingue quant à lui par une **très large prédominance des côtes à falaises** sur les côtes d'accumulation. L'importance des côtes à falaises explique la **très faible artificialisation du trait de côte** (5 % seulement, correspondant essentiellement aux différents ports des îles). L'analyse de la dynamique sur le long terme des côtes d'accumulation montre une **répartition assez**

équilibrée avec 21 % jugés stables et respectivement 16 % jugés en érosion ou en accrétion, selon l'exposition des côtes d'accumulation. Du point de vue des impacts de tempêtes, **la commune du Palais à Belle-Ile se distingue nettement** par le nombre d'impacts recensés, en raison de dommages répétés aux ouvrages portuaires et de submersions récurrentes des quais du port.

Cette étude, réalisée sur le Morbihan suivant la même méthodologie que celle utilisée sur les autres départements, a ainsi permis de couvrir ainsi l'ensemble de la région Bretagne de manière homogène. **A l'échelle de la région** (soit près de 2 930 km de trait de côte caractérisés), les **côtes à falaises représentent 55,6 % du littoral** (soit 1 629 km), les **côtes artificielles représentent 26,8 %** (soit 784 km) et les **côtes d'accumulation ne représentent que 17,6 %** (soit 516 km) :

- Concernant les côtes à falaises, les roches granitiques dominant largement (609,9 km), devant les roches métamorphiques (358,6 km), les falaises meubles (constituées de dépôts de pente et de terrasses anciennes, 190,8 km) et les roches volcano-sédimentaires (110,4 km), les autres formations représentant moins de 100 km. Sur les 1 629 km de côtes à falaises reconnus, 19,3 % ont été jugés en érosion et 10,9 % ont été jugés altérés. La prédisposition des côtes à falaises à l'érosion a été qualifiée par le croisement de différents critères, séparément pour le département du Morbihan des 3 autres départements. Les résultats indiquent à l'échelle de la région Bretagne une prédisposition très faible sur près de 829,5 km, faible sur de 347,6 km, faible à moyenne sur plus de 254,1 km, moyenne sur 29 km, et enfin élevée sur près de 168,8 km.
- Concernant les côtes d'accumulation, les cordons dunaires sableux (187,7 km) et les marais maritimes ou estuaires (140,79 km) dominant les autres typologies, qui correspondent toutes à des longueurs inférieures à 100 km. On peut par ailleurs noter que les cordons dunaires et les marais maritimes sont surtout rencontrés en Bretagne Sud, du Pays Bigouden au Morbihan, ce qui confirme l'importance des zones basses sur cette façade comparativement à la côte Nord. Sur les 516 km de côtes d'accumulation (non artificialisées) reconnus, 16,1 % ont été jugés en érosion. Cependant, l'analyse diachronique sur une soixantaine d'années issue de la digitalisation de 831 plages montre qu'à plus long terme 13,3 % des côtes d'accumulation sont stables, tandis que 18,4 % ont une tendance à l'accrétion et 27,6 % à l'érosion, les résultats sur le reste des côtes d'accumulation n'étant pas significatifs du fait de l'imprécision de la méthode ou de l'artificialisation.

Le résultat obtenu à l'échelle de la région Bretagne correspond à un état des lieux de référence du trait de côte breton, qui pourra être utilisé par les services de l'Etat et les scientifiques pour appréhender l'évolution du littoral et envisager les conséquences et les mesures nécessaires en contexte de changement climatique.

Enfin, en complément de ces travaux, une plateforme web appelée NEMESIS-BZH a été développée et mise à disposition exclusive des services de l'Etat en Bretagne, permettant de visualiser à très haute résolution, pour l'ensemble de la région Bretagne, les zones qui pourraient être submergées sous l'effet des tempêtes et du changement climatique.

Sommaire

1. Introduction et objectifs	15
2. Contexte général	17
2.1. RAPPELS FONDAMENTAUX : LES NOTIONS D’ALEA, ENJEU, RISQUE ET VULNERABILITE	17
2.2. LA GESTION DU TRAIT DE COTE, L’EMERGENCE D’UNE APPROCHE RESPONSABLE ET DURABLE	18
2.3. L’APPLICATION D’UNE STRATEGIE NATIONALE DE GESTION INTEGREE DU TRAIT DE COTE.....	19
3. Le département du Morbihan	21
3.1. DEMOGRAPHIE ET ENJEUX.....	21
3.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE	24
3.2.1. Le contexte géomorphologique des côtes morbihannaises	32
3.3. ETUDES EXISTANTES SUR LES ALEAS LITTORAUX DANS LE MORBIHAN	34
3.3.1. Etudes nationales et internationales	35
3.3.2. Etudes régionales et départementales	35
3.3.3. Etudes départementales	36
3.3.4. Principales études locales.....	43
3.4. CONTEXTE OCEANOGRAPHIQUE	45
3.4.1. Courants et régime de marée	45
3.4.2. Instrumentation et mesures in situ	47
3.4.3. Niveaux marins et surcotes.....	48
3.4.4. Etat des mers.....	53
4. Méthodologie	59
4.1. « GEOMORPHOLOGIE » DU TRAIT DE COTE	61
4.1.1. Choix du trait de côte	61
4.1.2. Définition des compartiments d’étude	64
4.1.3. Données géologiques pour la caractérisation du trait de côte du Morbihan (compartiments C10, C11, C12 et C13)	65
4.2. ANALYSES COMPLEMENTAIRES SUR L’EROSION DES COTES NATURELLES.....	69
4.2.1. Prédiposition à l’érosion des côtes à falaises	69
4.2.2. Dynamique des cotes d’accumulation	74
4.3. ÉVENEMENTS TEMPETUEUX DOMMAGEABLES	79

5. Synthèse des résultats à l'échelle du département du Morbihan.....	81
5.1. LA « GEOMORPHOLOGIE » DU TRAIT DE COTE DU MORBIHAN	81
5.2. SYNTHESE PAR FORMATION GEOLOGIQUE LITTORALE.....	81
5.3. SYNTHESE SUR L'ALTERATION DES FORMATIONS GEOLOGIQUES LITTORALES	84
5.4. SYNTHESE SUR L'EROSION DES FORMATIONS GEOLOGIQUES LITTORALES ...	84
5.4.1. Sur les côtes à falaises.....	84
5.4.2. Sur les côtes meubles	84
5.5. CARTE DE LA GEOMORPHOLOGIE DU TRAIT DE COTE DU MORBIHAN	86
5.6. SYNTHESE DES RESULTATS SUR LES MOUVEMENTS DE TERRAIN	89
5.7. ANALYSES COMPLEMENTAIRES SUR L'EROSION DES COTES NATURELLES	90
5.7.1. Prédiposition des côtes rocheuses à l'érosion	90
5.7.2. Cinématique des côtes d'accumulation.....	94
5.8. EVENEMENTS TEMPETUEUX DOMMAGEABLES.....	99
6. Résultats sur le compartiment C10 : de Guidel à la pointe de Quiberon (incluant l'île de Groix)	115
6.1. GEOMORPHOLOGIE DU TRAIT DE COTE.....	115
6.1.1. Géomorphologie du trait de côte.....	115
6.1.2. Géomorphologie simplifiée du trait de côte.....	115
6.1.3. Analyses complémentaires sur l'érosion des côtes naturelles	119
6.2. EVENEMENTS TEMPETUEUX SUR LE COMPARTIMENT C10.....	123
7. Résultats sur le compartiment C11 : de la pointe de Quiberon à Pénestin	129
7.1. GEOMORPHOLOGIE DU TRAIT DE COTE.....	129
7.1.1. Géomorphologie du trait de côte.....	129
7.1.2. Géomorphologie simplifiée du trait de côte.....	129
7.1.3. Analyses complémentaires sur l'érosion des côtes naturelles	133
7.2. EVENEMENTS TEMPETUEUX SUR LE COMPARTIMENT C11	139
8. Résultats sur le compartiment C12 : Golfe du Morbihan	143
8.1. GEOMORPHOLOGIE DU TRAIT DE COTE.....	143
8.1.1. Géomorphologie du trait de côte.....	143
8.1.2. Géomorphologie simplifiée du trait de côte.....	143
8.1.3. Analyses complémentaires sur l'érosion des côtes naturelles	147
8.2. EVENEMENTS TEMPETUEUX SUR LE COMPARTIMENT C12.....	151

9. Résultats sur le compartiment C13 : Belle-Ile-en Mer, Houat et Hoëdic	155
9.1. GEOMORPHOLOGIE DU TRAIT DE COTE	155
9.1.1. Géomorphologie du trait de côte	155
9.1.2. Géomorphologie simplifiée du trait de côte	155
9.1.3. Analyses complémentaires sur l'érosion des côtes naturelles.....	159
9.2. EVENEMENTS TEMPETUEUX SUR LE COMPARTIMENT C13	163
10. La plateforme NEMESIS-BZH	167
10.1. PRINCIPE DE L'ANALYSE.....	167
10.1.1. Niveaux marins considérés.....	167
10.1.2. Topographie considérée	168
10.1.3. Principe du calcul	168
10.2. LIMITES DE L'APPROCHE	169
10.2.1. Limites liées à la méthode	169
10.2.2. Limites liées aux données.....	170
10.3. ENVIRONNEMENT DE L'OUTIL	171
11. Synthèse et conclusions	173
12. Glossaire	177
13. Bibliographie & webographie	179

Liste des illustrations

Illustration 1 - 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).	16
Illustration 2 - Les notions d'aléa, enjeu et risque en domaine littoral.....	18
Illustration 3 – Répartition et évolution de la population dans les 4 départements bretons, en Bretagne et en France métropolitaine (source Insee 2017 ; www.armorstat.com).....	21
Illustration 4 – Projections d'évolution de la population en Bretagne entre 2005 et 2030 (Source IGN-Insee 2009 ; www.armorstat.com)	22
Illustration 5 - Répartition de la population Bretonne fin 2011 : un littoral attractif, notamment dans le Morbihan (Source : bretagne-environnement.org).....	22
Illustration 6 - Densité d'hébergements touristiques dans les communes bretonnes (Source : bretagne-environnement.org).....	23
Illustration 7 Projection de l'augmentation du rapport entre personnes de 65 ans ou plus et moins de 20 ans à l'horizon 2030 en Bretagne (source IGN – Insee 2009 ; www.armorstat.com) .	24
Illustration 8 - Reconstitution de la chaîne appalachienne transatlantique avant l'ouverture de l'Atlantique (à gauche : Laurentia ; à droite : Gondwana).	25
Illustration 9 – Coupes géologiques d'échelle crustales du Massif Armoricaïn (Ballévres et al., 2013)	26
Illustration 10 - Evolution tectonique de la zone de suture sud (Armorica-Gondwana). Comme dans tous les essais de reconstruction de ce type, des choix arbitraires doivent être effectués (en rouge, avec point d'interrogation), tout en satisfaisant le maximum de contraintes géologiques (en rouge, sans point d'interrogation) (Ballèvre et al., 2013).	27
Illustration 11 – Carte géologique simplifiée du Morbihan (Ballèvre et al., 2013)	28
Illustration 12 – Evolution géologique post hercynienne du Massif Armoricaïn (Ballèvre et al., 2013)	29
Illustration 13 : Sismicité instrumentale de la France métropolitaine entre 1962 et 2018.....	32
Illustration 14 –Topographie du littoral du Morbihan ; les zones basses apparaissent dans les nuances jaune-vert (d'après les données du RGE ALTI IGN)	33
Illustration 15 – Nature des sédiments superficiels au large du Morbihan (Menier et al., 2014)	34
Illustration 16 – Géomorphologie du trait de côte du Morbihan (d'après les données de l'étude Ptolémée, 2001)	36
Illustration 17 – Ouvrages côtiers du Morbihan (d'après les données de l'étude Ptolémée, 2001).....	37
Illustration 18 – Répartition de la géomorphologie du trait de côte du Morbihan sur les 1 040 km de côtes à gauche et en excluant celles classées « Ria, aber, estuaire » à droite (d'après les données de l'étude Ptolémée, 2001).....	38
Illustration 19 – Exemples de simulations spectrales de champs de vagues au large du Morbihan pour des houles d'Ouest (en haut) et de Sud (en bas) (Source : Atlas GEOS-DHI)	39
Illustration 20 - Typologie des côtes Morbihannaises (Pian, 2010).....	40
Illustration 21 – Morphologie du secteur Gâvres-Penthièvre (Pian, 2010).....	40
Illustration 22 – Morphologie de la presqu'île de Quiberon (Pian, 2010)	41
Illustration 23 – Morphologie de la Baie de Quiberon (Pian, 2010).....	41
Illustration 24 – Morphologie du littoral de la presqu'île de Rhuy (Pian, 2010)	42
Illustration 25 - Unités hydrosédimentaires des côtes morbihannaises (CEREMA : Landreau, 2018).....	43

Illustration 26 – Répartition géographique des Plans de Prévention Risques Littoraux (communes entourées en rouge) et Inondation dans le département du Morbihan (d’après les données de www.morbihan.gouv.fr)	44
Illustration 27 - Caractéristiques des marées : en haut, marnage maximum pour un coefficient 120 et courants de marée au maximum du flot pour un coefficient 95 ; en bas, vitesses maximales des courants de marée pour un coefficient 95 et courants de marée au maximum du jusant pour un coefficient 95 (Source : data.shom.fr)	46
Illustration 28 - Marnages lors d'une marée de mortes-eaux(à gauche), et lors d'une marée de vives-eaux exceptionnelle (à droite) (d’après les données du SHOM, dans Stéphan, 2011)	47
Illustration 29 – Localisation des mesures disponibles au niveau du Morbihan (marégraphes, houlographes) et des points d’analyse statistique des vagues à partir de la base de données BoBWA.....	48
Illustration 30 – Références altimétriques maritimes des ports de la partie Ouest du Morbihan, dont le port de référence est celui de Brest (Source : SHOM, 2016)	49
Illustration 31 - Références altimétriques maritimes des ports de la partie Est du Morbihan, dont le port de référence est celui des Sables d’Olonne (Source : SHOM, 2016)	50
Illustration 32 - Schéma des différentes contributions au niveau du plan d’eau lors d’une tempête (surcotes) jusqu’au rivage.....	51
Illustration 33 - Période de retour des hauteurs/niveaux marins extrêmes de pleine mer (à gauche) et des surcotes (à droite) à Port-Tudy (extrait de SHOM-CETMEF, 2012).....	52
Illustration 34 - Niveaux extrêmes de pleines mers (en m NGF) à Port-Tudy (SHOM-CETMEF, 2012)	52
Illustration 35 - Niveaux centennaux de pleine mer au large du Morbihan (d’après SHOM-CETMEF, 2012)	52
Illustration 36 – Hauteurs significatives des vagues au large pour des périodes de retour de 10 ans (à gauche) et 100 ans (à droite) estimées à partir de la base BoBWA (Charles et al., 2012) sur la période 1958-2001 à pas de temps 6 heures (Bulteau et al., 2013)	53
Illustration 37 – Positions et caractéristiques des points BoBWA de calcul des extrêmes des vagues au large du Morbihan	53
Illustration 38 – Analyse statistique des vagues au point BoBWA Bretagne_15 (Bulteau et al., 2013).....	55
Illustration 39 – Analyse statistique des vagues au point BoBWA Bretagne_16 (Bulteau et al., 2013).....	56
Illustration 40 – Analyse statistique des vagues au point BoBWA Bretagne_17 (Bulteau et al., 2013).....	57
Illustration 41 - Rose des houles mesurées à la bouée 05602 de Belle-Ile, sur la période 2010 – 2018 (http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr)	58
Illustration 42 - Histogramme représentant la fréquence des hauteurs significatives des houles mesurées à la bouée 05602 de Belle-Ile, sur la période 2010 – 2019, en considérant toute la période à gauche, puis la période hivernale au centre et la période estivale à droite (http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr)	58
Illustration 43 – Schéma de principe méthodologique et des données constituant l’atlas	60
Illustration 44 - Sources composants le trait de côte HistolittV2.0 pour la Bretagne.	61
Illustration 45 - Schéma de principe de caractérisation du trait de côte (Schroëtter et Blaise, 2015)	62
Illustration 46 – Exemple d’aperçu de la géomorphologie du trait de côte accompagnée de l’avant-trait-de-côte et de l’arrière trait-de-côte au niveau de Lomener (Ploemeur) et Kerguelen (Larmor-Plage).....	63
Illustration 47 – Exemple d’aperçu de la géomorphologie du trait de côte accompagnée de l’avant-trait-de-côte et de l’arrière trait-de-côte au niveau de l’Ile d’Arz	63
Illustration 48 - La division des côtes morbihannaises en 4 compartiments	64

Illustration 49 – Segmentation du littoral de la région Bretagne en 13 compartiments.....	65
Illustration 50 – Dallage des cartes géologiques au 1/50 000 pour le département du Morbihan	66
Illustration 51 - Exemple de minute de terrain sur le secteur de Carnac (56)	67
Illustration 52 - Module de Young et coefficient de Poisson pour quelques familles de roches (Mestat, 1993)	68
Illustration 53 - Ordre de résistance des minéraux à l'altération (Goldich, 1938)	68
Illustration 54 - Schéma de principe d'un glissement de terrain (Locmaria, Belle-Ile, 56).	70
Illustration 55 - Schéma de principe d'un glissement banc sur banc (Groix, 56).	70
Illustration 56 - Schéma de principe d'un glissement de dièdres (Groix, 56).	71
Illustration 57 - Schéma de principe d'un éboulement/Chute de blocs (A : Groix, 56 ; B : Saint-Pierre-Quiberon, 56 ; C : Saint-Gildas-de-Rhuys, 56).	71
Illustration 58 - Ravinement important des formations superficielles composées d'alluvions perchées (Pénestin, 56).	72
Illustration 59 - Sous-cavages (A : Gâvres, 56 ; B : Ile d'Arz, 56).	72
Illustration 60 - Effondrements (A : d'une grotte marine : Trou de Vazen à Bangor, 56 ; B : d'un sous- cavage à Quiberon, 56).	73
Illustration 61 - 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	76
Illustration 62 - 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.....	77
Illustration 63 - Principe du Digital Shoreline Analysis System	78
Illustration 64 - Synthèse par compartiment des côtes d'accumulation traitées	78
Illustration 65 - Synthèse du linéaire côtier étudié pour le département du Morbihan	81
Illustration 66 - Proportions des linéaires (en km) des différentes côtes à falaises	82
Illustration 67 - Tableau des formations géologiques littorales simplifiées des côtes à falaises du Morbihan (avec proportions respectives de linéaires altérés et en érosion)	83
Illustration 68 - Formations géologiques littorales simplifiées des côtes d'accumulation du Morbihan (avec proportions respectives en linéaire en érosion)	85
Illustration 69 - Proportions des linéaires (en km) des différentes côtes d'accumulation non artificialisées.....	86
Illustration 70 – Géomorphologie complète du trait de côte du Morbihan	87
Illustration 71 – Observations ponctuelles : Mouvements de terrain, cavités souterraines, ouvrages.....	88
Illustration 72 - Tableau d'attribution des notes d'altération pour les formations géologiques littorales des côtes à falaise	91
Illustration 73 - Tableau d'attribution des notes d'érosion pour les formations géologiques littorales des côtes à falaise	92
Illustration 74 - Tableau d'attribution des notes en fonction de la densité de mouvements de terrain et de cavités (par kilomètre linéaire pour chaque formation géologique littorale des côtes à falaises).....	93
Illustration 75 - Note finale de prédisposition à l'érosion des formations géologiques littorales des côtes à falaise du département du Morbihan	94
Illustration 76 – Répartition des côtes d'accumulation du département du Morbihan selon leur dynamique.....	95

Illustration 77 – Prédiposition à l'érosion des côtes à falaise du Morbihan	97
Illustration 78 – Vue d'ensemble de la dynamique des côtes d'accumulation du Morbihan	98
Illustration 79 – Répartition des 6 012 points d'impacts de tempête bancarisés selon leur nature	99
Illustration 80 – Répartition géographique des points d'impacts « directs » bancarisés	101
Illustration 81 – Répartition géographique des points d'impacts « indirects » bancarisés.....	102
Illustration 82 – Répartition temporelle des tempêtes identifiées et des dommages associés (vue globale à gauche et zoom sans tenir compte de la tempête du 10/03/2008 à droite)	104
Illustration 83 - Répartition temporelle des tempêtes identifiées et des communes concernées selon le type d'impacts	105
Illustration 84 – Cumuls mensuels des impacts de communes par événement, par commune et par type d'impact.....	107
Illustration 85 – Répartition des impacts directs causés par la tempête du 05/03/1912.....	109
Illustration 86 – Répartition des impacts directs causés par la tempête du 09/01/1924.....	110
Illustration 87 - Répartition des impacts directs causés par la tempête du 19/02/1996 et trajectoire de la tempête (en médaillon en bas à droite, souce VIMERS)	111
Illustration 88 – Répartition des impacts directs causés par la tempête du 10/03/2008.....	112
Illustration 89 – Communes recensant le plus d'événements de tempête ayant occasionné des impacts directs par département et nature de ces impacts	114
Illustration 90 – Répartition de la géomorphologie du trait de côte pour le compartiment C10 (côtes à falaises à gauche, côtes d'accumulation à droite, hors côtes artificialisées)	115
Illustration 91 – Répartition des côtes du compartiment C10 selon leur géomorphologie	116
Illustration 92 – Géomorphologie simplifiée du compartiment C10 (partie Nord Ouest).....	117
Illustration 93 – Répartition des côtes d'accumulation du compartiment C10 selon leur cinématique	119
Illustration 94 – Prédiposition à l'érosion des côtes à falaises du compartiment C10	121
Illustration 95 – Cinématique des côtes d'accumulation du compartiment C10 (partie Nord Ouest).....	122
Illustration 96 - Répartition temporelle des tempêtes ayant causé des impacts directs sur le compartiment C10	123
Illustration 97 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C10 (partie Nord-Ouest)	125
Illustration 98 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C10 (partie Sud-Ouest).....	126
Illustration 99 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C10 (partie Sud-Est)	127
Illustration 100 – Répartition de la géomorphologie du trait de côte pour le compartiment C11 (côtes à falaises à gauche, côtes d'accumulation à droite, hors côtes artificialisées)	129
Illustration 101 – Répartition des côtes du compartiment C11 selon leur géomorphologie	130
Illustration 102 – Géomorphologie simplifiée des compartiments C10 (partie Sud-Est) et C11 (partie Ouest)	131
Illustration 103 – Géomorphologie simplifiée du compartiment C11 (partie Est).....	132
Illustration 104 – Répartition des côtes d'accumulation du compartiment C11 selon leur cinématique ...	133
Illustration 105 - Prédiposition à l'érosion des côtes à falaises du compartiment C11	135
Illustration 106 – Cinématique des côtes d'accumulation du compartiment C10 (partie Sud-Est) et C11 (partie Ouest)	136

Illustration 107 – Cinématique des côtes d’accumulation du compartiment C11 (partie Est)	137
Illustration 108 - Répartition temporelle des tempêtes ayant causé des impacts directs sur le compartiment C11	139
Illustration 109 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C11 (partie Ouest).....	141
Illustration 110 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C11 (partie Est)	142
Illustration 111 – Répartition de la géomorphologie du trait de côte pour le compartiment C12 (côtes à falaises à gauche, côtes d’accumulation à droite, hors côtes artificialisées)	143
Illustration 112 – Répartition des côtes du compartiment C12 selon leur géomorphologie	144
Illustration 113 – Géomorphologie simplifiée du compartiment C12.....	145
Illustration 114 – Répartition des côtes d’accumulation du compartiment C12 selon leur cinématique ..	147
Illustration 115 – Prédiposition à l’érosion des côtes à falaises du compartiment C12.....	149
Illustration 116 – Cinématique des côtes d’accumulation du compartiment C12.....	150
Illustration 117 - Répartition temporelle des tempêtes ayant causé des impacts directs sur le compartiment C12.....	151
Illustration 118 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C12.....	153
Illustration 119 – Répartition de la géomorphologie du trait de côte pour le compartiment C13 (côtes à falaises à gauche, côtes d’accumulation à droite, hors côtes artificialisées)	155
Illustration 120 – Répartition des côtes du compartiment C13 selon leur géomorphologie	156
Illustration 121 – Géomorphologie simplifiée du compartiment C13	157
Illustration 122 – Répartition des côtes d’accumulation du compartiment C13 selon leur cinématique ..	159
Illustration 123 – Prédiposition à l’érosion des côtes à falaises du compartiment C13.....	161
Illustration 124 – Cinématique des côtes d’accumulation du compartiment C13.....	162
Illustration 125 - Répartition temporelle des tempêtes ayant causé des impacts directs sur le compartiment C13.....	163
Illustration 126 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C13 (partie Ouest).....	165
Illustration 127 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C13 (partie Est).....	166
Illustration 128 - Aperçu sur un profil de la cartographie « statique » réalisée par NEMESIS-BZH (surfaces en bleu = couche « Zones sous PHMA », situées sous le niveau des plus hautes-mers astronomiques ; surfaces en orange = couche « Carte d’inondation », situées sous le niveau marin considéré	169
Illustration 129 – Aperçu de la cartographie offerte par le portail NEMESIS-BZH sur Gâvres (56) pour un niveau marin situé 1 m au dessus du niveau de la PHMA (60 cm liés à l’élévation du niveau de la mer et 40 cm de surcote) ; les zones potentiellement inondées sont en orange, tandis que les zones vertes (en réalité bleu et orange mélangés par transparence) sont déjà situées sous le niveau de la PHMA.	169

Liste des annexes

Annexe 1 - Aperçu des données de l’atlas à l’échelle de la région Bretagne.....	187
---	-----

1. Introduction et objectifs

Les côtes découpées de Bretagne, par leur diversité, n'offrent pas un seul et même objet géomorphologique à appréhender. Le « patchwork » géologique, par ses deux milliards d'années d'histoire, se décline en « patchwork » géomorphologique qui impose pour leur analyse un panel de compétences complémentaires.

Depuis plus d'une cinquantaine d'années (et même plus en réalité si l'on considère les travaux des géologues Guilcher à Pinot en passant par Hallegouët), les études locales et régionales se sont succédées, diverses et variées, que ce soit sur l'avant-plage ou sur les plages, sur les falaises meubles comme sur les falaises rocheuses ou sur les zones basses. Les expertises sont pléthoriques tantôt menées par des universitaires et/ou organismes de recherche, tantôt menées par des bureaux d'études.

Il est temps d'en avoir des synthèses afin de déterminer les secteurs sur lesquels les aléas sont les plus récurrents, les plus intenses, et de pouvoir les mettre face aux enjeux et d'évaluer le risque encouru.

L'atlas des aléas littoraux (érosion et submersion marine) des départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère (Schroëtter et Blaise, 2015), est venu faire un état des lieux au plus près à l'échelle du 1/15 000 de 2072,5 km de trait de côte breton, à travers : (1) la synthèse bibliographique de l'ensemble des études sur ces aléas (érosion, submersion, éboulement, etc.), (2) l'acquisition de nouvelles données sur le trait de côte tel que : sa géomorphologie, le recensement des mouvements gravitaires et des souscavages littoraux, l'analyse de la cinématique de 534 plages (entre les années 60 et les années 2010) et enfin le recensement des tempêtes dommageables à la côte.

De cette étude, ont été déduits des indicateurs à l'érosion des côtes à falaises (la moitié des côtes bretonnes de ces trois départements), un bilan de l'érosion des côtes meubles (1/4 des côtes meubles bretonnes) et sur le quart restant de côtes anthropiques, le relevé des dommages ou des réparations qu'ont subi les ouvrages (digues, quai etc.).

Enfin dans un souci de pouvoir alimenter un système de Gestion Intégrée du Trait de Côte (GIZTC), l'atlas a été structuré en Système d'Information Géographique (SIG).

Hélas, le Morbihan malgré un littoral parmi les plus exposés de Bretagne avec son orientation Sud-Ouest exposée aux agents météo marins, n'a pas eu l'occasion de recevoir un tel traitement. En effet, lors du démarrage de l'étude menée par Schroëtter et Blaise en 2015, une autre étude avait déjà été lancée sur le Morbihan, à l'initiative de la DDTM, visant à établir un atlas des risques côtiers sur le département. Cette étude ne s'est toutefois pas basée sur la même méthodologie, et n'a pas fourni le même type d'informations que celles acquises sur les 3 autres départements. Dans un souci d'uniformité, la DREAL Bretagne a demandé au BRGM Bretagne de réaliser le même type de travail que celui réalisé sur les autres départements bretons.

Comme pour ses voisins, les données sur le Morbihan ont été structurées en SIG pour pouvoir être intégrées dans la perspective de faciliter leur exploitation. La mise au point de stratégies cohérentes à long terme constitue une préoccupation importante pour les services de l'Etat comme pour les collectivités locales face au développement des zones côtières dans les prochaines décennies.

Dans un souci d'anticipation des aléas littoraux et d'élaboration d'une stratégie préventive pour l'aménagement du territoire, la DREAL Bretagne souhaite avoir une vision d'ensemble du territoire qui lui est confié, afin d'améliorer la connaissance du trait de côte, ainsi que la collecte des données associées ; la convergence des dynamiques du trait de côte (aléas érosion et submersion) et de l'occupation du rivage (enjeux), sont à l'origine de l'augmentation des risques côtiers depuis les années 1960, problématique qui avec l'évolution démographique de la Bretagne et la perspective du changement climatique déjà en route, vont devenir de plus en plus des sujets d'actualités (Illustration 1 ; Meur-Férec et Morel, 2004).

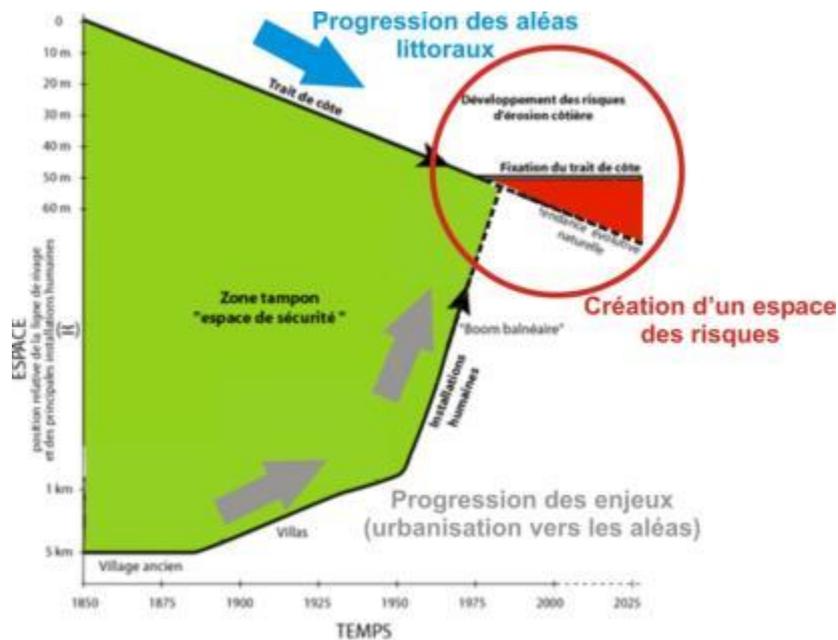


Illustration 1 - L'émergence des risques côtiers : dynamiques convergentes du trait de côte et de l'occupation du rivage (modifiée d'après Meur-Férec et Morel, 2004).

2. Contexte général

2.1. RAPPELS FONDAMENTAUX : LES NOTIONS D'ALEA, ENJEU, RISQUE ET VULNERABILITE

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'eaux 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 sont 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.

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 exposées 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 composantes 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 et 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.

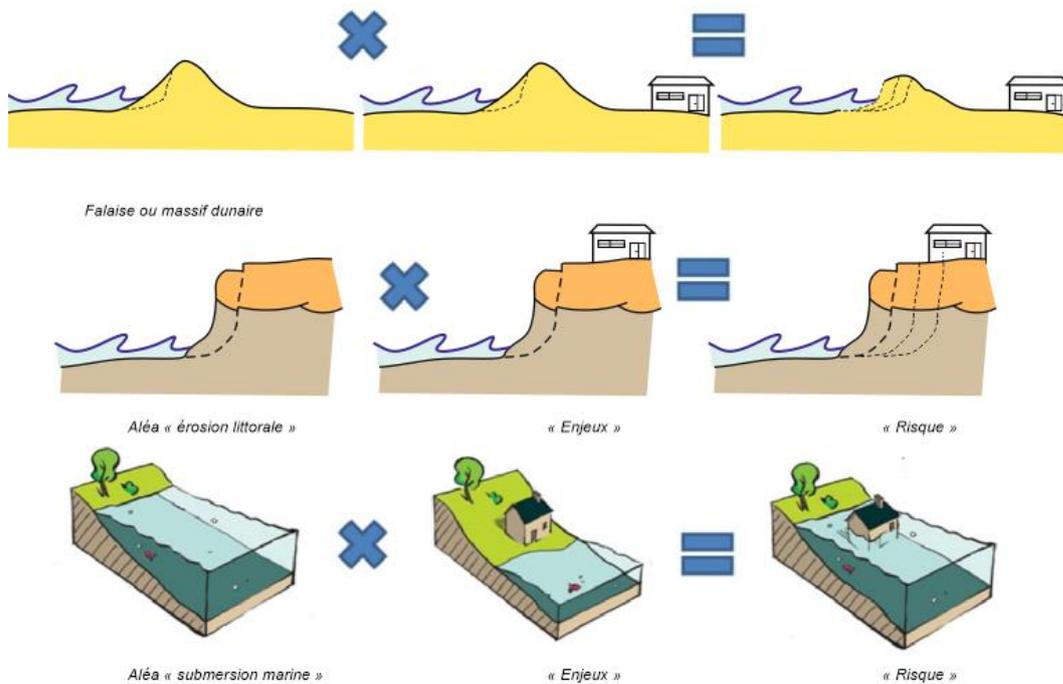


Illustration 2 - Les notions d'aléa, enjeu et risque en domaine littoral

2.2. LA GESTION DU TRAIT DE COTE, L'EMERGENCE 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 demander quelle 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 du trait de côte (GITC) 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 GITC 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 GITC 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.

2.3. L'APPLICATION D'UNE STRATEGIE NATIONALE DE GESTION INTEGREE DU TRAIT DE COTE

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.

L'Atlas des aléas littoraux du Morbihan, et plus généralement des quatre départements de Bretagne s'inscrit essentiellement dans le premier axe cité ci-dessus.

Ce 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 carte nationale 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^e sur le littoral métropolitain. La combinaison des données en matière d'occupation des sols sera réalisée afin d'identifier les territoires à risque d'érosion.

Ce premier axe permet d'alimenter les suivants, et notamment le second, par l'identification des secteurs à forte érosion et à forts enjeux. Les stratégies locales pour la gestion du risque submersion sont élaborées par les collectivités territoriales, accompagnées 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^{er} 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 de 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 département du Morbihan

3.1. DEMOGRAPHIE ET ENJEUX

Avec près de 751 000 habitants en 2017, le département du Morbihan représente 22,6 % de la population de la région Bretagne. Il est donc le 3^{ème} des 4 départements bretons en termes de population, après l'Ille-et-Vilaine et le Finistère qui bénéficient de l'attractivité des pôles urbains de Rennes et Brest.

Par ailleurs, la région Bretagne apparaît comme l'une des plus attractives de France métropolitaine, le taux de croissance de sa population était le 5^{ème} des 13 régions (derrière la Corse, l'Occitanie, les Pays-de-la-Loire et Auvergne-Rhône-Alpes). Le département du Morbihan ne fait pas exception à la règle et pourrait même avoir la palme de l'évolution démographique littorale la plus important des départements bretons dans le futur.

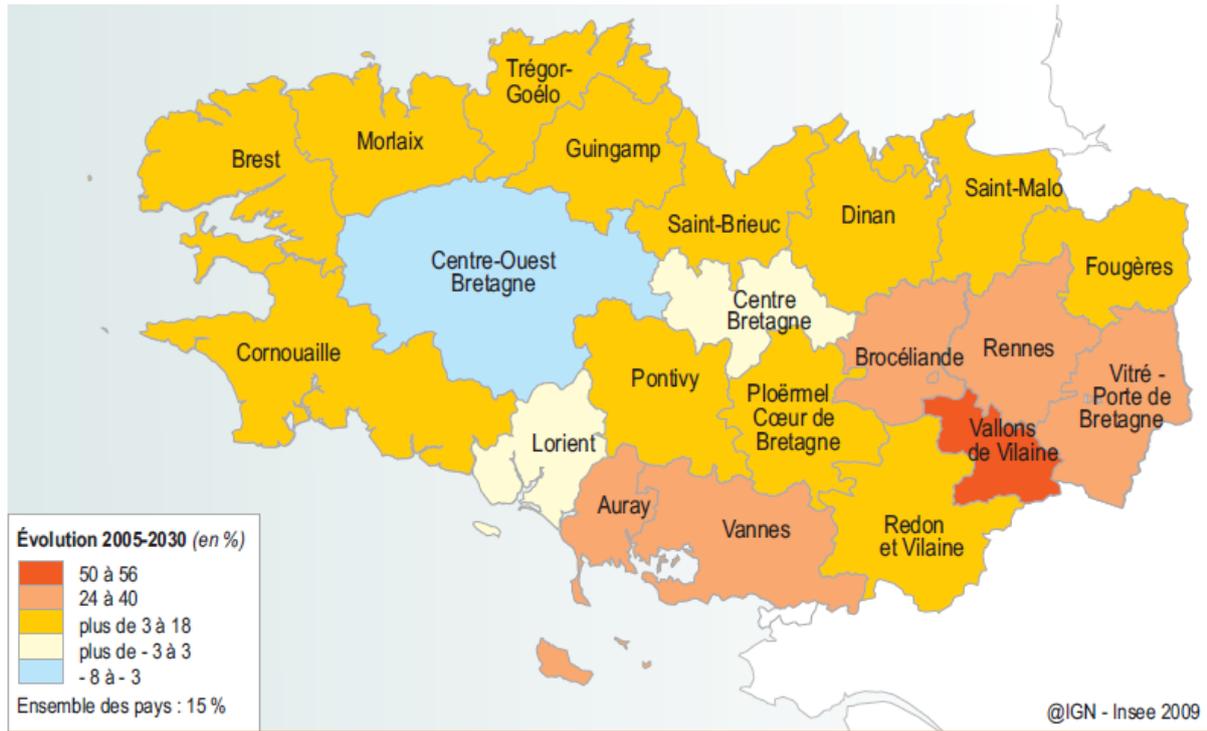
Sa croissance démographique, de l'ordre de 0,5 à 0,8 % selon la période considérée, est d'ailleurs équivalente la moyenne régionale, voire légèrement supérieure, et donc significativement supérieure à la moyenne nationale (Illustration 3).

Territoires	Population municipale 2007	Population municipale 2012	Population municipale 2017	Evolutions en %					
				2007-2012		2012-2017		2007-2017	
				Période	Annuel	Période	Annuel	Période	Annuel
Côtes d'Armor	576 049	595 531	598 814	3,4%	0,67%	0,6%	0,11%	4,0%	0,39%
Finistère	885 906	901 293	909 028	1,7%	0,34%	0,9%	0,17%	2,6%	0,26%
Ille-et-Vilaine	955 846	1 007 901	1 060 199	5,4%	1,07%	5,2%	1,02%	10,9%	1,04%
Morbihan	702 487	732 372	750 863	4,3%	0,84%	2,5%	0,50%	6,9%	0,67%
Bretagne	3 120 288	3 237 097	3 318 904	3,7%	0,74%	2,5%	0,50%	6,4%	0,62%
France métropolitaine	61 795 238	63 375 971	64 639 133	2,6%	0,51%	2,0%	0,40%	4,6%	0,45%

Illustration 3 – Répartition et évolution de la population dans les 4 départements bretons, en Bretagne et en France métropolitaine (source Insee 2017 ; www.armorstat.com)

Cette croissance étant évaluée à travers le bilan entre le solde des entrées et celui des sorties dans le département, et non par le solde naturel : elle montre donc que le Morbihan possède des atouts touristiques qui le rendent attractif.

La Bretagne est une région démographiquement dynamique, et si les tendances se prolongeaient, la population bretonne pourrait croître de 14 % d'ici 2030, contre seulement 11 % au niveau national. Les scénarios prospectifs de l'évolution de la population pour les horizons 2030 et 2040 montrent que si la majeure partie du territoire breton devrait voir sa population augmenter, les principales augmentations de population affecteront d'une part le pays de Rennes et ses alentours, du fait de l'attractivité économique de ce territoire, mais aussi les pays de Vannes et d'Auray (Illustration 4).



Source : Insee, enquêtes annuelles de recensement - projections de population

Illustration 4 – Projections d’évolution de la population en Bretagne entre 2005 et 2030 (Source IGN-Insee 2009 ; www.armorstat.com)

Comme pour le reste de la Bretagne (à l’exception du bassin rennais), la population morbihannaise se concentre essentiellement sur un rideau de 1 à 3 communes par rapport au littoral (Illustration 5), qui sont, pour la plupart d’entre elles, particulièrement attractives, avec des densités de population relativement élevées, supérieures à 100 habitants par km².

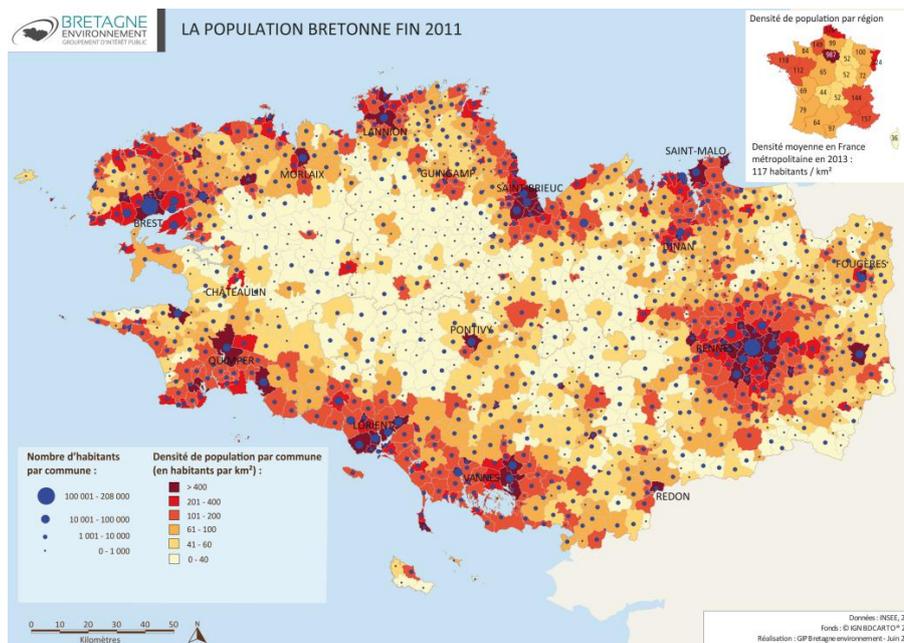


Illustration 5 - Répartition de la population Bretonne fin 2011 : un littoral attractif, notamment dans le Morbihan (Source : bretagne-environnement.org)

Ces flux de personnes dans le futur des côtes morbihannaises et ce solde positif, sont accompagnés de flux saisonniers, notamment vers les communes littorales qui concentrent l'essentiel des hébergements touristiques (Illustration 6), et même les plus fortes densités de Bretagne vers Quiberon et le golfe du Morbihan.

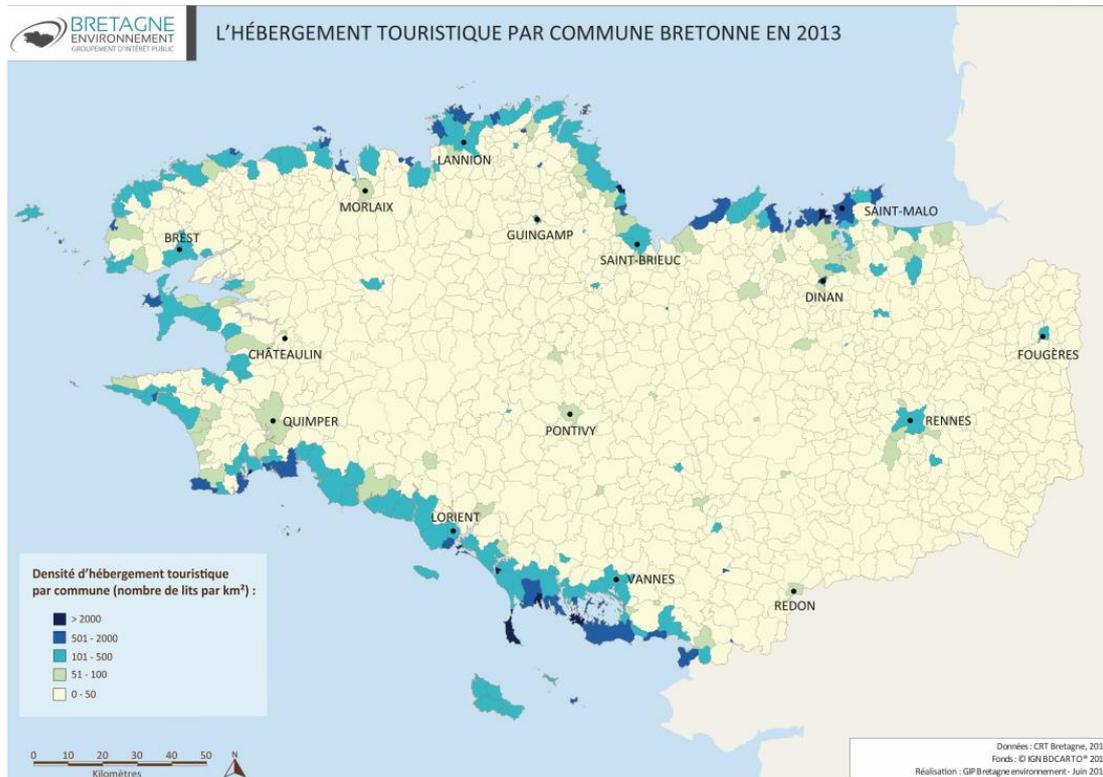
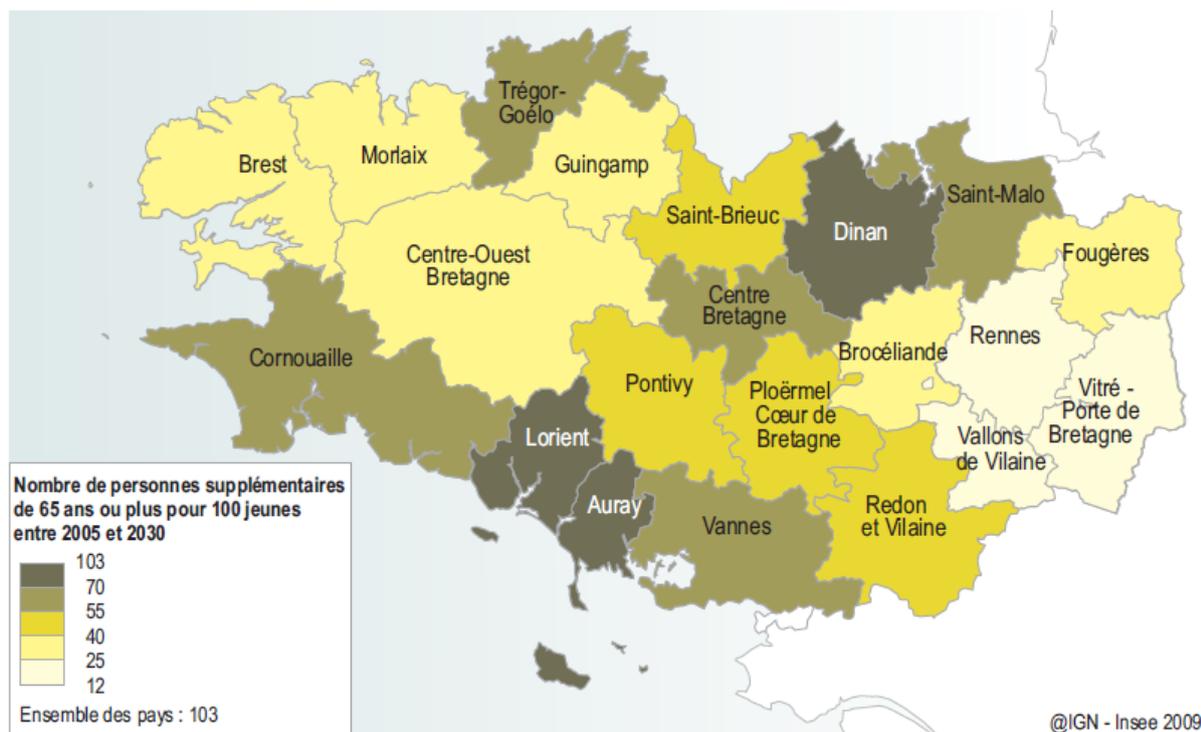


Illustration 6 - Densité d'hébergements touristiques dans les communes bretonnes (Source : bretagne-environnement.org)

De ce fait, les résidences secondaires et les logements occasionnels représentent 17,9 % des logements, et le secteur d'activité principal est le "commerce, transports, services divers", à 39,8 % en 2015 (source Insee).

D'après les projections, la population bretonne devrait vieillir significativement d'ici 2030 : les jeunes de moins de 20 ans seraient alors moins nombreux que les personnes de 65 ans ou plus sur la plus grande partie du territoire breton. Le vieillissement devrait être plus marqué dans les pays déjà les plus vieux, notamment de Vannes à la Cornouaille sur le littoral sud. Le nombre de personnes âgées pour 100 jeunes pourrait dépasser 55. Le vieillissement de la population pourrait être plus marqué sur le littoral, et notamment en Bretagne Sud, du fait de l'installation de populations retraitées, attirées par la douceur du climat et suffisamment aisées pour se loger dans des zones où le foncier est élevé.

Le bassin de Rennes serait le seul à ne pas connaître une baisse moins importante de sa population active potentielle (Illustration 7). Au contraire, les territoires qui vieilliraient le plus seraient les pays de Dinan, Lorient et Auray, dont la population active pourrait baisser de près de 10 points, suivis par les pays de Saint-Malo, Centre-Bretagne, Trégor-Goëlo, Cornouaille et Vannes. Les écarts entre les poids des actifs potentiels des différents pays devraient donc se creuser au cours des décennies à venir.



Source : Insee, enquêtes annuelles de recensement - projections de population

Illustration 7 Projection de l'augmentation du rapport entre personnes de 65 ans ou plus et moins de 20 ans à l'horizon 2030 en Bretagne (source IGN – Insee 2009 ; www.armorstat.com)

Ainsi le Morbihan, voit comme beaucoup de département littoral, son territoire maritime fortement convoité et des « territoires du vide » transformés en « territoires du plein » voire du « trop-plein ».

3.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Les lignes qui suivent s'inspirent très largement de l'article de M. Ballèvre et collaborateurs, paru en 2012/2013, intitulé : « Histoire géologique du Massif armoricain : actualité de la recherche », dans le Bulletin de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne (SGMB), qui ont été enrichies et centrées sur le Morbihan.

L'histoire géologique du Morbihan correspond en grande partie à la construction de la chaîne hercynienne (varisque entre 360-300 millions d'années), qui est résultat de la collision entre deux anciens continents Gondwana correspondant à l'Europe et l'Afrique (à l'Est) et Laurentia correspondant à l'ancienne Amérique du Nord à l'Ouest (Illustration 7).

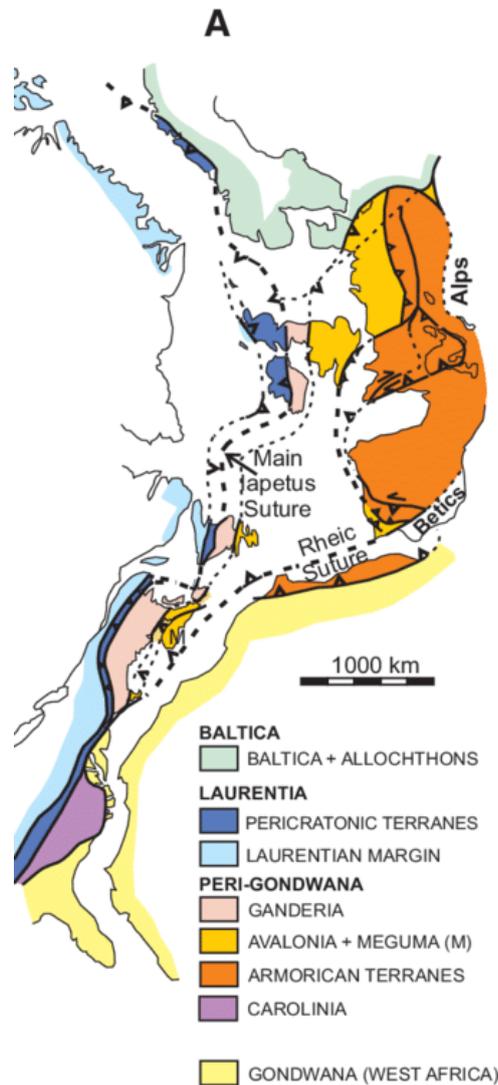


Illustration 8 - Reconstitution de la chaîne appalachienne transatlantique avant l'ouverture de l'Atlantique (à gauche : Laurentia ; à droite : Gondwana).

Comme toute chaîne de montagne, la rencontre de ces masses continentales correspond à la fermeture de domaines océaniques. Pour la chaîne hercynienne bretonne, le massif armoricain était pris entre au moins deux subductions de domaines océaniques ayant des vergences opposées, permettant d'identifier au moins deux sutures océaniques de part et d'autre de la microplaque ibéro-armoricaine.

Au Nord, la suture correspondrait à la disparition d'un océan appelé « Rhéic » dans le pays du Léon alors qu'au Sud, le **domaine sud-armoricain** qui contient l'ensemble de la géologie du Morbihan, possède une ou possiblement plusieurs sutures océaniques d'Audierne à Drain, attestées par la présence des schistes bleus de Groix ou du Bois-de-Cené et des éclogites d'Audierne, de Cellier ou des Essarts.

La construction du domaine sud-armoricain.

La chaîne hercynienne ou varisque débute au Carbonifère inférieur par un empilement de nappes.

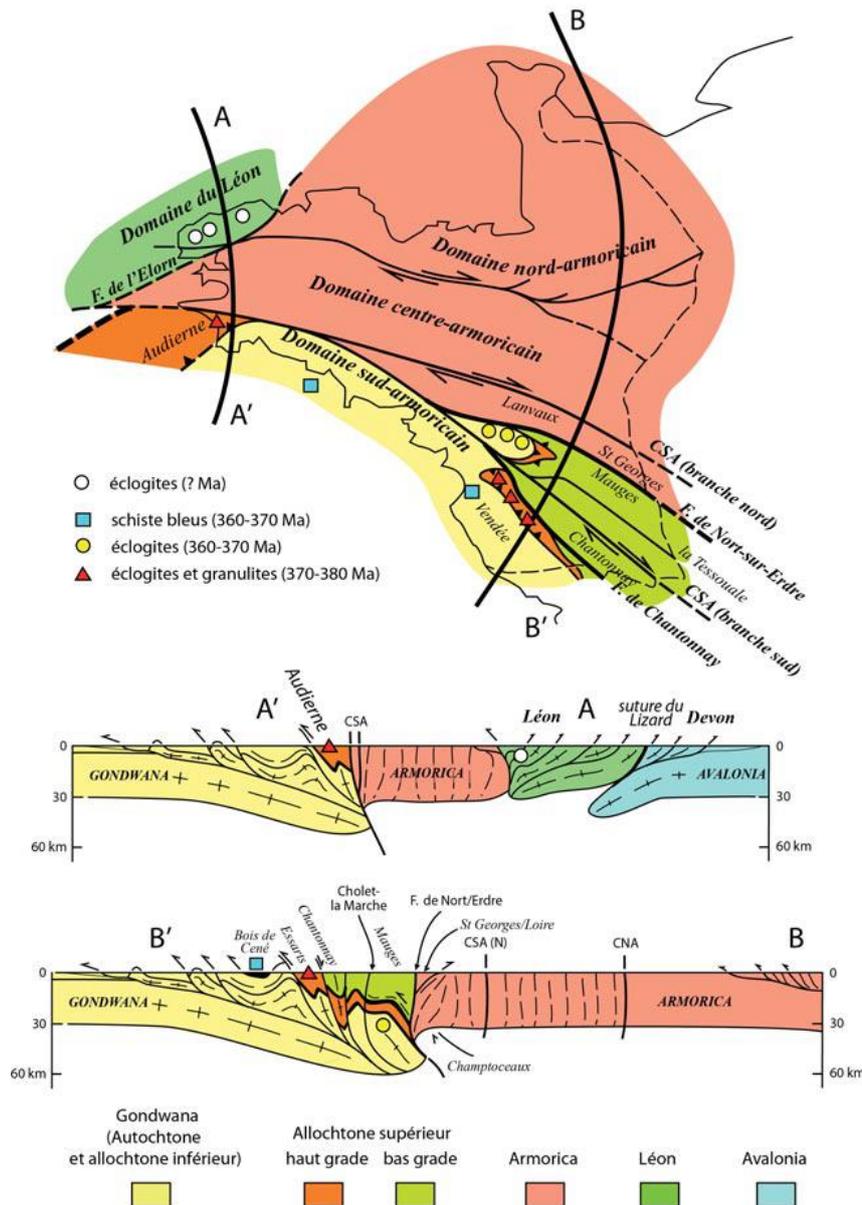


Illustration 9 – Coupes géologiques d'échelle crustale du Massif Armorica (Ballévres et al., 2013)

Le **cisaillement sud-armoricain (CSA)** qui s'étend de la Pointe du Raz à l'ouest et qui se sépare vers l'est, en deux branches, une branche septentrionale de Malestroit à Angers, et une branche méridionale d'Hennebont à Nantes et Saint-Maixent-l'Ecole (Jégouzo, 1980), se ramifie vers l'est en une multitude de failles décrochantes.

Le cisaillement sud-armoricain joue en décrochement dextre durant le Carbonifère supérieur avec un rejet horizontal apparent de près de 200 km. C'est une structure d'échelle régionale et une faille d'échelle crustale, qui va servir de drain permettant la mise en place de magmas granitiques claires (les leucogranites ou « granites à 2 micas »). Dans ce contexte de déformation de grande envergure, les granites vont être déformés montrant des passages de faciès isotropes, loin de la zone de cisaillement, à des faciès avec des structures C-S comme dans la carrière de **Lescastel à Elven**, jusqu'à des faciès de mylonites dans la zone de cisaillement proprement dite (Berthé et al., 1979 ; Jégouzo, 1980).

Le schéma ci-dessous résume l'état de la connaissance actuelle de la chaîne varisque au niveau du Sud de la Bretagne (Ballèvre et al., 2013).

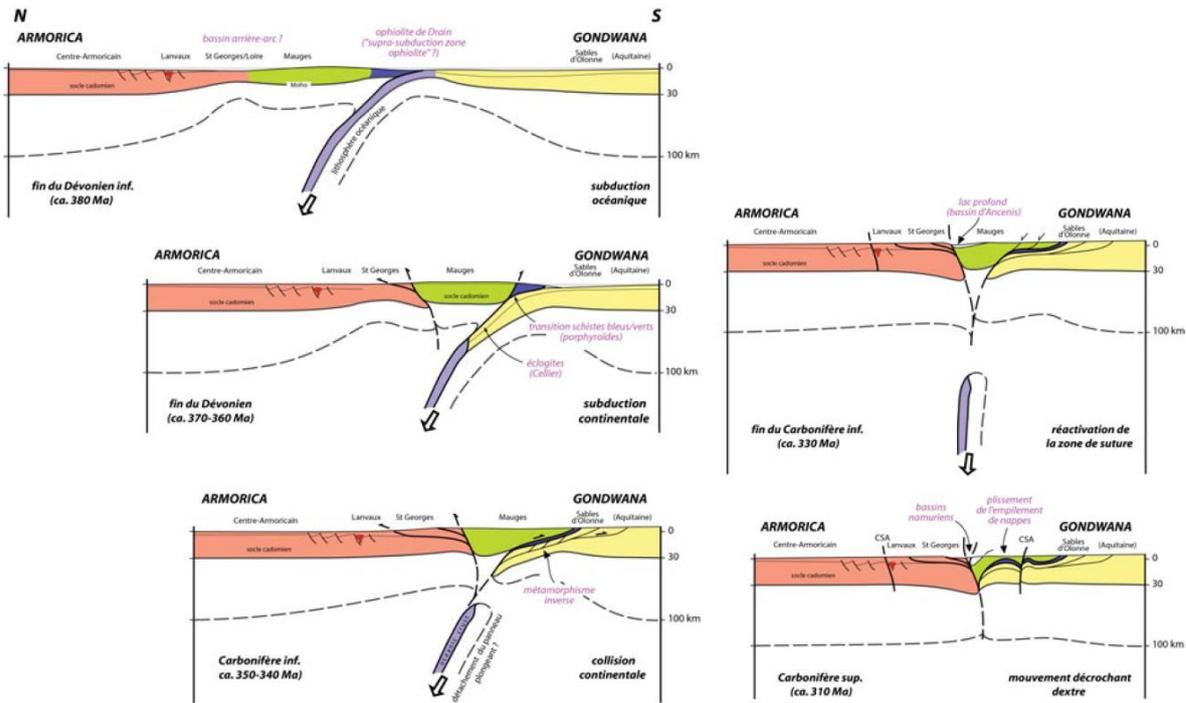


Illustration 10 - Evolution tectonique de la zone de suture sud (Armorica-Gondwana). Comme dans tous les essais de reconstruction de ce type, des choix arbitraires doivent être effectués (en rouge, avec point d'interrogation), tout en satisfaisant le maximum de contraintes géologiques (en rouge, sans point d'interrogation) (Ballèvre et al., 2013).

Comment le Morbihan est-il passé d'un relief montagneux à une plaine littorale envahie par des petites mers peu profondes ou des marais maritimes ?

Depuis la fin de l'Hercynien, les débats sont toujours d'actualité ! Comment est-on passé d'une chaîne de montagne à une plaine littorale envahie par des petites mers peu profondes ou des marais maritimes ?

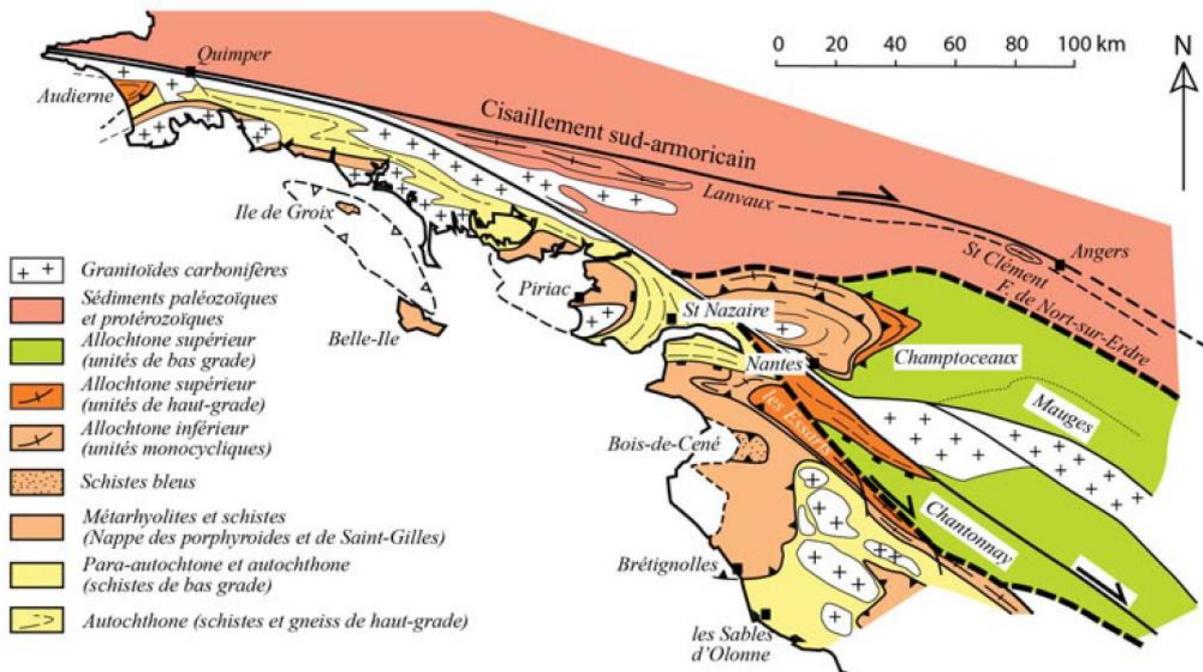


Illustration 11 – Carte géologique simplifiée du Morbihan (Ballèvre et al., 2013)

Le Carbonifère supérieur (320-300 Ma)

Alors que les plaques s'entrechoquent et que l'épaississement de la croûte terrestre est maximal, des bassins sédimentaires s'installent au Viséen au Westphalien (entre 340 et 310 Ma). Ces bassins annoncent la fin de la collision à la fin du Westphalien (310 millions d'années), la création d'une multitude de petits bassins stéphaniens (310-300 Ma).

Cette épisode d'effondrement gravitaire est généralisé à l'ensemble du domaine sud-armoricain. Au sud du Cisaillement Sud-Armoricain (CSA), une zone de cisaillement ductile, en faille normale, datée aux alentours de 300 Ma par quelques intrusions de leucogranites synchroniques (Quiberon : Brown et Dallmeyer, 1996 ; Sarzeau : Turrillot et al., 2010), sépare :

- Un ensemble supérieur de porphyroïdes de Belle-Île à la Vendée et les schistes bleus de Groix et du Bois-de-Cené,
- D'un ensemble sous-jacent de gneiss et schistes du Golfe du Morbihan, Sables d'Olonne (Gapais et al., 1993 ; Cagnard et al., 2004).

Dans la partie supérieure, l'extension ductile de direction E-W dans les porphyroïdes comme dans les schistes bleus de l'île de Groix, développant des blocs basculés d'échelle décimétrique pouvant marquer l'épisode extensif carbonifère. Dans la partie inférieure, c'est un dense réseau de filons granitiques, de direction N20, dont celui de l'île d'Arz fait partie.

Cette extension est synchronique avec le CSA mais n'est pas reconnue au nord de celui-ci, et la cinématique du CSA peut être en partie, compatible avec ce mouvement extensif. Cet effondrement est associé à la naissance de nombreuses intrusions granitiques.

Cette extension est accompagnée des successions sédimentaires qui enregistrent l'érosion de la chaîne dont certains niveaux vont être carbonneux comme au **Stéphaniens**, le long du CSA à Quimper ou dans la Baie des Trépassés.

Au Permien (300-250 Ma) : La Manche s'émancipe.

Faisant suite à l'extension carbonifère supérieur, le rifting de la manche n'a pas d'effet direct sur le Morbihan.

Le Trias (250-200 Ma) : Erosion

Le Trias est une longue période d'érosion c'est-à-dire où les reliefs vont être arrondis, ameublis. Si sur le Massif Armoricain breton, il n'existe pas de dépôts triasiques (pour le moment reconnus) ; dans les dépôts triasiques de bassin de Paris, des éléments provenant de la Bretagne, sont présents comme ceux issus des unités de Saint-Georges-sur-Loire ou des Mauges, attestant du fait que le Massif Armoricain correspondait à un relief. Ce n'est qu'à la fin du Trias, que la sédimentation reprend sur les marges du Massif armoricain, cependant entre la base du Permien (env. 290-270 Ma) la fin Trias (env. 210-200 Ma), persiste une lacune de 60 Ma environ, ce qui souligne une histoire du Massif armoricain continentale.

Les prémisses de l'ouverture de l'Atlantique et la remontée de la plaque Afrique

Avec la fermeture des domaines océaniques lors de la formation des chaînes de montagne cadomienne et hercynienne, le résultat a été la création d'un continent important la Pangée.

L'ouverture de l'Atlantique, peut-être par une accumulation importante de chaleur sous la Pangée, va la disloquer, permettant d'observer d'une rive à l'autre de l'Atlantique des parties de cette chaîne varisque. Dans un premier temps constituant la microplaque ibérique (Espagne, Portugal), qui se séparera de l'Europe au moment de l'ouverture du golfe de Gascogne, au Crétacé. Enfin l'ouverture de l'Atlantique Sud entrainera une remontée de la plaque Afrique vers le Nord et la création de la chaîne pyrénéenne.

Les témoins de cette histoire géologique ne sont pas clairs sur dans le Massif Armoricain, en termes de parts respectives à attribuer à un événement ou à un autre.

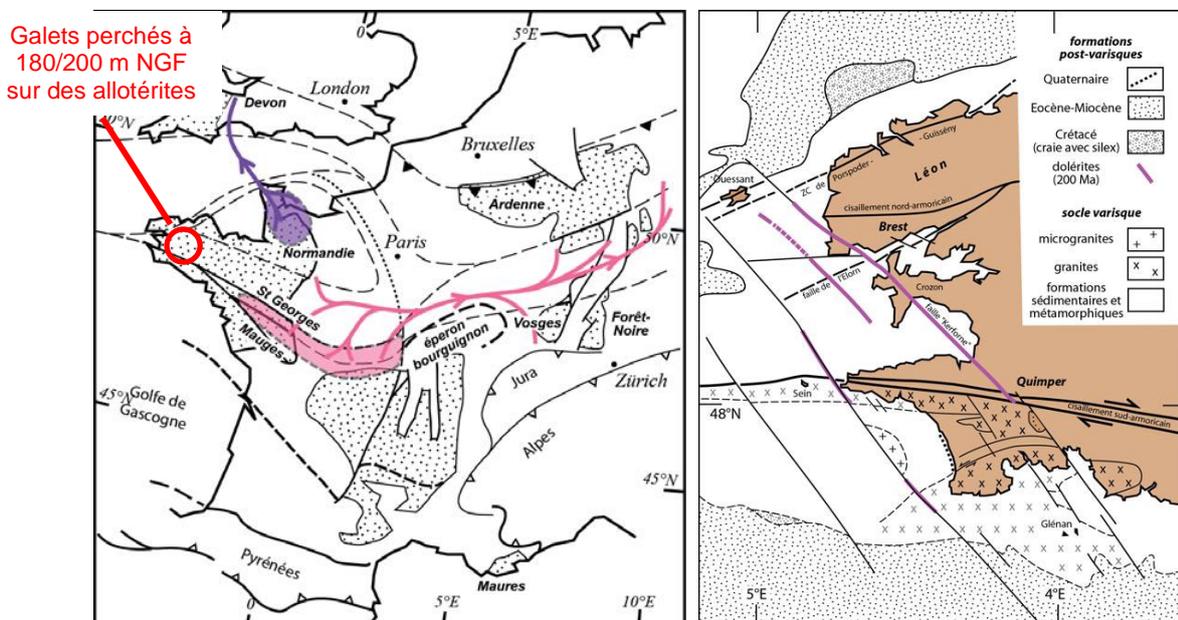


Illustration 12 – Evolution géologique post hercynienne du Massif Armoricain (Ballèvre et al., 2013)

Les seules roches (ou formations géologiques) avec des âges qui coïncident avec cette période sont la présence des filons de dolérites. Dans l'ouest du Massif Armoricain, ces filons de dolérites de 10 à 30 m d'épaisseur, atteignent des longueurs considérables (plusieurs dizaines, voire une

centaine de kilomètres). Le plus connu est celui qui recoupe suivant une direction SE-NW, toutes les structures hercyniennes depuis la baie de Concarneau jusque dans le Léon (Caroff et al., 1995 ; Caroff et Cotten, 2004). Ces dolérites sont des roches basaltiques de type tholéitique, issues de magmas de la fusion partielle du manteau supérieur avec une contamination de la croûte inférieure et datées à la limite Trias/Jurassique à environ 200 Ma.

Ces filons parallèles aux failles tardives varisques (comme la « faille Kerforne »), se retrouvent aussi sur les marges continentales américaines et africaines. Dans l'Atlantique septentrional, de tels filons sont également connus à Terre-Neuve et en Espagne. Les filons doléritiques de la partie orientale du Massif armoricain sont donc généralement considérés comme associés aux premiers stades du rifting atlantique, et permettent de déterminer la dérive apparente du pôle au Jurassique (Sichler et Perrin, 1993).

La transgression jurassique

L'histoire géologique entre 240 et 65 millions d'années demeure assez mal connue. Les épaisses séquences sédimentaires du Trias et du Jurassique (230 à 200 millions d'années), qui se déposent en Manche, en Aquitaine et dans le bassin parisien, n'ont aucun témoin connu sur la péninsule bretonne. Seules des intrusions magmatiques (sous la forme de filons de dolérites de direction NW-SE à NS) et datées à 205 Ma, témoignent d'une période d'extension, prélude de l'ouverture de l'océan Atlantique nord.

Aucun témoin de la transgression jurassique ne subsiste au cœur du Massif armoricain, bien que la possibilité de l'existence de ce Jurassique dans le sous-sol de Chartres-de-Bretagne ait été envisagée, mais réfutée à la suite du forage Chartres1 (Bauer *et al.*, 2010). A une échelle globale, celle de la France, voire de l'Europe occidentale, la mer jurassique recouvrit une paléotopographie plane: la chaîne varisque fut, peut-on dire, pénéplanée dès le début du Jurassique. Cette « pénéplaination » n'est probablement pas le seul résultat d'une longue période d'érosion, mais la combinaison entre cette érosion et une ou plusieurs tectoniques extensives.

La chaîne varisque, construite durant le Dévonien et le Carbonifère, a été pénéplanée au Permien et au Trias, comme le montre la « fossilisation » de sa paléotopographie par la transgression jurassique.

L'image selon laquelle le Massif armoricain constitue depuis le Permo-Trias une île au sein des mers méso-cénozoïques ne résiste cependant pas à l'analyse : le relief actuel du Massif armoricain – c'est-à-dire le fait même de l'affleurement du socle varisque – montre au contraire que ce socle fut déformé au Méso-cénozoïque (Guillocheau *et al.*, 2003 ; Dugué *et al.*, 2005).

Le Cénozoïque (la maladie tertiaire) :

Au Cénozoïque (65 millions d'années), la Bretagne est considérée comme essentiellement continentale (Durand, 1960 ; Estéoule-Choux, 1967) et les roches du massif armoricain (schistes, gneiss et granites) auraient pu subir une altération¹, les transformant in situ en arènes, limons et argiles d'altération (riche en kaolinite). A ces altérites résiduelles, on retrouve des occurrences de fer (cuirasses), exploitées depuis la préhistoire. L'Éocène inférieur (55 millions d'années), est

¹ L'altération correspond au phénomène de dégradation de la roche sous l'effet notamment des conditions météorologiques telles que la pluviométrie et le gel, conduisant à l'apparition de matériaux meubles, facilement mobilisables et érodables. Ces matériaux peuvent être plus ou moins grossiers (type sables et arènes) ou fins (type argiles) selon le degré d'altération.

caractérisé par une période d'altération importante des roches du substratum, décrites ci-dessus, sous des climats chauds et humides, déterminant des profils latéritiques de 70 à 100 m d'épaisseur. La fin de cette période d'altération est marquée par des horizons de silicification (conglomérats, grès ladères et de sabal) interprétés par Wyns et Guillocheau (1999), comme une période, pour l'Europe du nord, caractéristique d'une subsidence lithosphérique. Ces silicifications d'âge supposé Éocène moyen sont observables sur l'ensemble de la Bretagne.

Les failles NW-SE cassantes vont s'individualiser sur les filons de dolérites carbonifères à triasiques, et jouer pendant le Tertiaire (comme la Faille ou Accident de Quessoy-Nort-sur-Erdre FQN ou encore de Chartres-de-Bretagne/Pont-Péan), pour créer des bassins d'effondrement (grabens) qui vont se remplir de sédiments argilo-sableux accompagnés de minces niveaux de lignite. Les mouvements tectoniques syn- à post- Éocène affectent les niveaux latéritiques, leur conférant une géométrie « en touches de piano ». Le remplissage de ces bassins va se poursuivre de l'Oligocène au Miocène par l'intermédiaire d'argile, de calcaires, et de sables calcaires (Mer des faluns). Au Miocène tardif - Pliocène, les sables rouges et les dépôts marins associés vont venir combler une paléo-topographie de type « ria » (Guillocheau et al., 1998).

Le Quaternaire correspond au début des cycles glaciaires et donc à un changement climatique général vers 2,4 millions d'années. Une alternance de périodes froides et de réchauffements (périodes tempérées ou interglaciaires), va se succéder où pendant les périodes froides une ligne de rivage plus basse et, sur les parties continentales, un gel provoquant la fracturation des roches affleurantes et leur transit sur les versants, par cryoturbation, fauchage et gélifluxion (*heads*). Pendant les périodes tempérées interglaciaires, les niveaux des mers vont être proches de l'actuel.

L'Holocène (interglaciaire actuel) marque le retour d'un climat tempéré depuis 10 000 ans environ. Même si la fin de la dernière glaciation est mal connue, on dispose de nombreuses informations sur la flore et les variations du niveau marin depuis 8 000 ans (Morzadec-Kerfourn, 1974). La ligne du rivage est ainsi remontée de 80 m jusqu'au 0 actuel. De ce fait, les principales vallées des rivières côtières actuelles se prolongent en mer, ce réseau de paléo-vallées ennoyées, ayant été creusé lors de périodes froides, en relation avec les abaissements importants du niveau marin, notamment au Pléistocène supérieur (entre 8 000 et 120 000 ans).

L'actuel:

La base de données nationale de la sismicité historique SisFrance du BRGM, de l'EDF et de l'IRSN (2008) dénombre pour les séismes d'intensité épiscopentrale supérieure ou égale à 5, pour la région Bretagne, 38 séismes, s'étalant de 1843 à 2002.

L'un des séismes les plus importants pour la région Bretagne est la secousse sismique du 30 septembre 2002, avec une intensité épiscopentrale de 5,5 dans la région d'Hennebont. Ce séisme n'a pas fait de victimes, mais a causé des dégâts matériels réduits comme des chutes de cheminées, fissurations de murs, bris de vitres. Ce séisme du 30 septembre 2002 de Hennebont, a fait l'objet d'un article scientifique publié (J. Perrot et al., 2005) et il serait la conséquence d'une faille d'orientation N120-N150 ayant rejoué, suivant une contrainte locale orientée NW-SE avec une composante décrochante et en faille normale (affaissement). La profondeur de l'épicentre de ce séisme se situerait à environ 12km.

Cependant, d'autres séismes peuvent être signalés, comme celui du 9 janvier 1959 en Cornouaille à Melgven (29), avec une intensité épiscopentrale de 7, ou encore celui du 16 janvier 1930 d'intensité épiscopentrale de 7 à Meucon dans les Landes de Lanvaux.

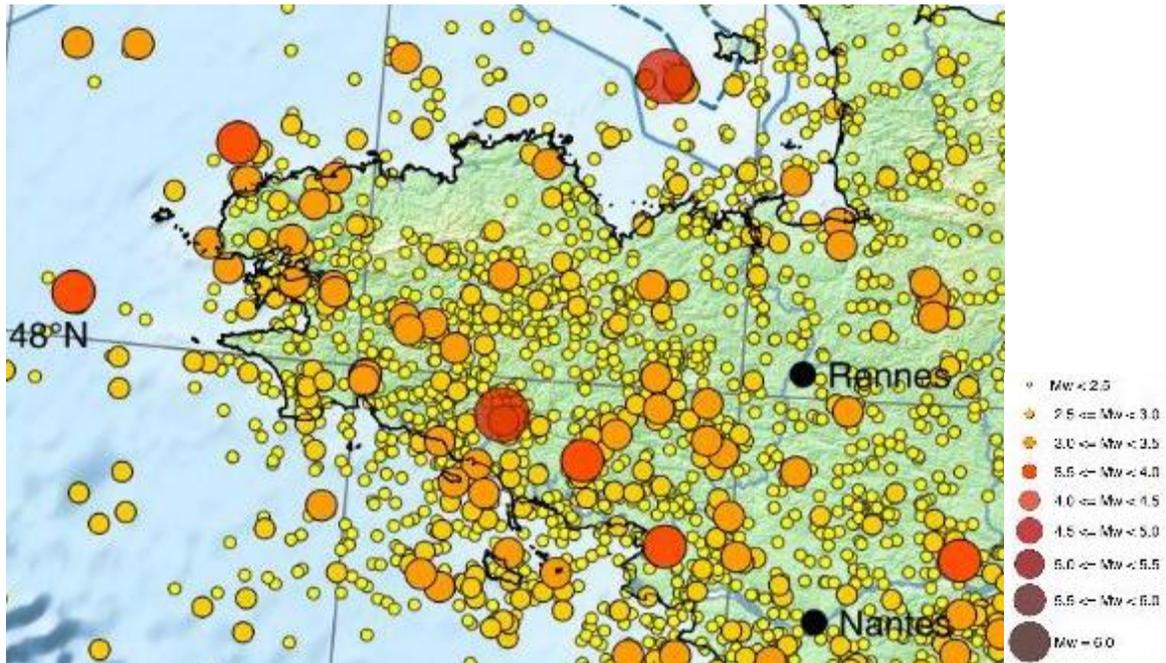


Illustration 13 : Sismicité instrumentale de la France métropolitaine entre 1962 et 2018

3.2.1. Le contexte géomorphologique des côtes morbihannaises

La partie littorale du département du Morbihan se trouve donc sur le domaine Sud Armoricaïn, constitué essentiellement de roches métamorphiques et de granites, conférant à la côte un caractère très découpé et tortueux. Les îles au large des côtes sont quant à elles constituées de roches granitiques (Houat et Hœdic) ou de métasédiments (Belle-Ile et Groix). Le Golfe du Morbihan compte également de nombreuses îles comme l'île-aux-Moines et l'île d'Arz, constituées de granites et anatexites. Ces différentes lithologies sont plus ou moins altérées (cf note de bas de page en page 30) et fracturées.

Par ailleurs, de par son histoire géologique et son contexte sismo-tectonique, le département du Morbihan présente des zones basses étendues, comparativement à celles observées en Bretagne Nord (Baie du Mont-Saint-Michel mise à part). Ces zones basses, dont l'importance peut s'expliquer par la subsidence de la Bretagne Sud, s'illustrent par la présence de plans d'eau quasi-fermés (petite mer de Gâvres, Golfe du Morbihan), de zones submersibles et d'une altération potentiellement importante des formations rocheuses.

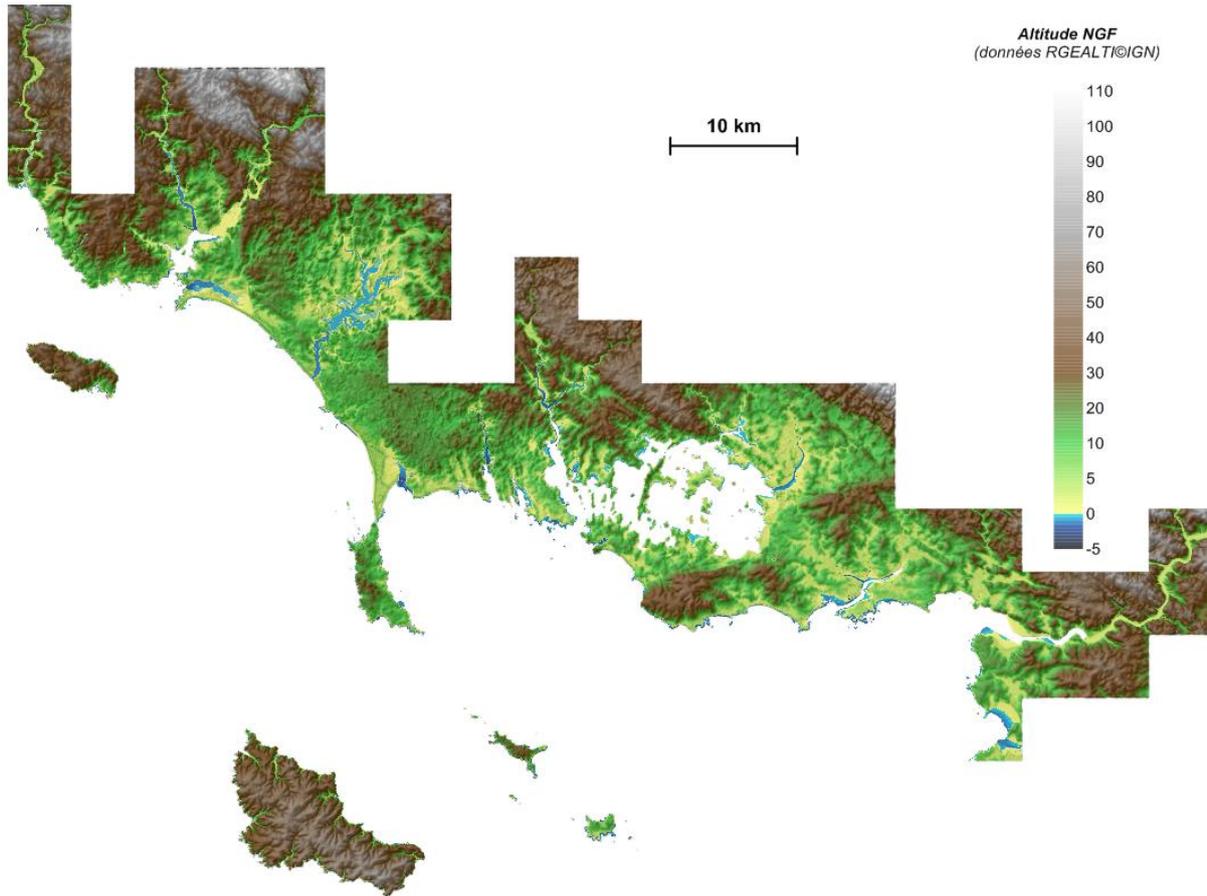


Illustration 14 – Topographie du littoral du Morbihan ; les zones basses apparaissent dans les nuances jaune-vert (d'après les données du RGE ALTI IGN)

D'un point de vue plus géomorphologique, les côtes morbihannaises sont principalement des côtes rocheuses basses (avec une lithologie plus ou moins meuble) et des côtes d'accumulation (plages adossées, cordons dunaires, formes fuyantes, marais maritimes), conférant une certaine diversité aux paysages littoraux morbihannais. Les côtes à falaises rocheuses sont principalement localisées au niveau de la côte Ouest de la presqu'île de Quiberon, au niveau des îles de Groix et Belle-Ile, et de la presqu'île de Rhuys. D'après Pian (2010), les côtes basses à falaises meubles représentent 37 % du linéaire côtier (cf paragraphe 3.3.3). Ce sont des falaises avec une altitude inférieure à 10 m, et dont la lithologie peut varier selon les secteurs.

Il faut aussi noter la présence de dépôts quaternaires (limons et colluvions), appelés dépôts de pente ou « heads », recouvrant des platiers rocheux sur de nombreux secteurs.

Par ailleurs, le grand cordon dunaire qui s'étend de Gâvres à l'isthme de Penthièvre, ce dernier étant un tombolo fixé à la presqu'île de Quiberon, est un élément marquant du paysage du Morbihan : c'est en effet le plus grand massif dunaire de Bretagne, s'étendant sur 35 km (Préfecture du Morbihan, 2017), et désormais labellisé Grand Site de France.

D'un point de vue sédimentaire, les campagnes océanographiques récentes ont permis de mettre en évidence que 2 principaux domaines se distinguent en termes de sédiments au large des côtes morbihannaises (Illustration 15) :

- De Guidel à Quiberon, on trouve essentiellement des sédiments grossiers (graviers et sables), localement plus fins (vases) entre Guidel et l'île de Groix et au large de la rivière

d'Étel, avec des épaisseurs restant modérées (inférieures à 10 m, sauf dans les secteurs vaseux) ; la présence de ces sédiments grossiers est cohérente avec la forte agitation qui peut régner dans ce secteur, peu protégée des houles venant de l'Atlantique et du Golfe de Gascogne.

- De Quiberon à la Vilaine, les sédiments rencontrés sont essentiellement vaseux, et sur des épaisseurs pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres en comblement de paléo-vallées. Ceci peut s'expliquer d'une part par les apports sédimentaires de la Vilaine, et d'autre part par la relative protection offerte par la presqu'île de Quiberon et les îles contre les houles venant de l'Atlantique et du Golfe de Gascogne, qui limite l'agitation et l'enlèvement des sédiments fins.

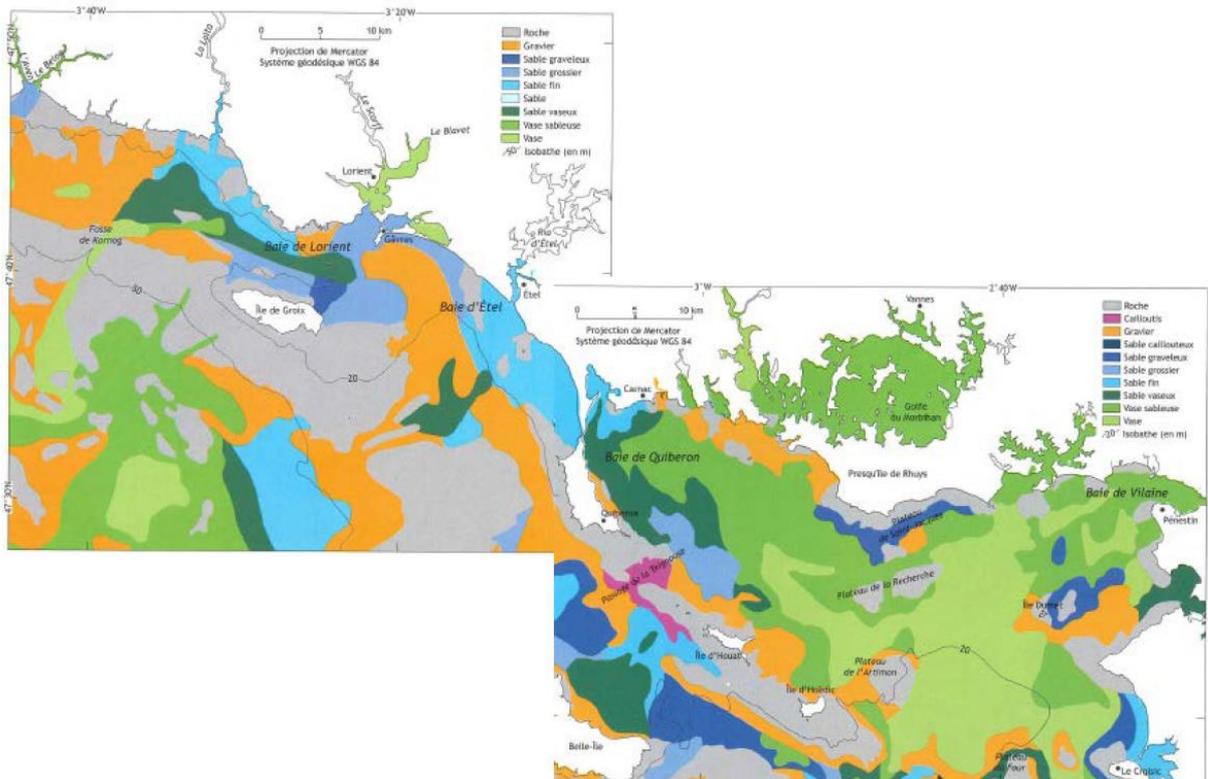


Illustration 15 – Nature des sédiments superficiels au large du Morbihan (Menier et al., 2014)

3.3. ETUDES EXISTANTES SUR LES ALEAS LITTORAUX DANS LE MORBIHAN

La géomorphologie de la côte et de l'avant-côte morbihannaise a été étudiée par Ferronière (1921) et Guilcher (1948) dans un premier temps, puis par Pinot (1974) et Vanney (1977). Ces différentes analyses ont permis de cartographier, à l'échelle régionale, le cadre géomorphologique de la plateforme sud-armoricaine (Pian, 2010).

Les processus de remplissage des paléo-vallées sur celle-ci ont aussi été expliqué par les travaux de Bouysse et Horn (1968), de Delanoë et Pinot (1977), Proust et al. (2001), et enfin Menier (2004) et Menier et al. (2006).

Cependant, l'évolution des formes littorales elles-mêmes a été jusqu'à très récemment peu étudiée sur le département. Quelques études ont permis d'améliorer les connaissances à ce sujet, sur certains secteurs en particulier, comme les travaux de Jussy et Guilcher (1962), sur la baie de Quiberon, et de Bos et Quélénnec (1988), sur le secteur s'étendant de Guidel à la Trinité-

sur-Mer. Plusieurs mémoires de Master ont aussi abordé ce sujet : Boutin (1995), Caroff (1998), Dubois (2007), ont notamment travaillé sur la morphologie et les dynamiques sédimentaires, du Golfe du Morbihan. D'autres mémoires ont traité les impacts des pratiques anthropiques (fréquentation et infrastructures touristiques) sur l'évolution de la côte dans le Golfe du Morbihan (Gicquel, 2005) et à Pénestin (Probert, 2000).

Les collectivités locales (agglomérations et communes) et les services de l'Etat ont été amenés à étudier à plusieurs reprises la question des aléas « érosion et submersion marine » sur le département, à diverses échelles. Un certain nombre de travaux universitaires peuvent compléter ces éléments. Ce paragraphe vise à résumer succinctement les principales études existantes, sans en détailler le contenu exhaustif.

3.3.1. Etudes nationales et internationales

EuroSION :

Le projet européen EuroSION, achevé en 2004, a permis de caractériser à l'échelle européenne d'une part la géologie et la géomorphologie du trait de côte, et d'autre part la tendance à l'érosion de ces côtes (www.euroSION.org). L'échelle de l'étude reste toutefois relativement lâche, ne permettant pas d'interprétations à l'échelle d'un territoire restreint.

Indice National d'Erosion (INE) :

Au niveau national, le CEREMA (Hédou *et al.*, 2018) a produit à la demande de l'Etat un Indicateur National d'Erosion (INE), basé sur l'analyse diachronique de traits de côte digitalisés à 2 dates différentes (typiquement dans les années 50 et en 2010), sur l'ensemble du territoire de Métropole et des DOM-TOM (librement accessible sur www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr). Cet indicateur permet ainsi d'appréhender, à échelle nationale, la mobilité du trait de côte, notamment pour les côtes d'accumulation (les côtes à falaises sont généralement trop peu mobiles pour que leur recul puisse être qualifié).

3.3.2. Etudes régionales et départementales

Vimers :

Initialement dans le cadre de l'élaboration de la Vigilance Vagues-Submersion (VVS), puis sur financements de la DREAL Bretagne et de la Région Bretagne, Météo France a publié en 2013 l'étude VIMERS 0 (Météo France, 2013), qui consistait à inventorier les tempêtes historiques ayant pu affecter les côtes bretonnes, puis à les classer selon une typologie définie sur la base de critères météorologiques. En 2014, toujours sur financements de la DREAL et de la Région, Météo France, en partenariat avec le SHOM et le CEREMA, a publié l'étude VIMERS 1, qui visait à partir des éléments de VIMERS 0 à rechercher si certaines variations plausibles sur les paramètres des tempêtes recensées (par exemple la trajectoire, ou le phasage avec la marée) pouvaient conduire à des situations extrêmes en termes d'impacts à la côte (Météo France, 2014). Les résultats obtenus montrent que dans certaines conditions, les tempêtes historiques auraient pu aboutir à des impacts à la côte, beaucoup plus importants que ceux observés historiquement, avec par exemple des surcotes pouvant largement dépasser 2 m sur certains ports.

3.3.3. Etudes départementales

Ptolémée (2001-2002) :

En 2001-2002, pour le compte de la DDTM (à l'époque DDE) du Morbihan, l'association Ptolémée a réalisé une très importante étude sur l'ensemble du département du Morbihan, visant à mieux comprendre le comportement du littoral, avec évaluation des risques et des enjeux (Yoni *et al.*, 2001a, 2001b, 2002a, 2002b). Cette étude s'articulait en 4 phases :

- Phase 1 : Inventaire de la bibliographie existante.
- Phase 2 : Synthèse bibliographique sur la géomorphologie de la côte (Illustration 16), la couverture sédimentaire des fonds, les facteurs hydrodynamiques, les mouvements sédimentaires, l'évolution du trait de côte (par comparaison entre les cartes d'Etat-Major de 1820-1840 et les orthophotographies de 2000) ; cette synthèse a permis d'identifier un certain nombre de sites sensibles, au vu de leurs dynamiques et des enjeux potentiellement exposés.
- Phase 3 : Inventaire et caractérisation des ouvrages côtiers du département (Illustration 17), avec réalisation de fiches descriptives individuelles.
- Phase 4 : Proposition d'un programme de suivi, selon la dynamique observée, l'état des ouvrages et les enjeux exposés.

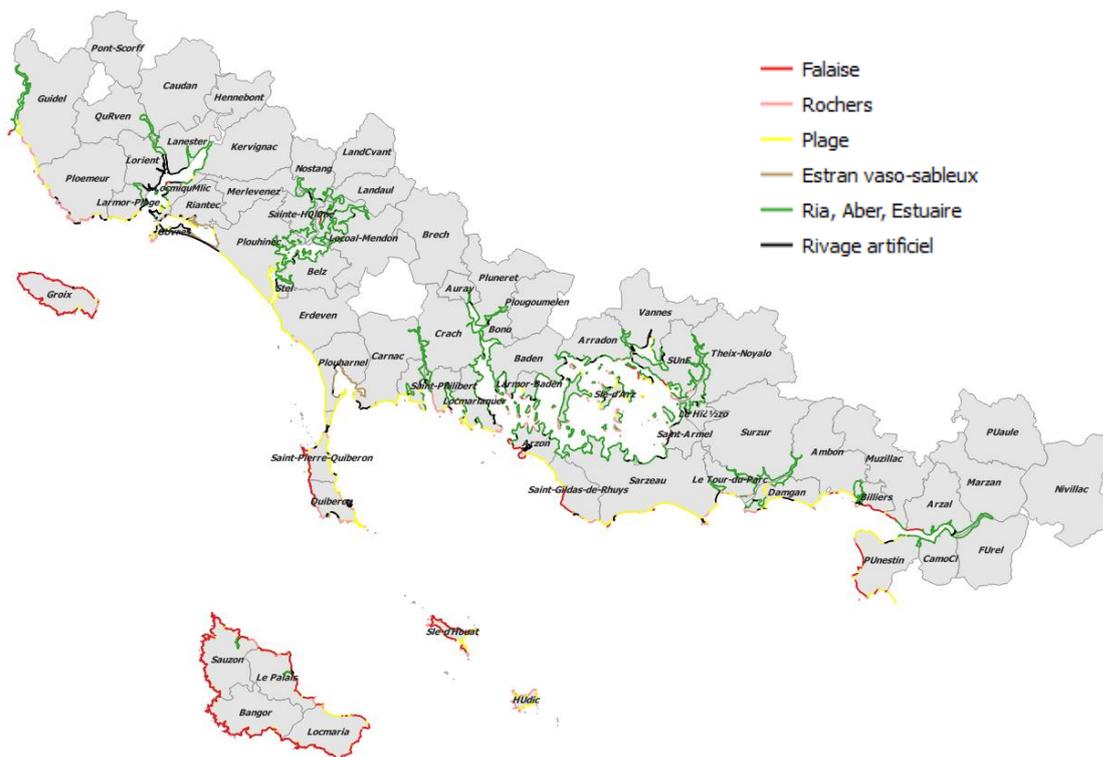


Illustration 16 – Géomorphologie du trait de côte du Morbihan (d'après les données de l'étude Ptolémée, 2001)

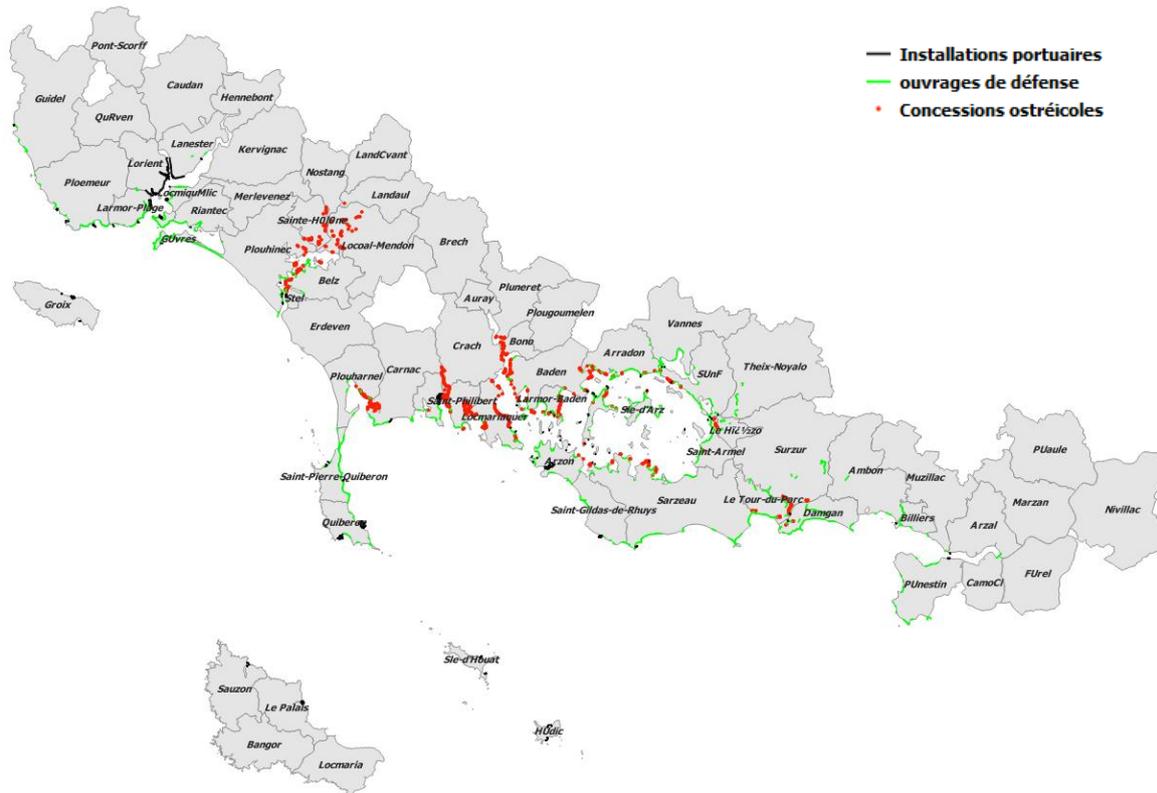


Illustration 17 – Ouvrages côtiers du Morbihan (d'après les données de l'étude Ptolémée, 2001)

Cette étude Ptolémée constitue un socle majeur de la connaissance du littoral du département du Morbihan, et a pu être utilisée comme base pour la présente étude, notamment en ce qui concerne l'inventaire des ouvrages côtiers. Les données relatives à la géomorphologie du trait de côte ont également été utilisées, mais elles se sont heurtées à 3 inconvénients majeurs :

- L'échelle des données produites (1/50 000), qui reste significativement plus grossière que celle visée par la présente étude (1/15 000) ;
- La typologie, qui s'avère beaucoup plus simple que celle définie par Schroëtter et Blaise (2015), en intégrant notamment la nature géologique des roches, leur éventuel caractère altéré et/ou érodé, et la typologie des côtes d'accumulation.
- La catégorie « Ria, abers, estuaire » utilisée par l'étude Ptolémée reste assez générique et représente près de la moitié du trait de côte traité, et notamment une très large partie du golfe du Morbihan.

Le premier bilan fourni par cette étude départementale permettait de dégager les résultats suivants :

- Sur les 1 040 km de côtes traités, 10 % ont été identifiés comme artificialisées, 26 % ont été identifiées comme des falaises ou des côtes rocheuses, 17 % comme des plages, et 47 % comme relevant de la catégorie « Ria, abers, estuaire » (Illustration 18) ;
- Entre la 1^{ère} moitié du XIX^{ème} siècle et l'an 2000, identification de 57 secteurs où le trait de côte a avancé (gain de surface de l'ordre de 357 ha) et de 98 secteurs où il a reculé (perte de l'ordre de 375 ha).
- L'identification des sites où ce recul du trait de côte est le plus important, et notamment à Guidel (dune du Pouldu, plage du Loch), à Ploemeur (anse du Pérello), la face sud du tombolo de Gâvres-Quiberon jusqu'à l'embouchure de la rivière d'Étel, à Etel (de la pointe Pradic au banc du Stang), à Erdeven (plage de Kerminihy), à Quiberon (isthme de la

pointe du Conguel), à Plouharnel (partie est de l'extrémité de la flèche de Pen er Lé), à Carnac (partie sud-est de l'anse du Pô), sur l'île d'Arz (zone de Rudevent), à Sarzeau (Pont Févis et Bénance) et Pénestin (Mine d'Or).

- 353 ouvrages côtiers ont été identifiés et décrits à travers des fiches individuelles.

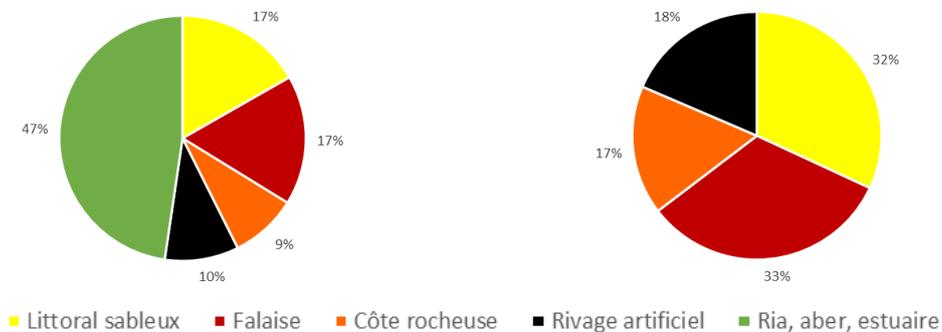


Illustration 18 – Répartition de la géomorphologie du trait de côte du Morbihan sur les 1 040 km de côtes à gauche et en excluant celles classées « Ria, aber, estuaire » à droite (d'après les données de l'étude Ptolémée, 2001)

Atlas des risques littoraux sur le département du Morbihan (DHI/GEOS, 2010-2015)

A la demande de la DDTM du Morbihan, les bureaux d'études GEOS et DHI ont réalisé un atlas des risques littoraux du département du Morbihan. Ces travaux ont couvert plusieurs aspects :

- Une analyse de l'évolution humaine du littoral et l'occupation des sols ;
- Une analyse des conditions hydrodynamiques auxquelles sont exposées les côtes morbihannaises (Illustration 19) ;
- Un inventaire des impacts à la côte, causés par des événements tempétueux (rapport Le Cornec *et al.*, 2012) ;
- Une analyse plus fine de la dynamique littorale et des évolutions du trait de côte sur les 2 secteurs allant de la plage de Pen er Malo au Fort-Bloqué et de la presqu'île de Gâvres à l'isthme de Penthièvre (DHI, 2015).

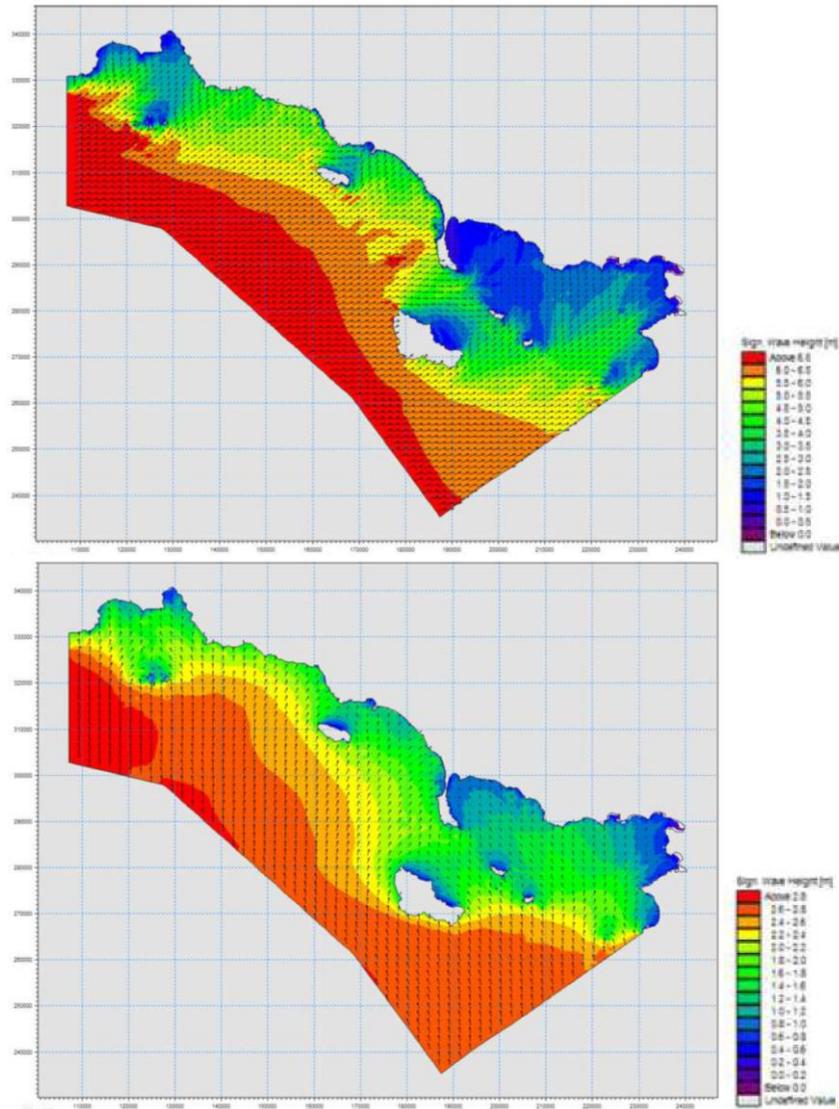


Illustration 19 – Exemples de simulations spectrales de champs de vagues au large du Morbihan pour des houles d'Ouest (en haut) et de Sud (en bas) (Source : Atlas GEOS-DHI)

Thèse de S. Pian (2010)

Soutenue en 2010, la thèse de doctorat s'est intéressée au littoral du Morbihan, à ses évolutions et à l'identification des paramètres qui influent sur cette évolution. Pian (2010) propose une première typologie du littoral du département, à l'exception des îles (Illustration 20), puis s'intéresse plus particulièrement à 5 secteurs : le massif dunaire Gâvres-Penthièvre (Illustration 21), la façade Ouest de la presqu'île de Quiberon (Illustration 22), la Baie de Quiberon (Illustration 23), le Golfe du Morbihan et la presqu'île de Rhuys (Illustration 24).

Pian (2010) a ensuite travaillé à digitaliser la position du trait de côte dans ces 5 secteurs à partir de photographies aériennes anciennes (1952, 1984/85, 1999, 2000, 2004) pour en caractériser la mobilité, avant d'analyser les contraintes naturelles et anthropiques qui peuvent interagir avec la mobilité du trait de côte (circulations sédimentaires, couvert végétal, exposition, artificialisation et piétinements...), puis de rechercher les liens entre ces paramètres et l'évolution du trait de côte par des méthodes statistiques.

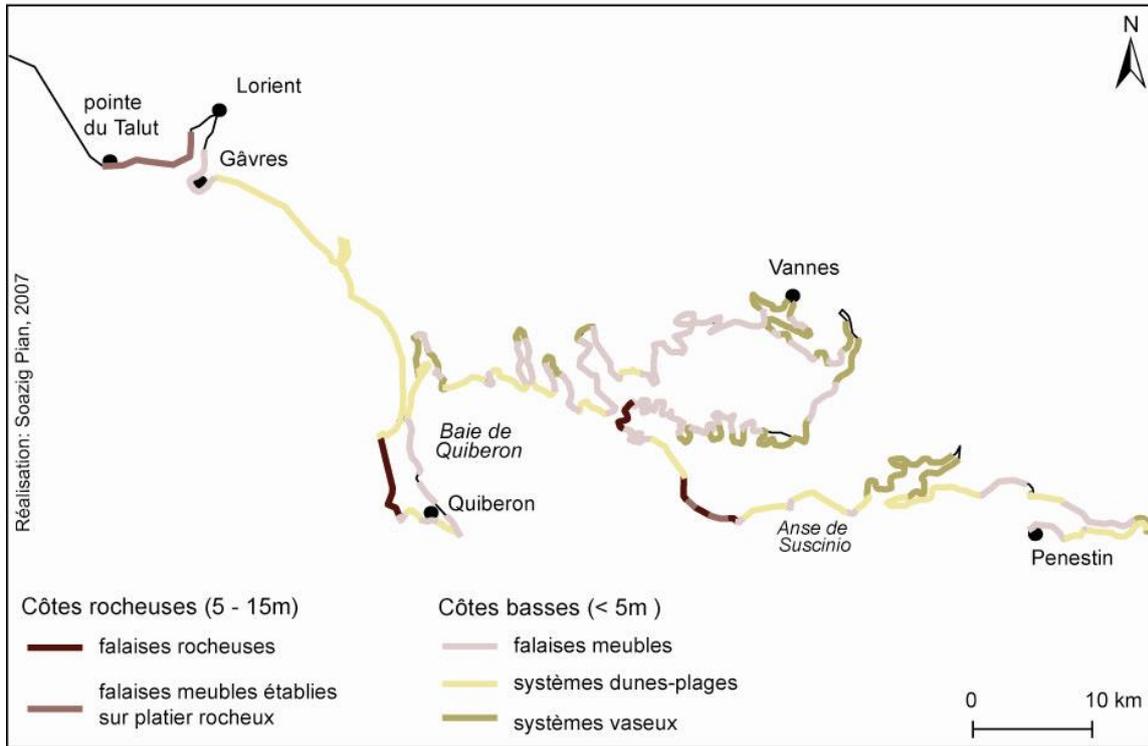


Illustration 20 - Typologie des côtes Morbihannaises (Pian, 2010)

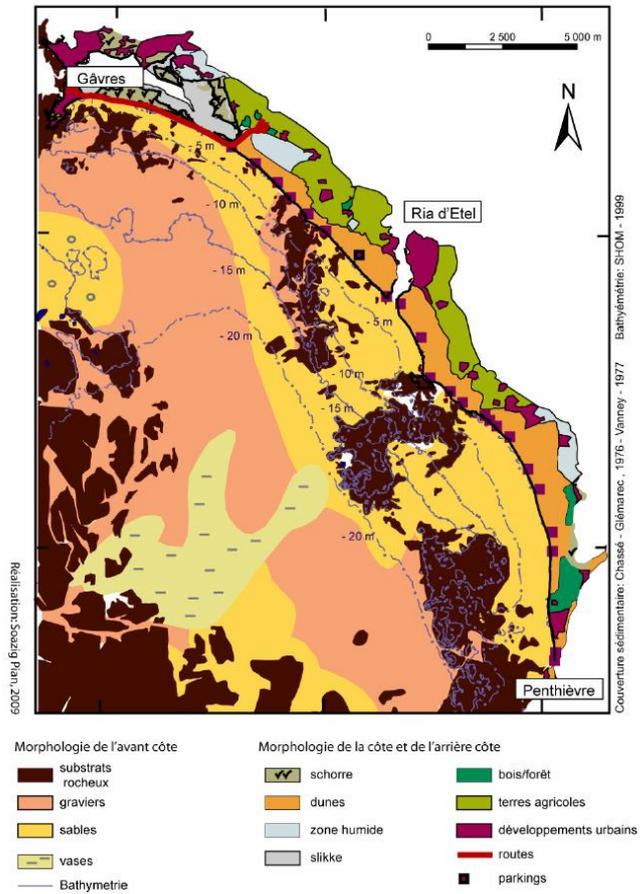


Illustration 21 – Morphologie du secteur Gâvres-Penthièvre (Pian, 2010)

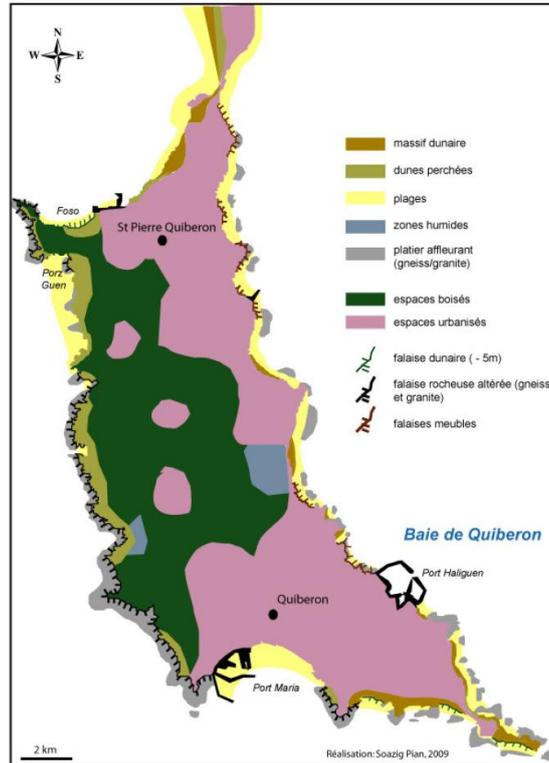


Illustration 22 – Morphologie de la presqu'île de Quiberon (Pian, 2010)

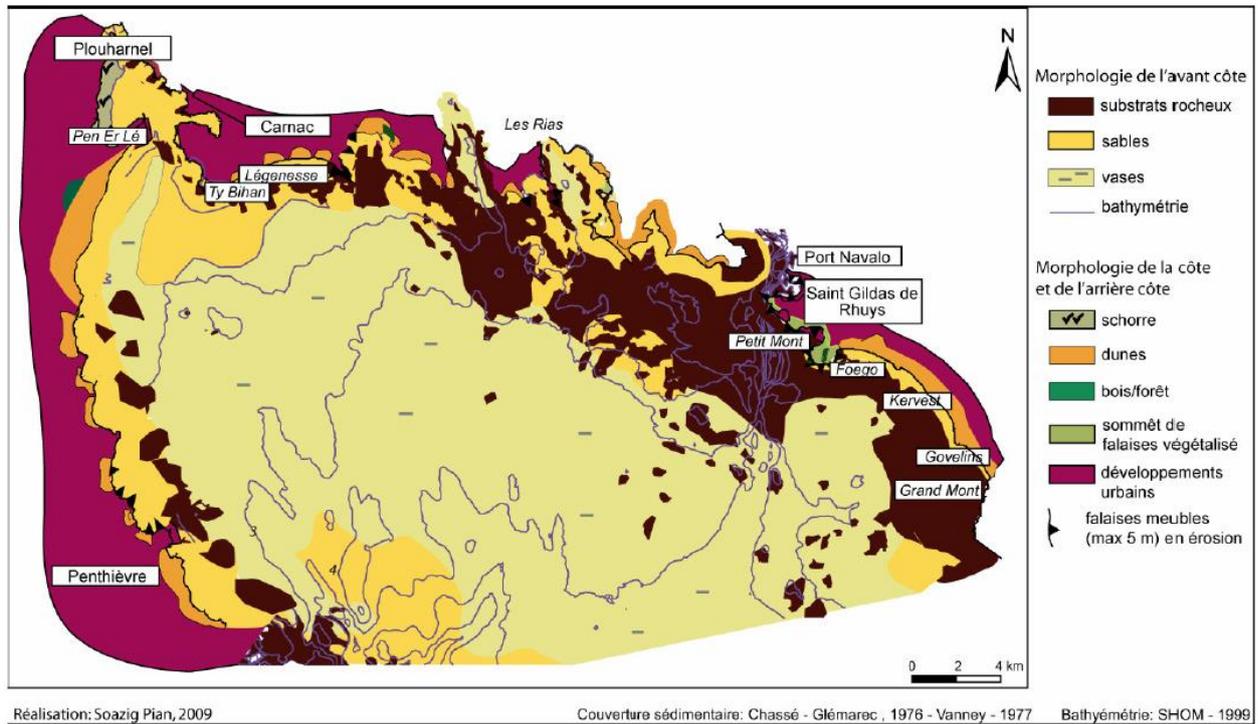


Illustration 23 – Morphologie de la Baie de Quiberon (Pian, 2010)

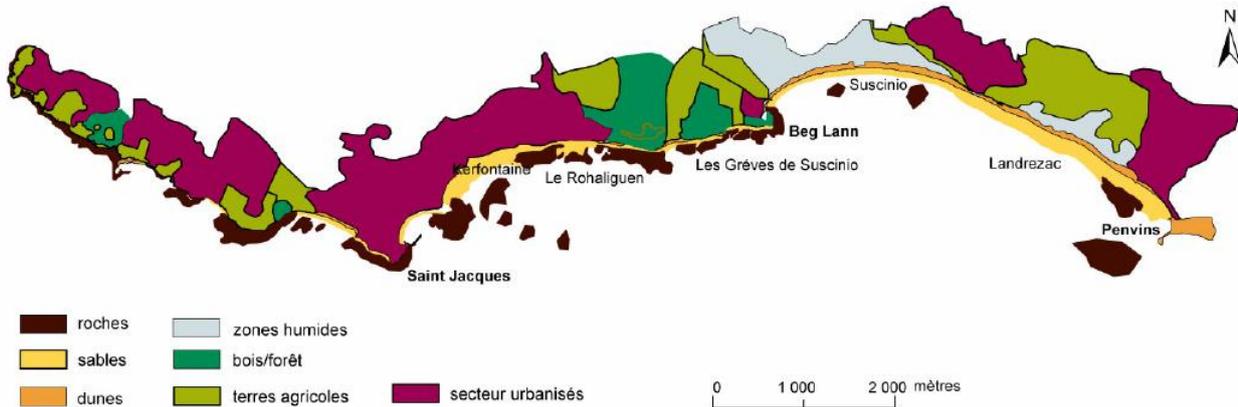


Illustration 24 – Morphologie du littoral de la presqu'île de Rhuys (Pian, 2010)

Stratégie de gestion du trait de côte dans le Morbihan (CEREMA, depuis 2017)

Dans le cadre de la gestion intégrée du trait de côte, le CEREMA s'est vu charger par la DDTM du Morbihan de la réalisation d'une étude visant à orienter la position future de l'Etat sur cette problématique dans le département.

Cette étude s'articule en 3 phases :

- Phase 1 : Caractérisation de la sensibilité du territoire morbihannais aux risques littoraux et proposition d'une typologie ;
- Phase 2 : Etude de cas et définition des modes d'intervention possibles sur le littoral et du rôle spécifique de l'État ;
- Phase 3 : Proposition d'un cadre de positionnement stratégique de l'Etat en fonction de la vulnérabilité des territoires.

A la date de publication du présent rapport, seule la phase 1 de cette étude du CEREMA est achevée (Landreau, 2018). Cette première a permis de définir une liste de 13 unités hydro-sédimentaires sur le département (Illustration 25), puis de proposer une projection de la position du trait de côte à 3 échéances (2025, 2050 et 2100), moyennant un certain nombre d'hypothèses :

- Recul lié à l'érosion estimé à partir de l'INE (paragraphe 3.3.1) ;
- Croisement avec la géomorphologie EUROSION (paragraphe 3.3.1) ;
- Prise en compte d'études locales ;
- Prise en compte des ouvrages de protection (supposés efficaces jusqu'en 2025, puis effacés) ;
- Identification des zones basses se connectant à la mer du fait de l'érosion ;
- Prise en compte des conséquences de l'élévation du niveau de la mer sous l'effet du changement climatique (+0,2 m en 2050 et +0,6 m / +1 m pour 2100) :
 - o Pour les côtes meubles, méthode simplifiée inspirée de la loi de Bruun, en considérant que la pente de l'estran reste constante ;
 - o Pour les côtes rocheuses, recul forfaitaire à dire d'expert, pour l'échéance 2100 uniquement.
- Croisement avec les enjeux identifiés ;
- Définition d'un indicateur de sensibilité.

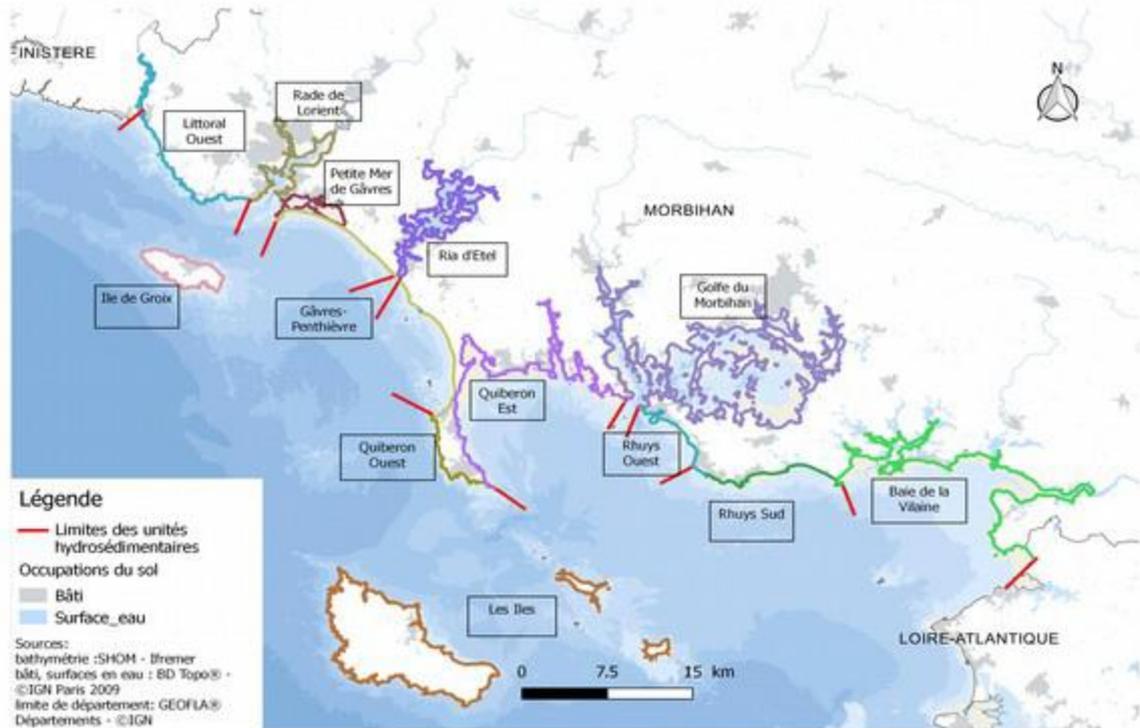


Illustration 25 - Unités hydrosédimentaires des côtes morbihannaises (CEREMA : Landreau, 2018)

A la date de publication du présent rapport, la phase 2 de l'étude du CEREMA est en cours sur un certain nombre de sites pilotes du département (un par EPCI).

3.3.4. Principales études locales

Plans de Prévention des Risques Littoraux

A la date du présent rapport, 5 plans de prévention des risques littoraux sont approuvés dans le département du Morbihan (imposant donc une réglementation spécifique sur 11 communes morbihannaises), et 2 autres sont prescrits et en cours d'élaboration (2 communes) :

- PPRL Grande Plage de Gâvres, approuvé le 22/12/2010 (Submersion marine uniquement), concernant la commune de *Gâvres* ;
- PPRL Anse du Stole – Lomener, à Ploemeur, approuvé le 24/09/2014 (Submersion marine uniquement), concernant la commune de *Ploemeur* ;
- PPRL de la Presqu'île de Rhuys et Damgan, approuvé le 04/12/2014 (Submersion marine et recul du trait de côte), concernant les communes d'*Arzon*, de *Damgan*, de *Saint-Gildas-de-Rhuys*, de *Sarzeau* et du *Tour-du-Parc* ;
- PPRL de Carnac, approuvé le 04/01/2016 (Submersion marine uniquement), concernant la commune de *Carnac* ;
- PPRL de la Petite Mer de Gâvres, approuvé le 11/01/2016 (Submersion marine uniquement), concernant les communes de *Gâvres*, *Plouhinec*, *Port-Louis* et *Riantec* ;
- PPRL de Lanester, prescrit le 24/04/2019 et en cours d'élaboration (Submersion marine uniquement), concernant la commune de *Lanester* ;
- PPRL de Lorient, prescrit le 24/04/2019 et en cours d'élaboration (Submersion marine uniquement), concernant la commune de *Lorient*.

On peut noter que ces Plans de Prévention des Risques Littoraux concernent essentiellement les problématiques de submersion marine, l'aléa Recul du trait de côte n'ayant été étudié que pour le PPRL Presqu'île de Rhuys et Damgan (5 communes).

La carte de Illustration 26 présente la répartition géographique de ces PPRL, ainsi que des Plans de Prévention des Risques Inondations qui réglementent l'aménagement dans 80 communes du département vis-à-vis des inondations d'origine continentale.

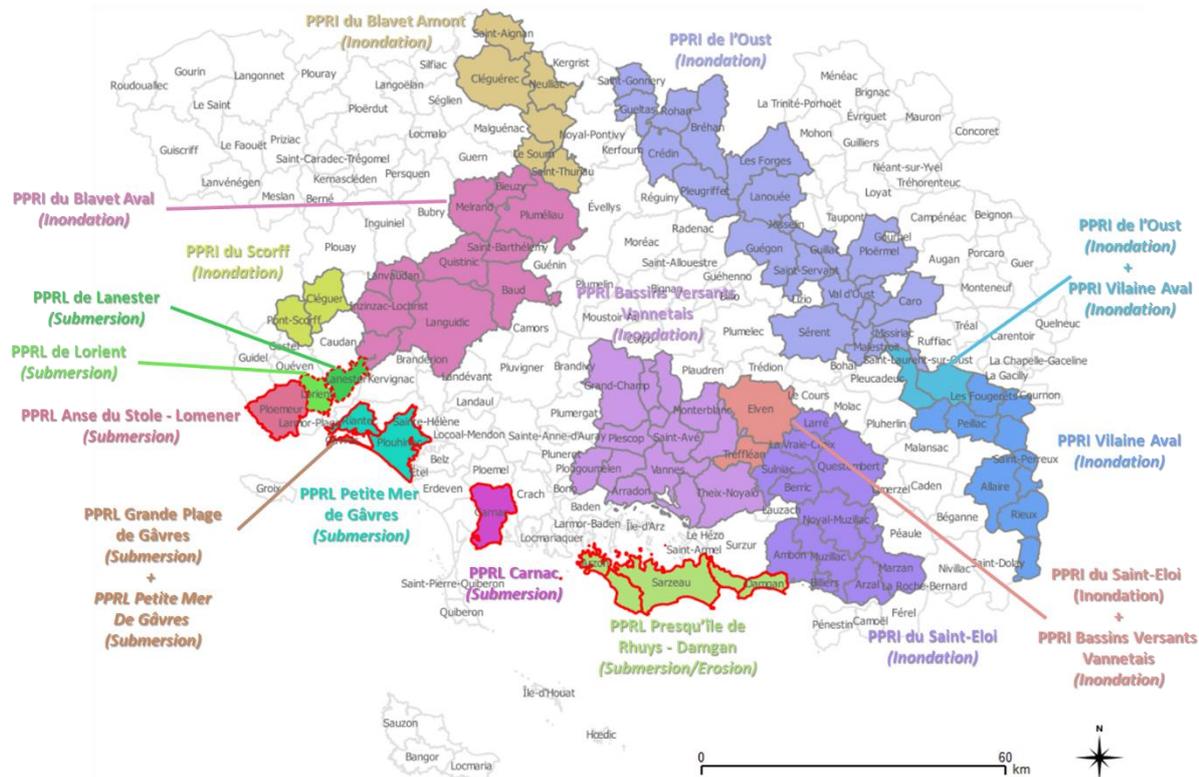


Illustration 26 – Répartition géographique des Plans de Prévention des Risques Littoraux (communes entourées en rouge) et Inondation dans le département du Morbihan (d'après les données de www.morbihan.gouv.fr)

Observation du littoral et suivi du trait de côte

Dans le département du Morbihan, plusieurs actions locales relevant ou pouvant relever 'un « observatoire » sont menées par différents acteurs. Parmi les principaux, on peut citer (Renard, 2019) :

- L'Observatoire Citoyen du Littoral Morbihannais (OCLM), adhérent au Réseau National des Observatoires du Trait de Côte (RNOTC), qui s'intéresse plus spécifiquement au suivi de 5 sites du département (Gâvres, La Trinité-sur-Mer, Arzon, Séné, Bangor). Cet observatoire bénéficie de l'appui du Laboratoire Géosciences Océan (LGO) de l'Université de Bretagne Sud (UBS), de l'association RIEM (Réseau Initiative des Eco-explorateurs de la Mer) et du Conseil Départemental du Morbihan, et vise notamment à développer l'aspect participatif du suivi du trait de côte (exemple de l'installation du dispositif CoastSnap, à Gâvres, qui permet à tout un chacun de réaliser et envoyer une photo du littoral, sous angle de vue maîtrisé).

- L'agglomération de Lorient (Lorient Agglo) a réalisé pendant plusieurs années des suivis topo-bathymétriques au niveau de son littoral, notamment en vue d'aménagements d'ores et déjà réalisé ou encore en cours.

D'autres suivis existent dans le Morbihan, avec une activité plus ou moins soutenue selon l'opérateur, l'emprise étudiée et le cadre de cette activité (Parc Naturel Régional du Golfe du Morbihan, Observatoire du Littoral de Ploemeur, études universitaires...).

3.4. CONTEXTE OCEANOGRAPHIQUE

3.4.1. Courants et régime de marée

Le Morbihan, tout comme le reste de la Bretagne, est soumis à un régime de marée macrotidal semi-diurne (marnage supérieur à 4 m, deux basses mers et 2 pleines mers d'amplitudes similaires par jour). Sur les côtes du Morbihan, le marnage moyen est compris entre 4 et 5 m (Tessier, 2006). Lors des coefficients de marée maximum, le marnage peut atteindre 5,5 m à l'Ouest du département à plus de 6 m à l'Est du département, en passant par Quiberon et les îles. Il convient toutefois de noter que la configuration particulière du Golfe du Morbihan, avec un unique chenal étroit le reliant à la mer, conduit à un déphasage important de la marée (pouvant atteindre plus de 2 heures) et à une atténuation significative de l'amplitude de la marée dans le Golfe (Marcos et al., 1996). Ainsi, si l'entrée du Golfe et la rivière d'Auray présentent encore des marnages de l'ordre de 4 m, la partie Est du Golfe est soumise à des marnages réduits, de l'ordre de 2,8 à un peu plus de 3 m, correspondant donc plutôt à des conditions méso tidales.

Les vitesses des courants de marées sont généralement inférieures à 1 nœud (Lazure et Salomon, 1991), comme illustré à l'illustration 27. Cependant, certains secteurs connaissent des courants de marées plus puissants, et notamment l'entrée du Golfe du Morbihan (5 à 6 nœuds, voire plus), les principaux chenaux dans le Golfe (à l'image du courant de la Jument, entre l'île de la Jument et l'île Berder), le passage de la Teignouse (entre Quiberon et Houat, 2 à 3 nœuds) et autour d'Hoedic (2 nœuds).

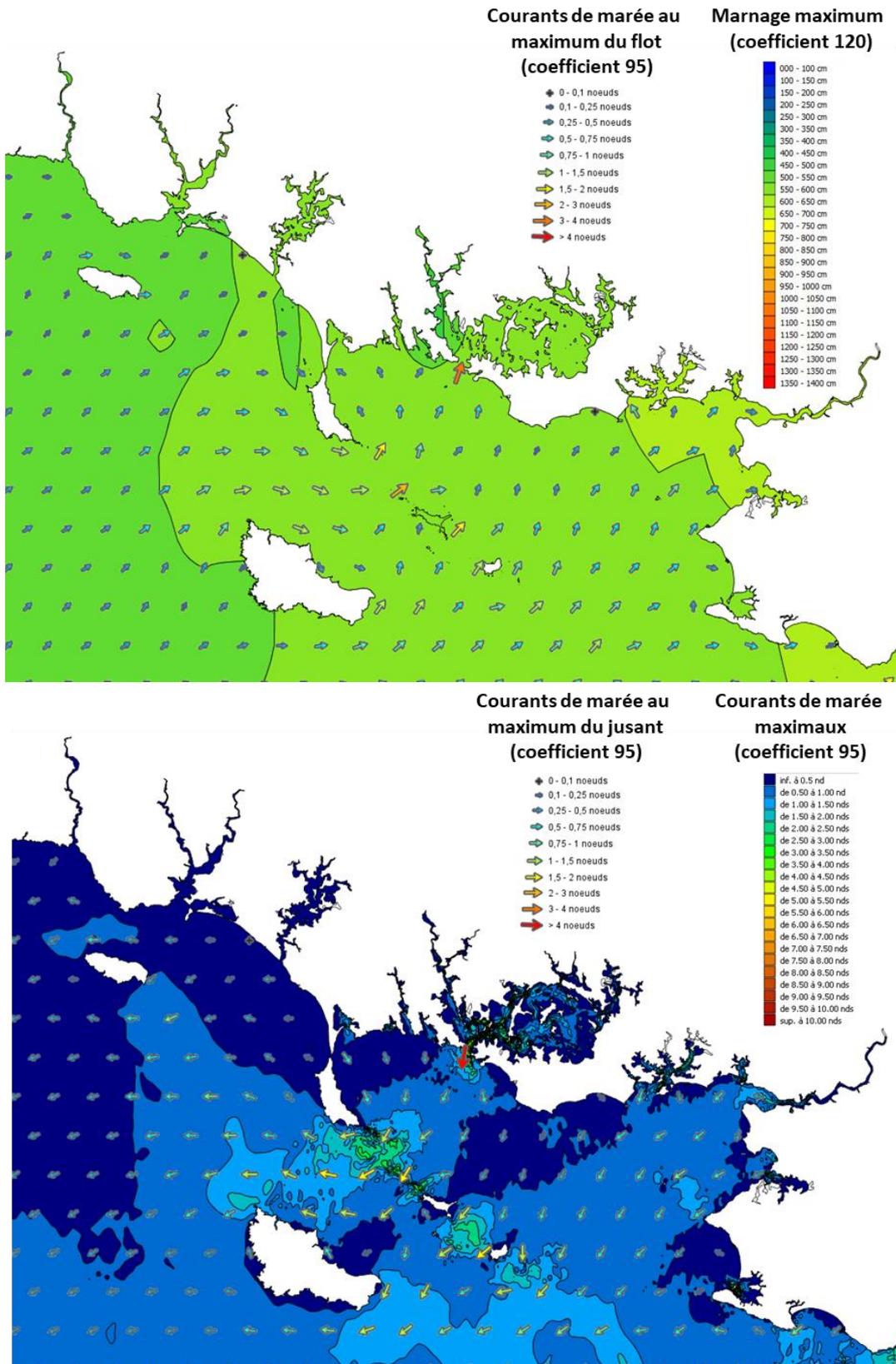


Illustration 27 - Caractéristiques des marées : en haut, marnage maximum pour un coefficient 120 et courants de marée au maximum du flot pour un coefficient 95 ; en bas, vitesses maximales des courants de marée pour un coefficient 95 et courants de marée au maximum du jusant pour un coefficient 95 (Source : data.shom.fr)

L'illustration 28 représente les valeurs de marnage extrêmes sur l'ensemble de la Bretagne. Le Morbihan, connaît des marnages relativement faibles par rapport au reste de la région. Lors des marées de mortes eaux, le marnage dans le Morbihan peut prendre des valeurs entre 1,7 m (Golfe du Morbihan) et 2,3 m (Pénestin) ; alors qu'en période de vives eaux, il peut se situer entre 3,3 m (Golfe du Morbihan) et 6,2 m (Vilaine). De manière générale, le marnage tend à décroître de l'extrémité Ouest du Département, jusqu'à Quiberon ; puis croit à partir de la baie de Quiberon, jusqu'à l'Est du Département (à l'exception du le Golfe du Morbihan, soumis à un régime particulier du fait de sa configuration).

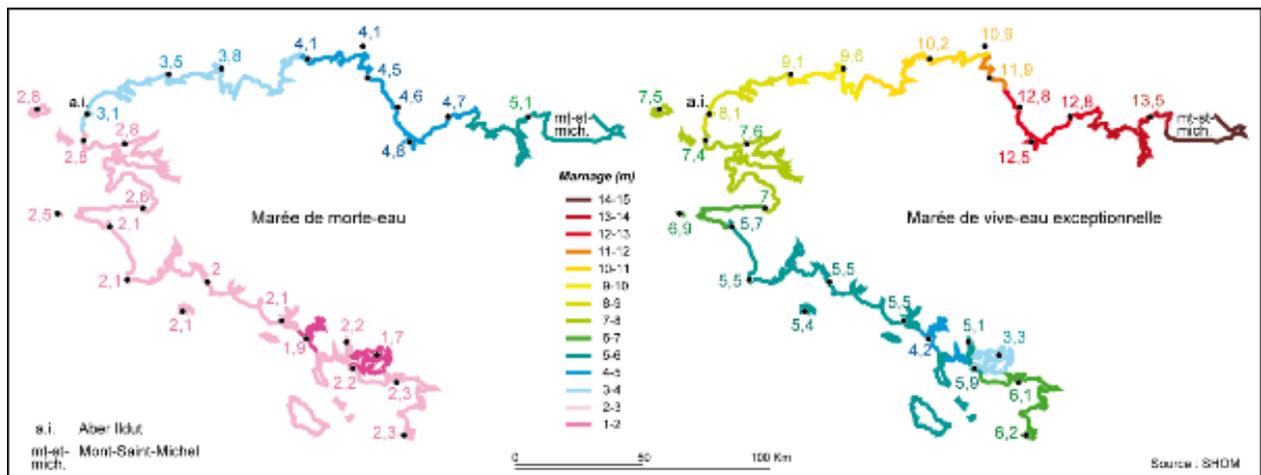


Illustration 28 - Marnages lors d'une marée de mortes-eaux (à gauche), et lors d'une marée de vives-eaux exceptionnelle (à droite) (d'après les données du SHOM, dans Stéphan, 2011)

3.4.2. Instrumentation et mesures in situ

Peu d'instruments sont installés de manière pérenne au niveau du littoral morbihannais pour un suivi continu des conditions océaniques :

- 2 marégraphes du réseau REFMAR, géré par le SHOM, permettent le suivi en temps réel du niveau marin (données consultables sur data.shom.fr) :
 - o Le marégraphe de Port-Tudy, sur l'île de Groix, mesure en continu les niveaux marins depuis le 10/08/1986 ;
 - o Le marégraphe du Crouesty, à Arzon, mesure en continu les niveaux marins depuis le 14/03/1996.
- 2 houlographes du réseau CANDHIS, géré par le CEREMA, permettent le suivi en temps réel des conditions de vagues (données consultables sur candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr) :
 - o L'houlgraphe de Belle-Ile (bouée 05602), implanté à environ 4 km au Sud-Ouest des côtes de Bangor et à environ 24 km du continent, par 45 m de fond, mesure en continu les houles depuis le 18/10/2010.
 - o L'houlgraphe du Plateau du Four (bouée 04403, opérée en partenariat avec l'École Centrale de Nantes), implanté à environ 12 km au Sud-Sud-Est d'Hoëdic et sensiblement à mi-chemin entre Belle-Ile et la pointe du Croisic, à 28 km de la presqu'île de Rhuys, par 30 m de fond, mesure en continu les houles depuis le 01/04/2008.
- D'autres éléments ponctuels peuvent être disponibles et consultés en cas de besoin :
 - o Des mesures de niveau marin, limitées dans le temps, peuvent être consultées auprès du SHOM notamment ;

- Des campagnes de mesures houlographiques temporaires sont bancarisées par le réseau CANDHIS (2 campagnes affichées dans le Morbihan : Gâvres, en Novembre-Décembre 1997, et le Croisic d'Avril à Juin 2003).

La localisation de ces points de mesure est présentée à l'illustration 29.

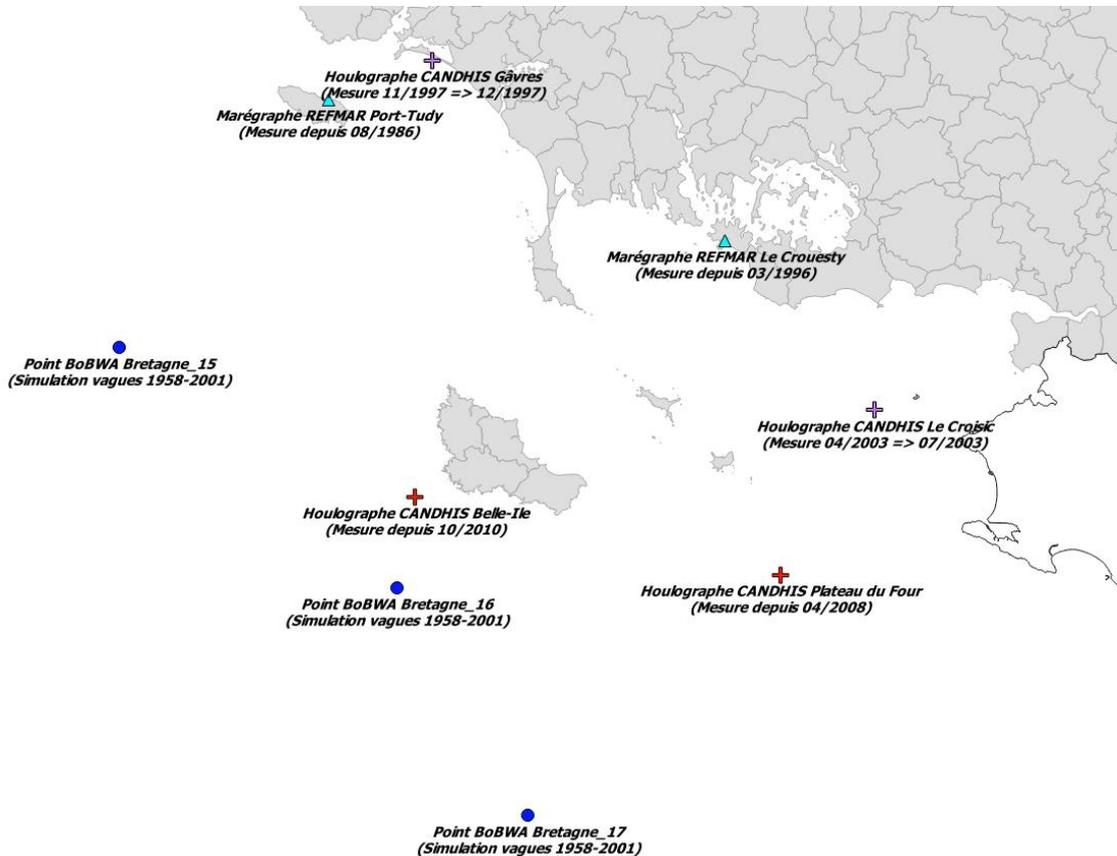


Illustration 29 – Localisation des mesures disponibles au niveau du Morbihan (marégraphes, houlographes) et des points d'analyse statistique des vagues à partir de la base de données BoBWA

3.4.3. Niveaux marins et surcotes

Sur la partie ouest du Morbihan, jusqu'à Quiberon (compartiment C10), le port de référence des ports indiqués dans l'illustration 30 ci-dessous, est celui de Brest.

La partie Est du département du Morbihan (compartiments C11, C12 et C13) est quant à elle rattachée au port de référence des Sables d'Olonne (Illustration 31).

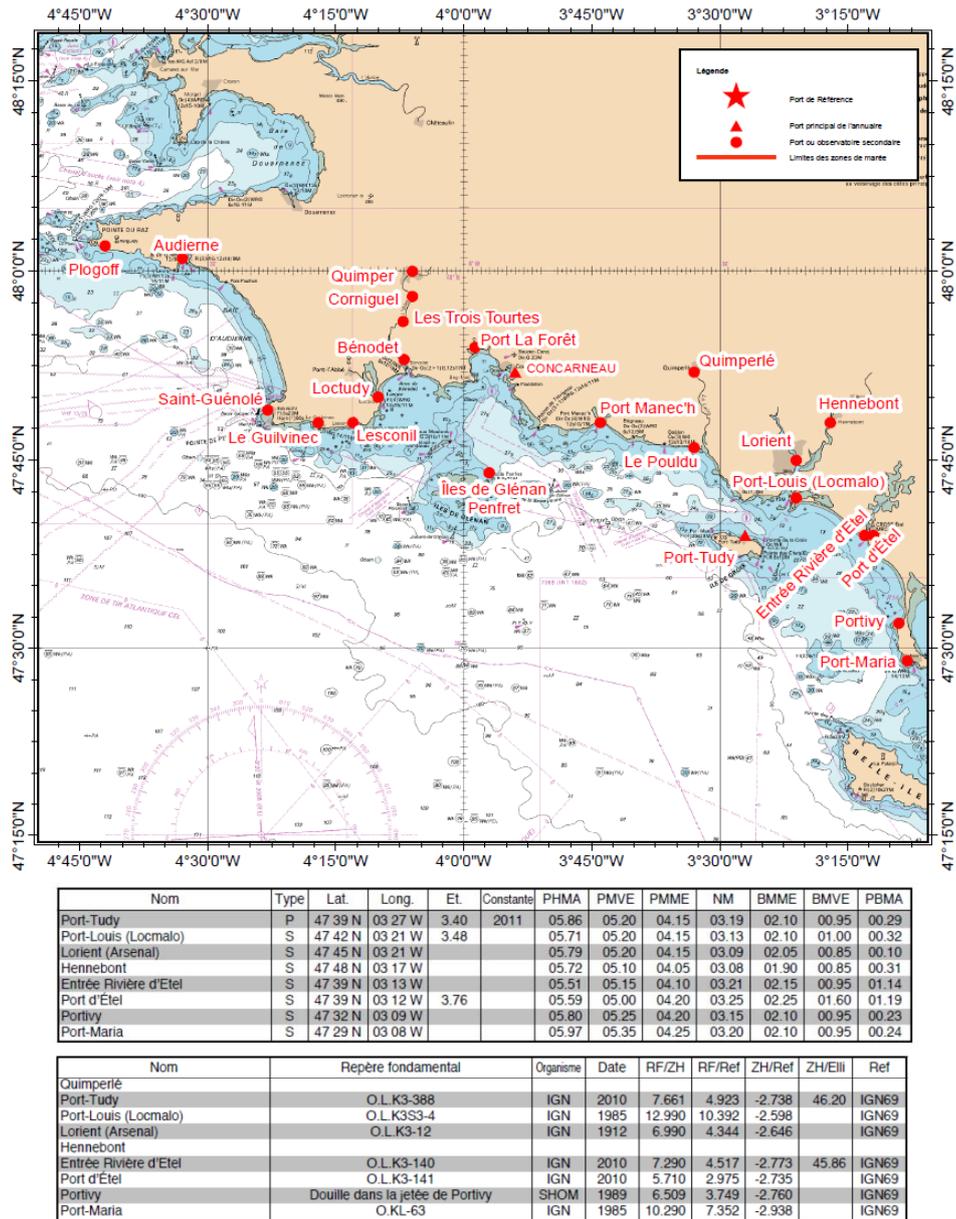
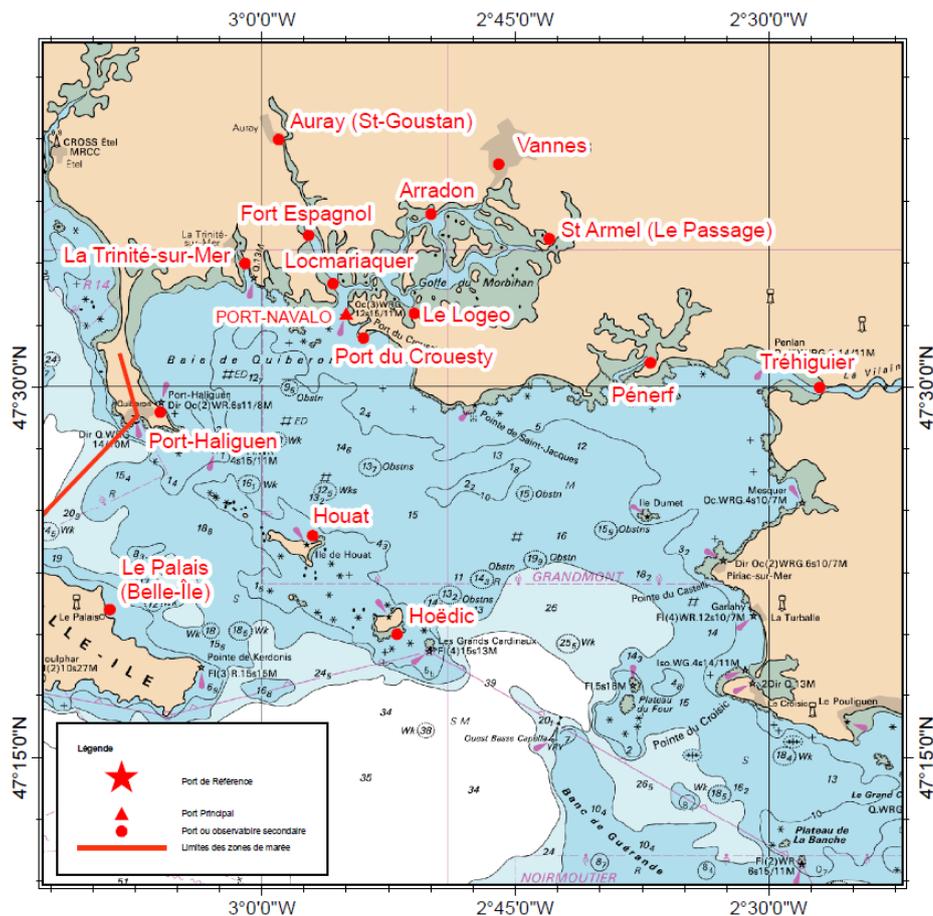


Illustration 30 – Références altimétriques maritimes des ports de la partie Ouest du Morbihan, dont le port de référence est celui de Brest (Source : SHOM, 2016)



Nom	Type	Lat.	Long.	Et.	Constante	PHMA	PMVE	PMME	NM	BMME	BMVE	PBMA
Les Sables d'Olonne	R	46 30 N	01 48 W	3.35		05.93	05.20	04.20	03.20	02.05	00.75	-0.02
Abords de Quiberon et des Sables d'Olonne												
Port-Navalo	P	47 33 N	02 55 W	3.75	2008	05.65	05.05	04.00	03.05	01.90	00.70	00.05
Le Palais (Belle-île)	S	47 21 N	03 09 W	3.40		05.78	05.25	04.15	03.07	02.00	00.80	00.02
Port-Haliguen	S	47 29 N	03 06 W	3.57		05.87	05.35	04.25	03.13	02.00	00.75	-0.02
La Trinité-sur-Mer	S	47 35 N	03 01 W	3.61		06.10	05.45	04.35	03.30	02.10	00.85	00.10
Golfe du Morbihan												
Auray (St-Goustan)	S	47 40 N	02 59 W		2009	05.20	04.70	03.65	02.76	01.60	00.50	00.08
Fort Espagnol ¹	S	47 37 N	02 57 W	3.91		05.21	04.65	03.65	02.78	01.55	00.60	00.08
Locmariaquer ¹	S	47 34 N	02 56 W	3.88	2011	05.16	04.60	03.65	02.76	01.55	00.60	00.08
Arradon	S	47 37 N	02 50 W	5.51	2009	03.05	02.90	02.25	01.53	00.65	00.20	00.05
Vannes	S	47 39 N	02 46 W	5.65	2009	03.35	03.10	02.50	01.73	00.70	00.25	00.05
St Armel (Le Passage)	S	47 36 N	02 43 W		2009	03.45	03.20	02.55	01.78	00.90	00.30	00.05
Le Logeo	S	47 33 N	02 51 W		2009	03.15	02.95	02.35	01.59	00.70	00.25	00.05
Port du Crouesty ¹	S	47 33 N	02 54 W	3.57	2014	06.17	05.40	04.30	03.32	02.05	00.80	00.01
Pénerf	S	47 31 N	02 37 W	3.53		06.10	05.45	04.30	03.28	02.05	00.75	00.01
Tréhigui	S	47 30 N	02 27 W			06.36	05.55	04.40	03.40	02.10	00.75	-0.03
Hoëdic	S	47 24 N	02 57 W			05.81	05.35	04.25	03.17	02.00	00.75	00.11
Hoëdic	S	47 20 N	02 52 W			05.78	05.15	04.10	03.09	01.90	00.65	-0.01

Nom	Repère fondamental	Organisme	Date	RF/ZH	RF/Ref	ZH/Ref	ZH/Elli	Ref
Les Sables d'Olonne	O.HI-65	IGN	2011	7.756	4.926	-2.830	44.54	IGN69
Abords de Quiberon et des Sables d'Olonne								
Port-Navalo	O.K.K3P3-48	IGN	1985	6.592	3.967	-2.625	46.28	IGN69
Le Palais (Belle-île)	O.K.K3-53	IGN	2010	7.680	5.056	-2.624		IGN69
Port-Haliguen	O.K.K3-2	IGN	1986	7.730	5.031	-2.699		IGN69
La Trinité-sur-Mer	O.K.K3P3-22	IGN	1985	5.594	2.740	-2.854		IGN69
Golfe du Morbihan								
Auray (St-Goustan)	O.K.P3-33	IGN	1986	4.765	2.540	-2.225		IGN69
Fort Espagnol ¹	Douille SHOM scellée dans l'angle Sud-Est du quai de la cale de Fort Espagnol	SHOM	2003	6.820	4.526	-2.294	46.32	IGN69
Locmariaquer ¹	Douille SHOM scellée sur le quai du Guilvin à 60 m du bar l'Angélus en allant vers l'espar proche du lampadaire	SHOM	2003	6.074	3.825	-2.249	46.21	IGN69
Arradon	Repère dans la petite cale de la pointe d'Arradon	SHOM	2003	4.194	3.173	-1.021		IGN69
Vannes	O.K.P3-139	IGN	2010	3.806	2.773	-1.033		IGN69
St Armel (Le Passage)	Repère à la naissance de la jetée de la Garenne	SHOM	2005	3.822	2.608	-1.214		IGN69
Le Logeo	Repère SH sur le mur gauche délimitant la cale principale du Logéo	SHOM	2004	4.180	3.114	-1.066		IGN69
Port du Crouesty ¹	O.K.K3P3-53	IGN	2010	15.944	13.094	-2.850	45.67	IGN69
Pénerf	O.K.K3-15bis	IGN	1986	8.120	5.358	-2.762		IGN69
Tréhigui	O.K.K3O3-11	IGN	1986	9.397	6.467	-2.930		IGN69
Hoëdic	Repère dans le début de la jetée Est	SHOM	2010	6.362	3.475	-2.887		IGN69

Illustration 31 - Références altimétriques maritimes des ports de la partie Est du Morbihan, dont le port de référence est celui des Sables d'Olonne (Source : SHOM, 2016)

Les aléas littoraux sont le plus souvent associés à des surélévations temporaires du niveau de la mer lors de tempêtes. Ces surcotes marines sont contrôlées par deux processus principaux (Illustration 32) :

- **La surcote atmosphérique** : le passage d'un important système dépressionnaire (tempête) est caractérisé par des variations du niveau marin selon deux mécanismes :
 - La chute de pression atmosphérique entraîne une surélévation du niveau du plan d'eau. C'est le phénomène de *baromètre inverse* : une diminution d'1 hPa équivaut à une élévation d'1 cm du plan d'eau (valeurs pour une situation théorique d'un plan d'eau infini et d'une pression atmosphérique uniforme).
 - A cela s'ajoute l'effet du vent, qui en fonction de son intensité et de sa direction est susceptible de provoquer des accumulations d'eau sur la bande littorale.

La surélévation du plan d'eau provoquée par la chute de pression et l'action du vent correspond à la surcote atmosphérique. La combinaison de la marée et de cette surcote atmosphérique génère le niveau de la mer « au repos » (Illustration 32).

- **La surcote liée aux vagues (« wave setup »)** : à l'approche de la côte, les vagues générées au large déferlent en transférant leur énergie sur la colonne d'eau, dont une partie provoque une surélévation du niveau moyen du plan d'eau (le « wave setup » ou surcote liée aux vagues) qui peut localement atteindre plusieurs dizaines de centimètres, notamment le long des plages et potentiellement dans l'ensemble des plans d'eau plus fermés (ports...).

Le **niveau moyen du plan d'eau** (ou niveau statique) lors d'une tempête résulte de la contribution de la surcote atmosphérique, de la surcote des vagues et de la marée (Illustration 32).

Enfin, le niveau instantané du plan d'eau dépendra du jet-de-rive (*swash*), c'est-à-dire le flux et le reflux des vagues sur l'estran. On appelle *runup* la cote maximale atteinte par la mer au-dessus d'un niveau de référence (ex. le zéro hydrographique).

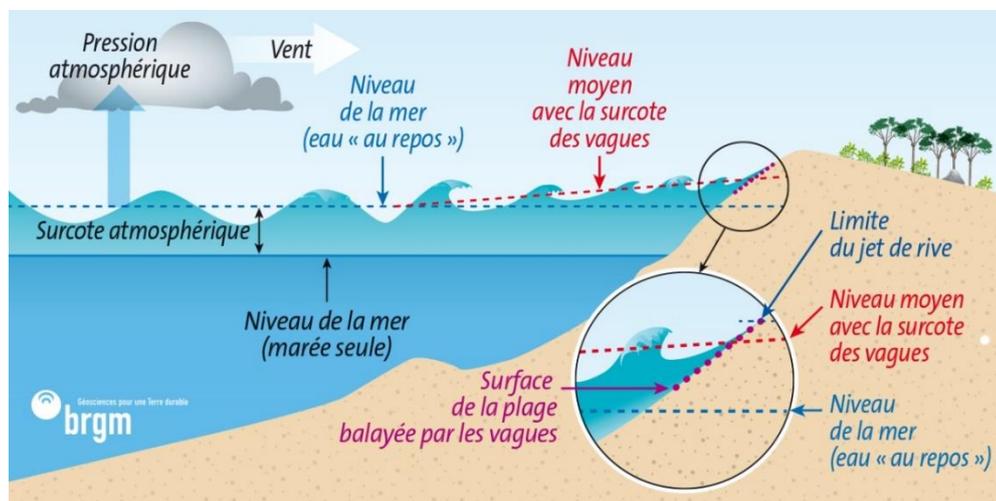


Illustration 32 - Schéma des différentes contributions au niveau du plan d'eau lors d'une tempête (surcotes) jusqu'au rivage.

La combinaison de la surcote atmosphérique et de la surcote liée aux vagues avec des forts coefficients de marées et/ou des pleines mers peut considérablement surélever l'altitude du plan d'eau par rapport au niveau marin prédit (marée seule), conduisant à des niveaux extrêmes qui peuvent aggraver les aléas côtiers (submersion et érosion marines).

Les statistiques des niveaux marins extrêmes ont été calculés par le SHOM-CETMEF (2012) sur un certain nombre de ports de référence, en s'appuyant sur une convolution entre le signal de surcote mesuré (Illustration 33) et les niveaux de pleine-mer de marée astronomique. Dans le Morbihan, seul le port de Port-Tudy a fait l'objet de ce traitement (Illustration 34), mais l'interpolation des résultats avec d'autres ports (dont des ports secondaires, correspondant à des enregistrements du niveau marin de plus courte durée) permet de visualiser la répartition géographique de ces niveaux marins extrêmes (Illustration 35).

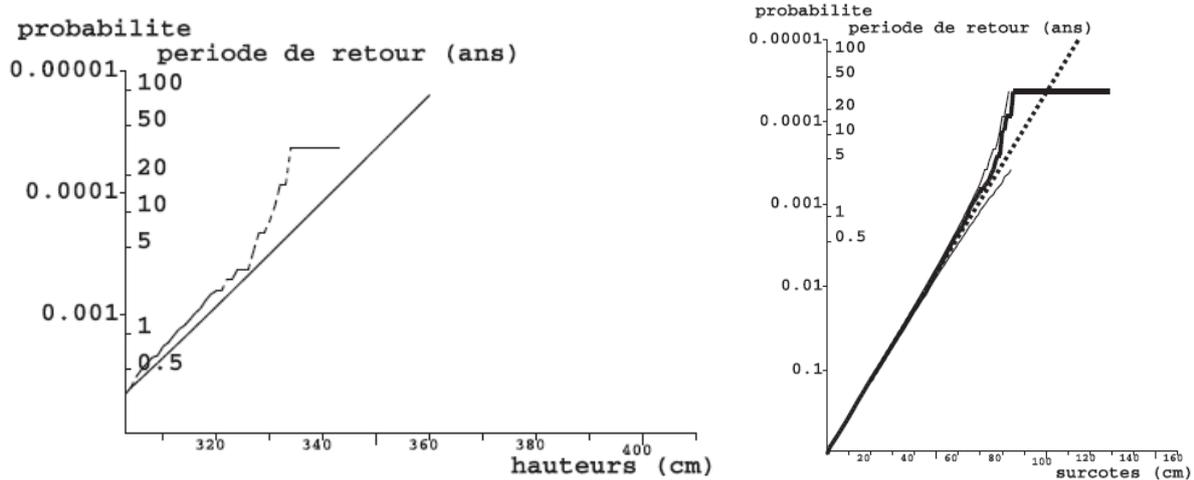


Illustration 33 - Période de retour des hauteurs/niveaux marins extrêmes de pleine mer (à gauche) et des surcotes (à droite) à Port-Tudy (extrait de SHOM-CETMEF, 2012)

Période de retour	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Niveau marin à Port-Tudy	3,28 m NGF	3,35 m NGF	3,42 m NGF	3,51 m NGF	3,58 m NGF

Illustration 34 - Niveaux extrêmes de pleines mers (en m NGF) à Port-Tudy (SHOM-CETMEF, 2012)

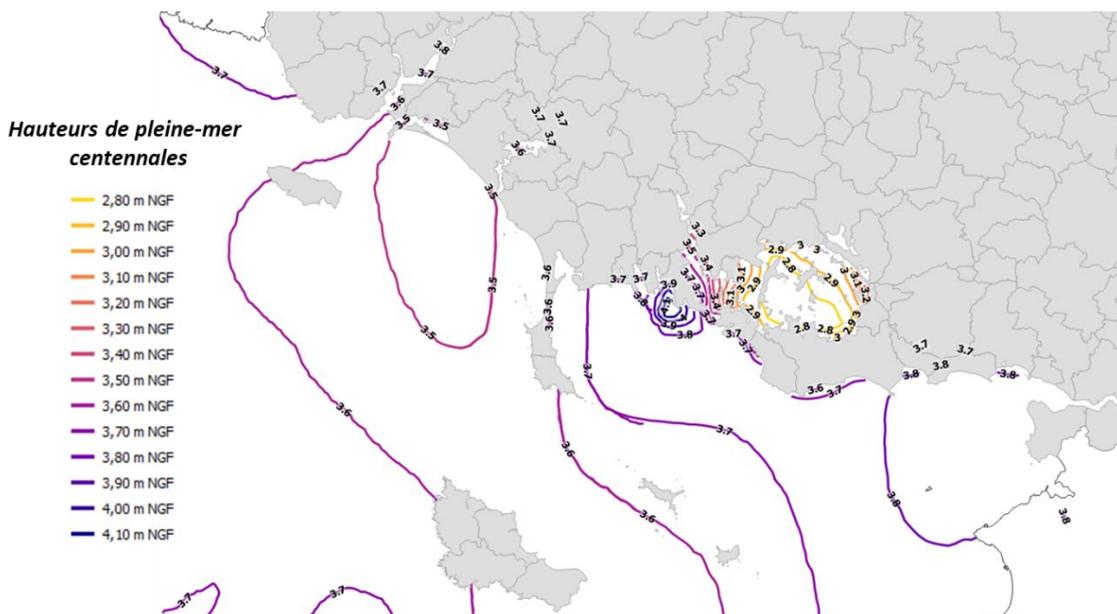


Illustration 35 - Niveaux centennaux de pleine mer au large du Morbihan (d'après SHOM-CETMEF, 2012)

3.4.4. Etat des mers

Houles et vagues

Bulteau et al. (2013) ont analysé les valeurs extrêmes des vagues le long de la côte Atlantique et de la Manche à partir de la base BoBWA (Charles, et al., 2012) simulant les conditions de mer, entre 1958 et 2001. A l'échelle de la Bretagne, les hauteurs significatives des vagues au large du Morbihan s'avèrent assez similaires à celles qui affectent les côtes du Finistère Nord et du Trégor, mais restent sensiblement inférieures à celles qui affectent la pointe bretonne (Illustration 36).

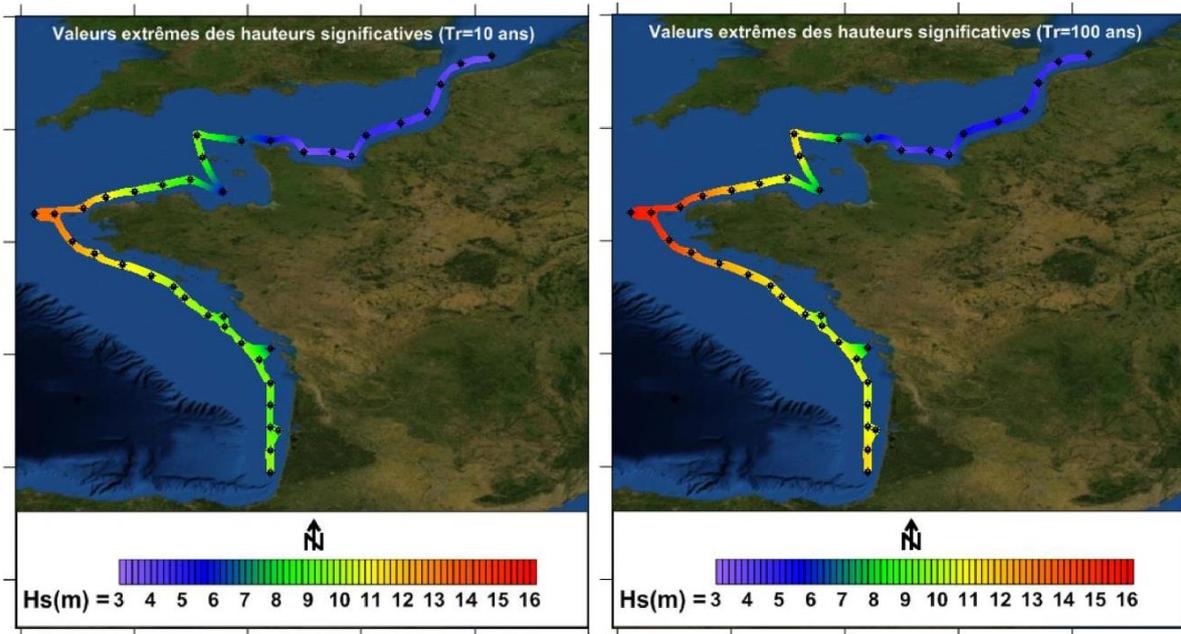


Illustration 36 – Hauteurs significatives des vagues au large pour des périodes de retour de 10 ans (à gauche) et 100 ans (à droite) estimées à partir de la base BoBWA (Charles et al., 2012) sur la période 1958-2001 à pas de temps 6 heures (Bulteau et al., 2013)

L'analyse statistique des données simulées sur des bouées virtuelles implantées dans la simulation permet de calculer les caractéristiques des vagues au large. Trois de ces points sont implantés au large des côtes morbihannaises, et sont nommés par Bulteau et al. (2013) respectivement Bretagne_15, Bretagne_16 et Bretagne_17. Les principales caractéristiques de ces 3 points sont résumées à l'illustration 37 et leur position est représentée à l'illustration 29.

Point	Latitude	Longitude	Distance côte	Profondeur	Emplacement
Bretagne_15	47,4 °N	3,7 °E	~ 38 km	92 m	Large de Groix
Bretagne_16	47,2 °N	3,3 °E	~ 30 km	76 m	Large de Belle-Ile
Bretagne_17	47,0 °N	3,1 °E	~ 53 km	70 m	Large d'Houat-Hoëdic

Illustration 37 – Positions et caractéristiques des points BoBWA de calcul des extrêmes des vagues au large du Morbihan

L'analyse statistique sur ces 3 points (illustrations 38, 39 et 40) montre que les houles au large du Morbihan font en moyenne de l'ordre de 2 m, et sont la plupart du temps de secteur Ouest,

s'orientant parfois légèrement au Sud lors des épisodes intenses. La comparaison des 3 points montre que si les caractéristiques moyennes des vagues au large restent assez similaires, les valeurs extrêmes tendent à décroître d'Ouest en Est (hauteurs significatives centennales de 11,88 m au point Bretagne_15, de 11,34 m au point Bretagne_16 et de 11,14 m au point Bretagne_17).

Les séries temporelles de vagues simulées sur la période 1958-2001 permettent par ailleurs d'identifier quelques événements majeurs en termes de hauteurs significatives de vagues. Il s'agit des tempêtes :

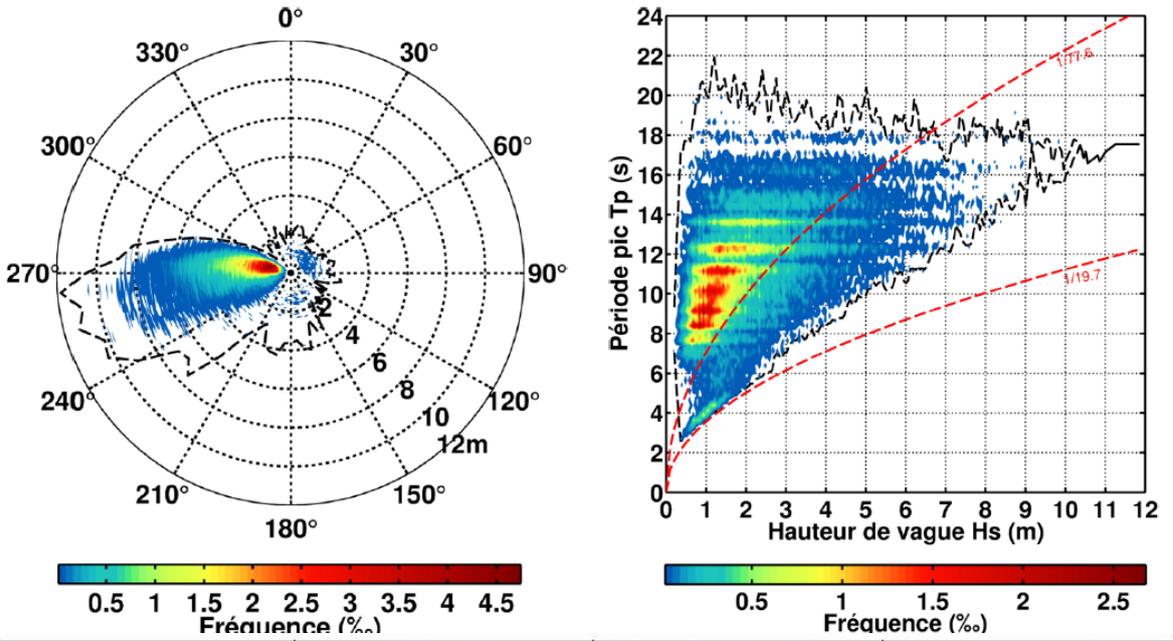
- Du 12/02/1990 (vagues de 10,92 à 11,82 m, soit des périodes de retour décroissant de 87 ans pour Bretagne_15 à 57 ans pour Bretagne_17) ;
- Du 21/01/1971 (vagues de 10,64 à 11,26 m, soit des périodes de retour de 26 à 30 ans) ;
- Du 15/12/1979 (vagues de 10,23 à 10,99 m, soit des périodes de retour de 14 à 18 ans) ;
- Du 25/02/1989 (vagues de 10,24 à 10,80 m, soit des périodes de retour de 13 à 14 ans).

La comparaison de ces dates avec les données bancarisées dans la base de données Tempêtes (paragraphe 99) ne fait cependant pas apparaître de dommages associés à ces événements (hormis un endommagement des enrochements à Santec le 15/12/1979), ce qui peut s'expliquer par le fait que :

- Ces événements ne sont globalement pas survenus en périodes de grandes marées, hormis pour la tempête du 12/02/1990 (coefficients 94 à 92, contre un coefficient 35 le 21/01/1971, des coefficients 49 à 53 le 15/12/1979 et des coefficients 77 à 73 le 25/02/1989) ;
- Ces caractéristiques correspondent à des valeurs importantes au large, mais l'appréhension de leurs impacts potentiels à la côte nécessiterait des simulations plus fines de la propagation des vagues du large à la côte et de leur éventuelle coïncidence avec la pleine-mer.

	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Mode
Hs (m)	0,16	11,82	2,05	1,62	1,02
Dp (°)	0	360	274	278	279
Tp (s)	2,5	-	11,2	11,1	12,3

Hs = hauteur significative ; Dp = direction pic de provenance des vagues (convention nautique) ; Tp = période pic



Période de retour (ans)	Valeur de retour (m)	Intervalle de confiance à 68% (m)	Intervalle de confiance à 95% (m)
1	8,64	[8,54 ; 8,75]	[8,44 ; 8,84]
10	10,63	[10,38 ; 10,87]	[10,15 ; 11,10]
20	11,07	[10,74 ; 11,39]	[10,43 ; 11,70]
50	11,56	[11,11 ; 12,01]	[10,67 ; 12,45]
100	11,88	[11,31 ; 12,45]	[10,77 ; 12,99]

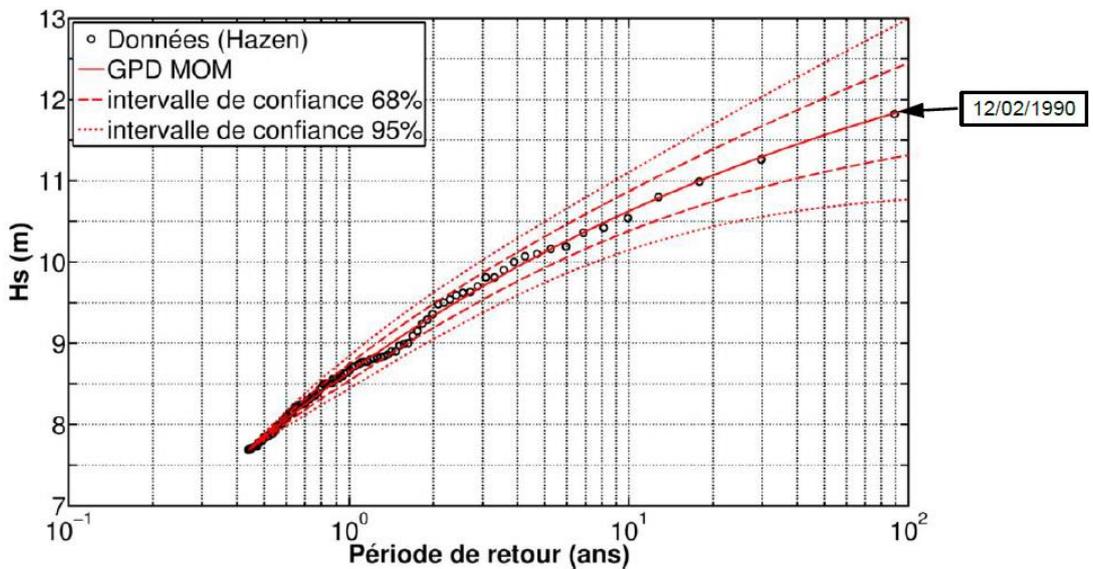
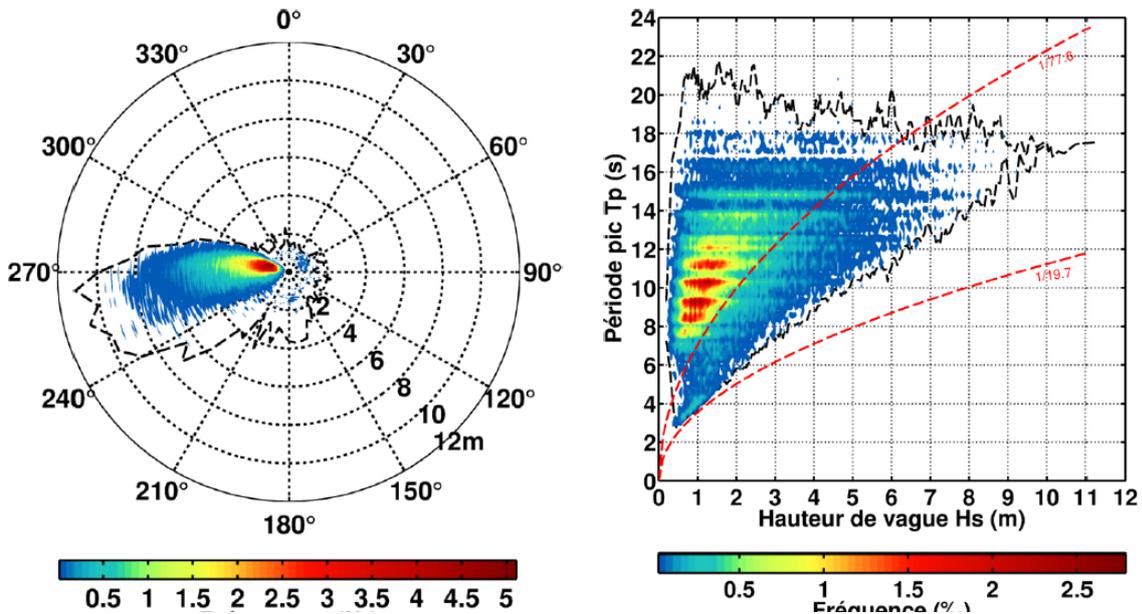


Illustration 38 – Analyse statistique des vagues au point BoBWA Bretagne_15 (Bulteau et al., 2013)

	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Mode
Hs (m)	0,15	11,15	1,99	1,58	1,00
Dp (°)	0	360	275	278	278
Tp (s)	2,7	-	11,2	11,1	12,3

Hs = hauteur significative ; Dp = direction pic de provenance des vagues (convention nautique) ; Tp = période pic



Période de retour (ans)	Valeur de retour (m)	Intervalle de confiance à 68% (m)	Intervalle de confiance à 95% (m)
1	8,27	[8,18 ; 8,36]	[8,10 ; 8,44]
10	10,12	[9,89 ; 10,35]	[9,67 ; 10,57]
20	10,54	[10,24 ; 10,85]	[9,95 ; 11,14]
50	11,02	[10,59 ; 11,46]	[10,18 ; 11,87]
100	11,34	[10,79 ; 11,88]	[10,27 ; 12,41]

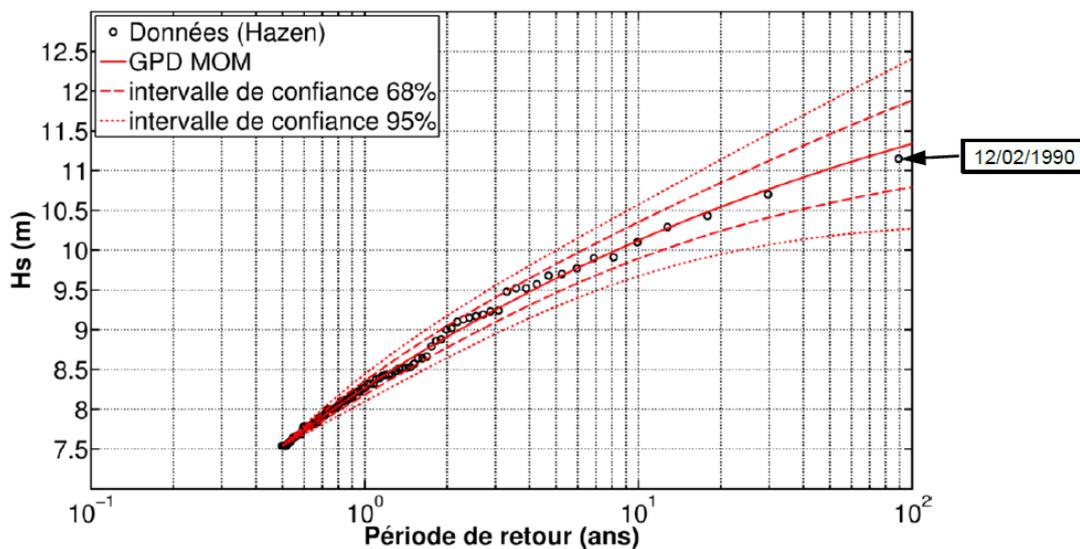
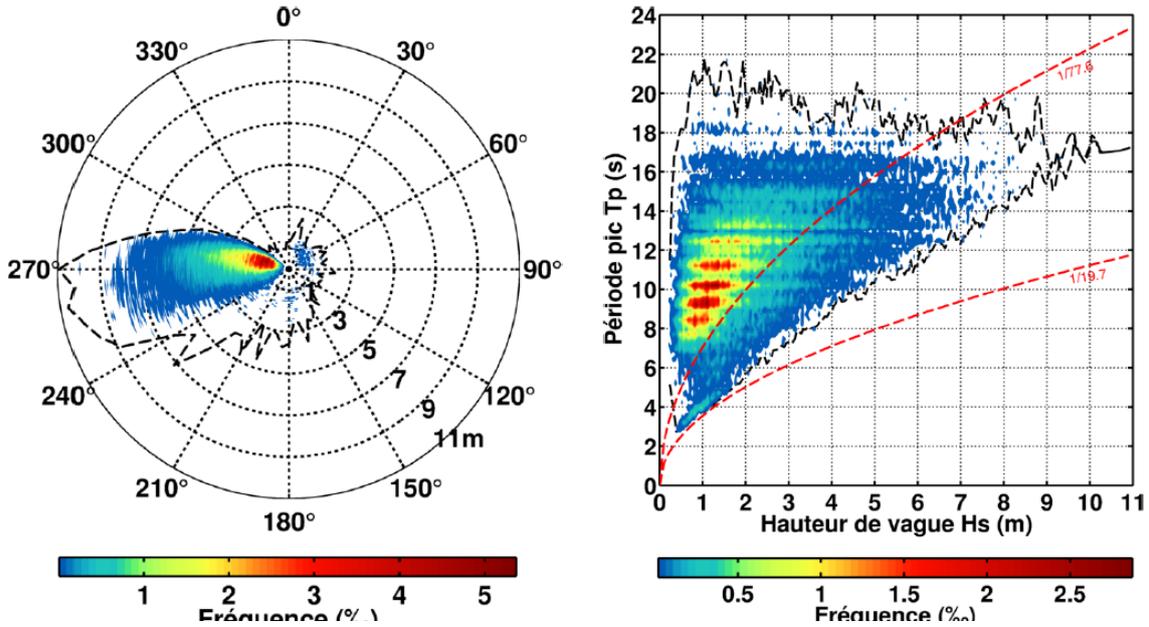


Illustration 39 – Analyse statistique des vagues au point BoBWA Bretagne_16 (Bulteau et al., 2013)

	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Mode
Hs (m)	0,19	10,92	2,00	1,60	1,08
Dp (°)	0	360	277	281	282
Tp (s)	2,6	-	11,2	11,1	12,3

Hs = hauteur significative ; Dp = direction pic de provenance des vagues (convention nautique) ; Tp = période pic



Période de retour (ans)	Valeur de retour (m)	Intervalle de confiance à 68% (m)	Intervalle de confiance à 95% (m)
1	8,21	[8,12 ; 8,31]	[8,03 ; 8,40]
10	10,04	[9,82 ; 10,26]	[9,61 ; 10,47]
20	10,43	[10,14 ; 10,72]	[9,87 ; 11,00]
50	10,87	[10,46 ; 11,27]	[10,07 ; 11,66]
100	11,14	[10,64 ; 11,65]	[10,16 ; 12,13]

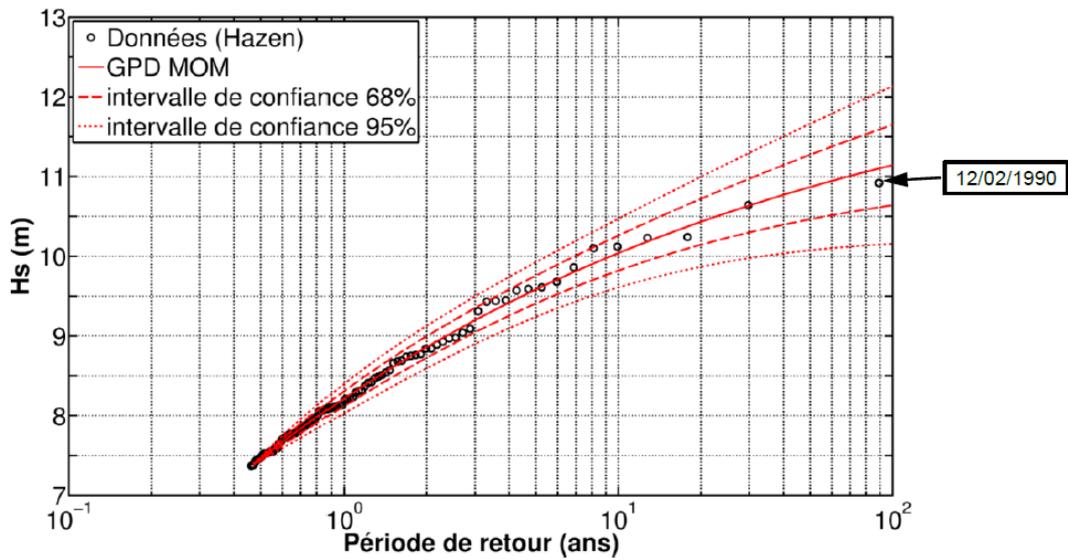


Illustration 40 – Analyse statistique des vagues au point BoBWA Bretagne_17 (Bulteau et al., 2013)

Les enregistrements houlographiques de la base de données CANDHIS permettent d'obtenir le même type d'informations, à partir cette fois-ci de mesures *in situ*.

Par exemple, les enregistrements houlographiques réalisés sur la période 2010 – 2019 à la bouée Belle-Ile (emplacement à l'illustration 29), confirment la provenance des houles (principalement de l'Ouest, avec un régime secondaire assez fréquent légèrement plus au Nord et un régime légèrement plus au Sud pouvant correspondre à des vagues importantes, Illustration 41). Entre 2010 et 2018, les houles restaient inférieures à 4,30 m pendant 95% du temps, et les vagues les plus importantes (4 m ou plus) apparaissent quasi-exclusivement en période hivernale (Illustration 42). L'analyse statistique réalisée sur ces mesures, sur la période 2010-2018, indique des valeurs supérieures à celles indiquées précédemment pour les points de la base BoBWA (Hauteurs significatives de 11,13 m à 11,86 m pour une période de retour décennale, selon la méthode statistique utilisée, et 11,85 m à 12,85 m pour une période de retour de 20 ans, selon la méthode statistique utilisée. Ceci pourrait toutefois s'expliquer par les faits que (1) la bouée et le point BoBWA ne sont pas localisés au même endroit (environ 9 km entre les 2 points) et (2) les périodes considérées ne sont pas les mêmes (2010-2018 pour la mesure Candhis et 1958-2001 pour la base BoBWA).

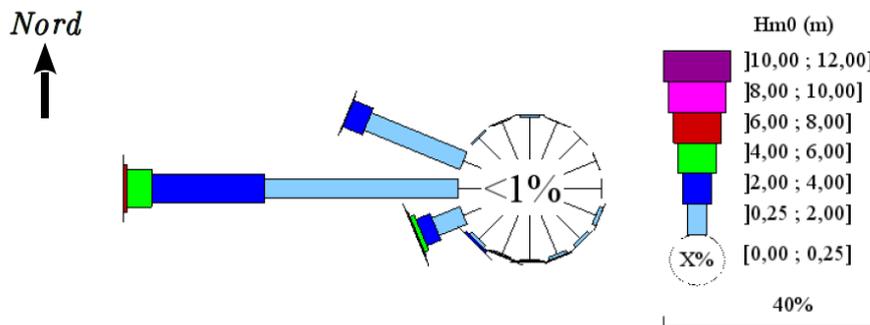


Illustration 41 - Rose des houles mesurées à la bouée 05602 de Belle-Ile, sur la période 2010 – 2018 (<http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr>)

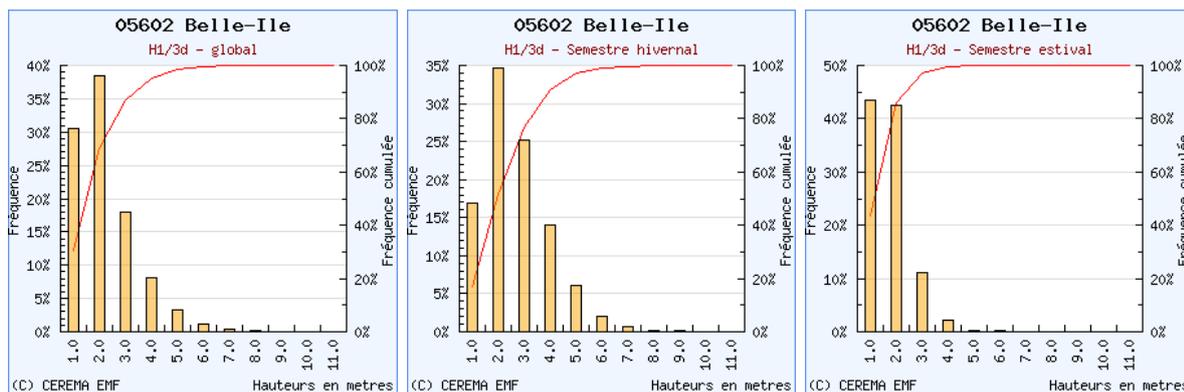


Illustration 42 - Histogramme représentant la fréquence des hauteurs significatives des houles mesurées à la bouée 05602 de Belle-Ile, sur la période 2010 – 2019, en considérant toute la période à gauche, puis la période hivernale au centre et la période estivale à droite (<http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr>)

4. Méthodologie

Pour rappel, l'atlas des aléas aux risques littoraux du Morbihan a pour objectif d'aboutir aux résultats suivants :

- Caractérisation de la géomorphologie du trait de côte,
- Prédilection à l'érosion,
- Cinématique du trait de côte,
- Inventaires des évènements tempétueux et des dommages associés.

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

- Quel trait de côte support de la géomorphologie ?
- Quel découpage du département en compartiments ?
- Quelle géologie pour ce trait de côte support ?
- Quelle géomorphologie ?
- Quels évènements l'ayant détérioré utiliser ?
- Enfin comment caractériser ces évènements ayant trait à l'érosion de ce trait de côte ?

Les données constituant l'atlas de la géomorphologie du trait de côte sont ainsi très variées, et parfois sur plusieurs niveaux selon le type de données. La méthodologie, détaillée dans les paragraphes suivants, est résumée dans le schéma de l'illustration 43. On peut ainsi noter qu'outre la caractérisation de la géomorphologie du trait de côte, des éléments complémentaires sont fournis pour les côtes naturelles (prédilection à l'érosion des côtes à falaises et dynamique des côtes d'accumulation), tandis que la caractérisation reste sommaire pour ce qui est des côtes artificielles.

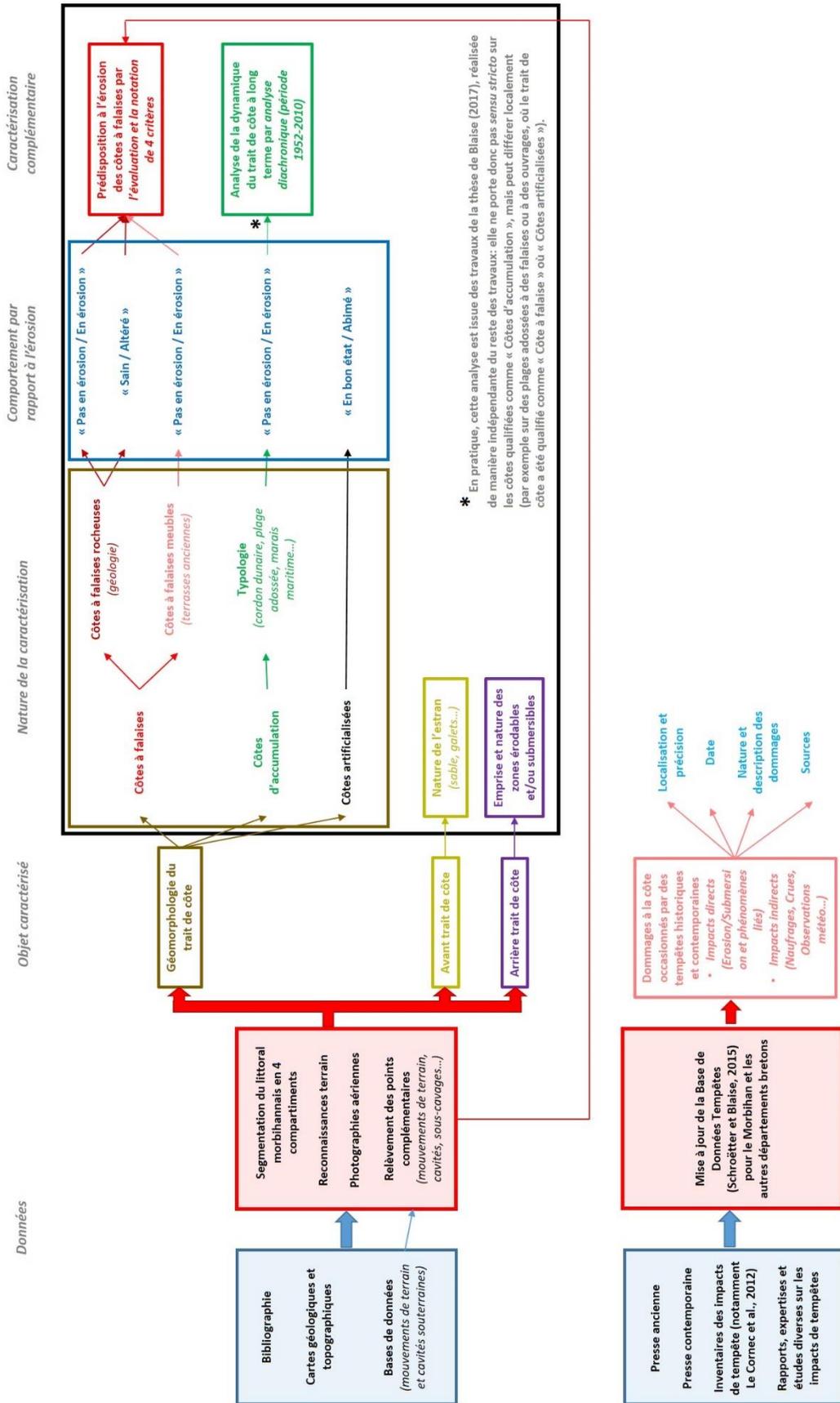


Illustration 43 – Schéma de principe méthodologique et des données constituant l'atlas

4.1. « GEOMORPHOLOGIE » DU TRAIT DE COTE

4.1.1. Choix du trait de côte

Pour George et Verger (2009), le trait de côte se situe à la “limite entre la bande de terre qui confine à la mer et la zone soumise directement à l’action des vagues en fonction des marées. [Elle] se place donc au niveau atteint par les plus hautes mers (calmes). Se distingue du zéro des cartes marines (position des plus basses mers) et du zéro des cartes topographiques (niveau moyen de la mer)”. Cela correspond à la définition du trait de côte déterminé en 2007 par l’IGN et le SHOM, appelé trait de côte HistoLitt, et qui représente “la laisse des plus hautes mers astronomiques de coefficient 120, avec des conditions météorologiques normales” (SHOM).

Le trait de côte HistoLitt a été retenu par les agences gouvernementales pour établir les cartes marines. Une version 2 de ce trait de côte est sortie en 2009, avec une résolution plus importante (échelle 1/15000 au lieu de 1/25000 pour la version 1) (SEXTANT).

Pour attribuer la géomorphologie au trait de côte, il a semblé plus pertinent d’utiliser le *trait de côte HistoLitt* (TdC), que de digitaliser un trait de côte à partir d’indicateurs (Illustration 62) comme cela a été fait dans de nombreuses études (Blaise, 2017 ; Pian, 2010 ; Battiau-Queney et al., 2003...). En effet, HistoLitt a l’avantage d’être un support homogène en termes d’échelle et de précision, et sa position n’est pas soumise à l’interprétation de l’opérateur (Schroëtter et Blaise, 2015).

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 44).

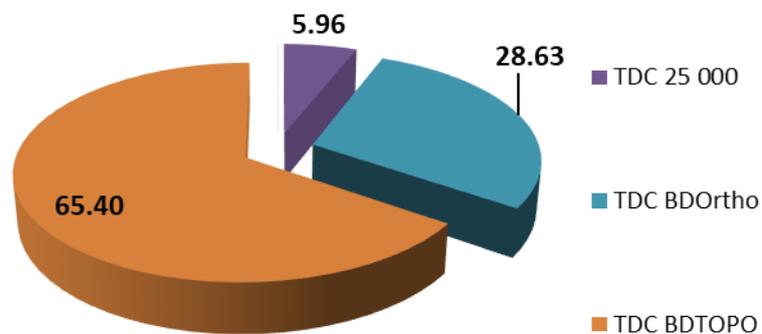


Illustration 44 - Sources composants le trait de côte HistolittV2.0 pour la Bretagne.

En outre, dans le cadre des comités techniques de l’Atlas des départements d’Ille-et-Vilaine, des Côtes-d’Armor et du Finistère, il a été convenu d’indiquer la nature de l’estran sur les côtes basses (sables, galets, graviers, sables et graviers), afin de donner des indications sur la dynamique sédimentaire de l’avant-plage. Cette entité correspond à l’*avant trait de côte* (AvTdC). De la même manière, il a semblé intéressant de créer un trait de côte continental, appelé *arrière trait de côte* (ArTdC). En effet, les côtes bretonnes comprenant des formations superficielles diverses (dépôts de pente de type « head », cordons de sable ou de galets) ; délimiter leurs étendues permet de savoir jusqu’où le trait de côte peut reculer, avant d’atteindre des formations rocheuses dures (Schroëtter et Blaise, 2015).

Ainsi, la géomorphologie du TdC s'est structurée autour du trait de côte HistolittV2.0, complétée par l'ajout d'un avant (AvTDC) et d'un arrière (ArTDC) trait de côte, l'AvTDC pour l'estran et un ArTDC pour l'étendue de la formation superficielle considérée (Schroëtter et Blaise, 2015) (Illustration 45) : la géomorphologie du trait de côte a été en général caractérisée selon la position du trait de côte Histolitt, et donc le niveau maximum de la mer sous l'effet de la marée ; les informations concernant l'environnement de ce trait de côte ont été complétées par les informations de l'AvTDC (par exemple la présence d'une plage et d'un estran sableux au pied d'un trait de côte caractérisé en tant que falaise rocheuse ou que côte artificielle...) et de l'ArTDC (par exemple la présence d'une falaise rocheuse en arrière d'une plage ou d'un cordon dunaire...).

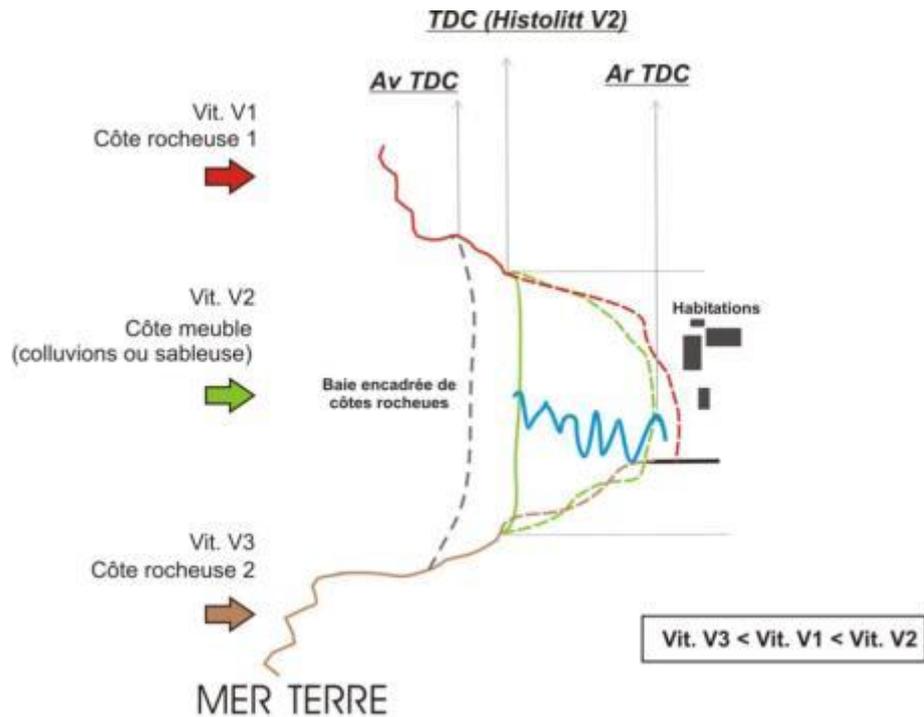


Illustration 45 - Schéma de principe de caractérisation du trait de côte (Schroëtter et Blaise, 2015)

Ces données sur l'avant-trait-de-côte et l'arrière-trait-de-côte étant difficilement représentables à grande échelle (digitalisées au 1/15 000^{ème}, elles tendent à se superposer à l'information sur la géomorphologie du trait de côte aux échelles plus lâches), elles ne sont pas représentées sur les cartes qui suivent dans le rapport. Les illustrations 46 et 47 en présente 2 exemples sur les secteurs de Ploemeur-Larmor-Plage et de l'île d'Arz, mais il convient de se référer aux données SIG pour toute visualisation ou exploitation de ces données.

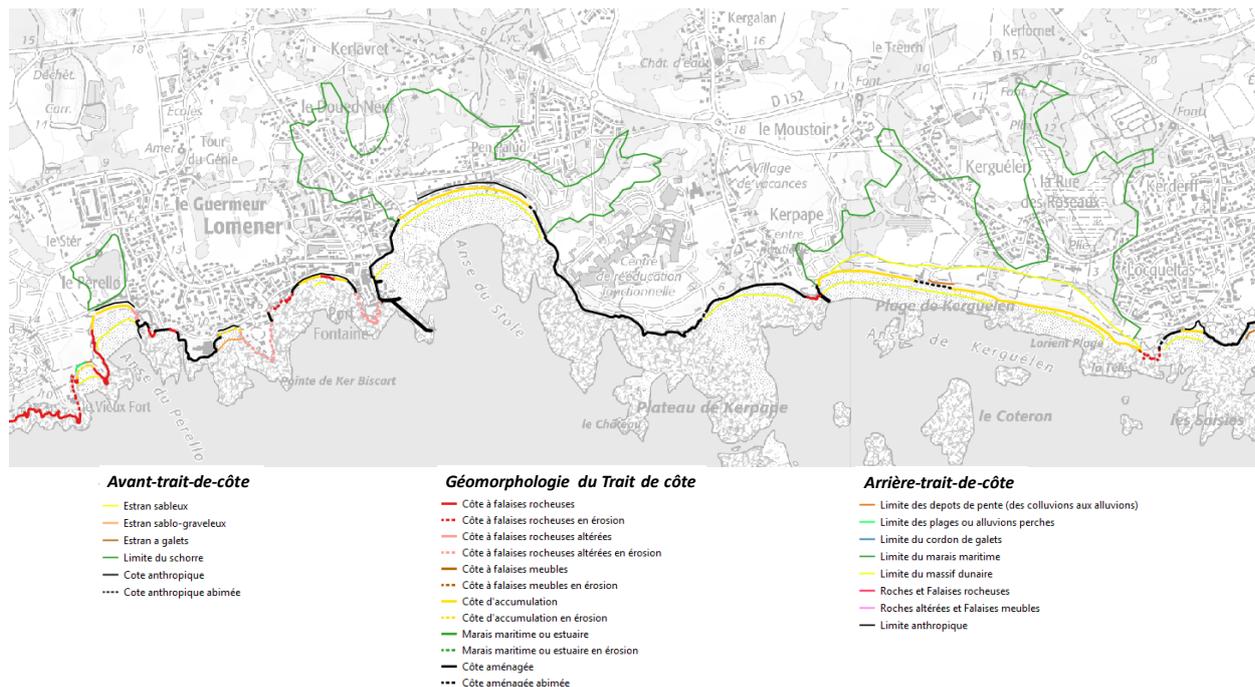


Illustration 46 – Exemple d’aperçu de la géomorphologie du trait de côte accompagnée de l’avant-trait-de-côte et de l’arrière trait-de-côte au niveau de Lomenier (Ploemeur) et Kerguelen (Larmor-Plage)

Avant-trait-de-côte

- Estran sableux
- Estran sablo-graveleux
- Estran a galets
- Limite du schorre
- Cote anthropique
- Cote anthropique abimée

Géomorphologie du Trait de côte

- Côte à falaises rocheuses
- Côte à falaises rocheuses en érosion
- Côte à falaises rocheuses altérées
- Côte à falaises rocheuses altérées en érosion
- Côte à falaises meubles
- Côte à falaises meubles en érosion
- Côte d'accumulation
- Côte d'accumulation en érosion
- Marais maritime ou estuaire
- Marais maritime ou estuaire en érosion
- Côte aménagée
- Côte aménagée abimée

Arrière-trait-de-côte

- Limite des depots de pente (des colluvions aux alluvions)
- Limite des plages ou alluvions perches
- Limite du cordon de galets
- Limite du marais maritime
- Limite du massif dunaire
- Roches et Falaises rocheuses
- Roches altérées et Falaises meubles
- Limite anthropique

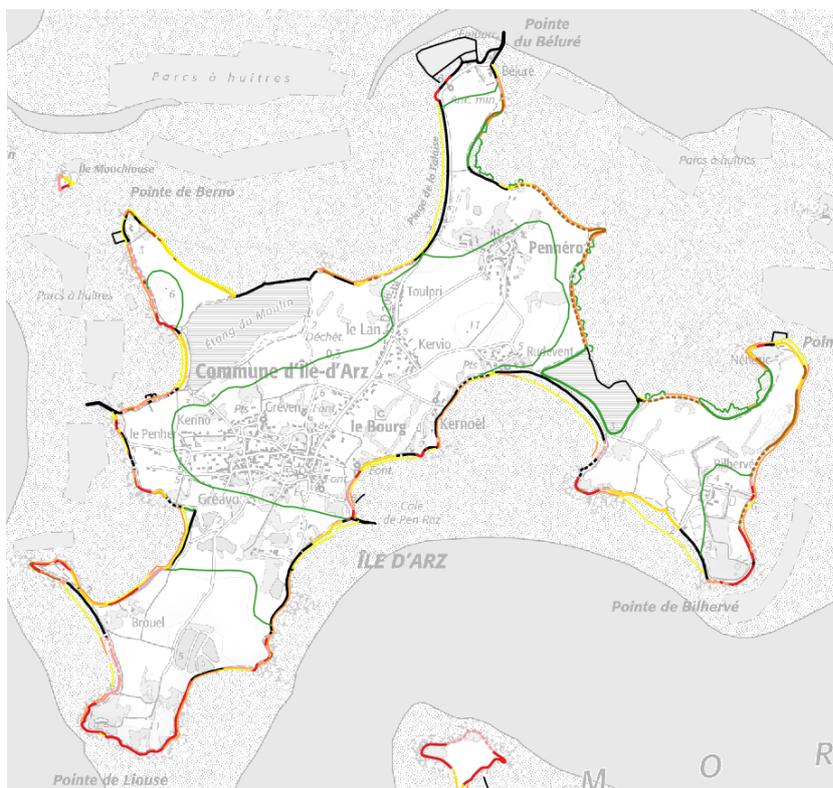


Illustration 47 – Exemple d’aperçu de la géomorphologie du trait de côte accompagnée de l’avant-trait-de-côte et de l’arrière trait-de-côte au niveau de l’Ile d’Arz

4.1.2. Définition des compartiments d'étude

Selon la méthodologie utilisée par Schroëtter et Blaise (2015) dans les atlas des aléas des départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor, et du Finistère, le Morbihan a été divisé en compartiments, délimités à partir des cellules hydrosédimentaires déterminées par le CEREMA, représentées sur la carte ci-après (Illustration 48).

La délimitation de compartiments permet de différencier sur un même département des secteurs possédant des hydrodynamismes différents, et de faciliter l'acquisition et le traitement des données terrain.

La délimitation de ces quatre compartiments a été validée par le Comité de Pilotage, et s'appuie sur celle proposée par le CEREMA (regroupement de 13 unités hydro-sédimentaires en 4 compartiments) de façon à ne pas générer d'incohérence entre les différentes études. Le choix de ces compartiments résulte de différents critères pragmatiques et pratiques, notamment vis-à-vis de leurs tailles et de leurs expositions aux conditions météo-marines. Il convient toutefois de noter que la définition de ces compartiments est surtout utile en termes de présentation des résultats, mais n'influe pas sur les analyses effectuées.

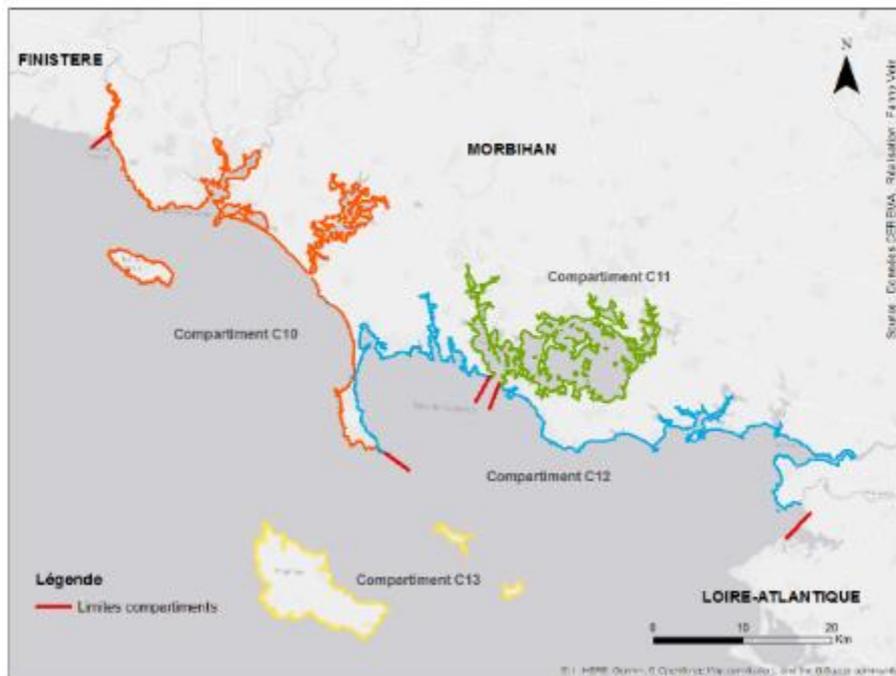


Illustration 48 - La division des côtes morbihannaises en 4 compartiments

Il s'agit des compartiments :

- C10 : de Guidel à la pointe de Quiberon ; ce compartiment est particulièrement exposé aux conditions météo-marines, comme en attestent les sédiments marins plutôt grossiers que l'on trouve au large (Illustration 15) ;
- C11 : de la pointe de Quiberon à Pénestin (sauf le golfe du Morbihan) ; ce compartiment est moins exposé aux conditions météo-marines de par la protection offerte par la

presqu'île de Quiberon et les îles, comme en attestent les sédiments marins fins que l'on trouve au large (Illustration 15) ;

- C12 : le Golfe du Morbihan ; ce compartiment est particulièrement abrité des conditions météo-marines du fait de son caractère quasi-fermé, puisqu'il n'est connecté à la mer que par un étroit passage (moins d'un kilomètre de large) entre Arzon et Locmarquer (il n'est toutefois pas totalement abrité, car du fait de ses dimensions, un fetch suffisant peut être à l'origine de vagues générées directement sur le Golfe) ;
- C13 : Belle-Ile-en Mer, Houat et Hoëdic ; Ces îles sont de par leurs positions au large particulièrement exposées aux agents météo-marins.

En complément de l'étude réalisée précédemment sur les 3 autres départements (Schroëtter et Blaise, 2015), le littoral de la région Bretagne se trouve donc segmenté en 13 compartiments (Illustration 49).

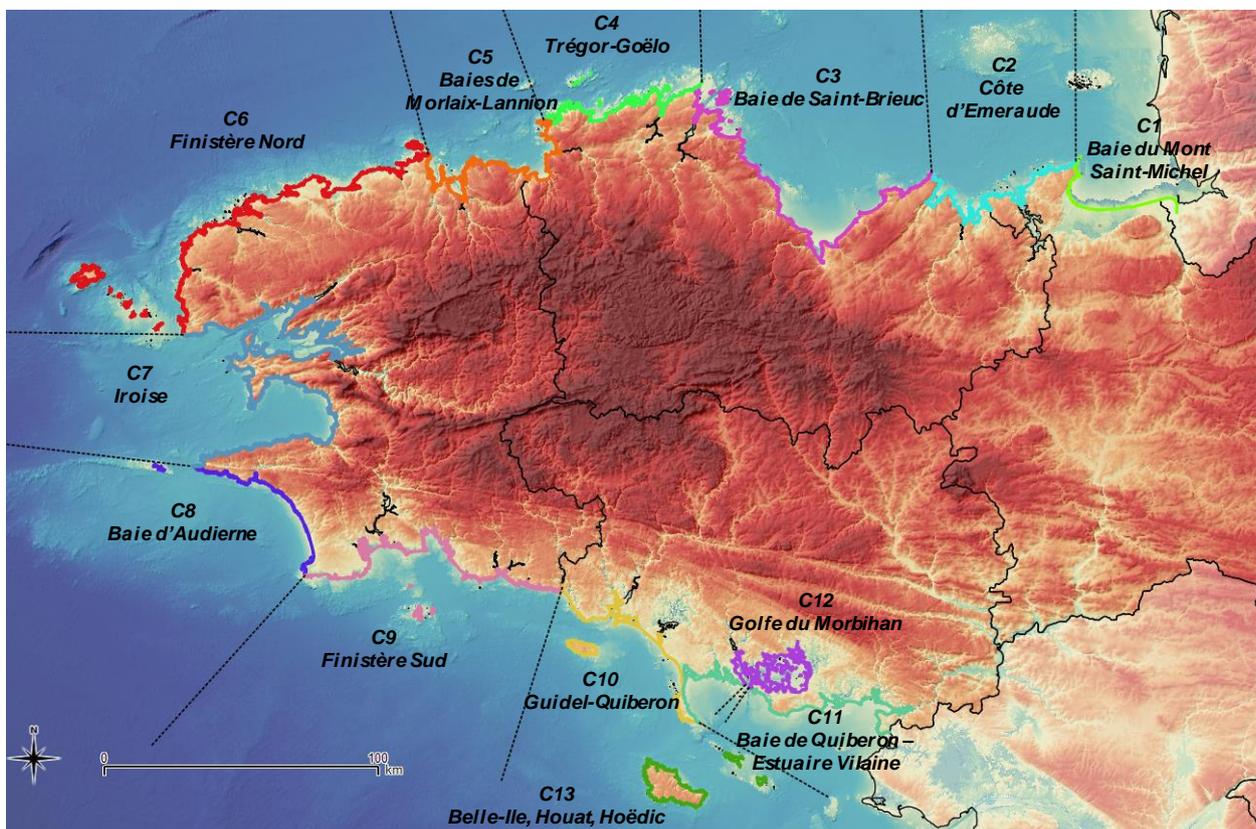


Illustration 49 – Segmentation du littoral de la région Bretagne en 13 compartiments

4.1.3. Données géologiques pour la caractérisation du trait de côte du Morbihan (compartiments C10, C11, C12 et C13)

L'analyse de la géomorphologie du trait de côte du Morbihan a été réalisée à partir de la carte géologique au 1/50 000^{ème} harmonisée sur le département (Cagnard, 2009).

Cette carte départementale est le résultat d'un travail d'harmonisation de 23 cartes géologiques à 1/50 000 (Illustration 50). Il convient toutefois de noter que l'une de ces 23 cartes géologiques n'est pas encore publiée à ce jour : il s'agit de celle d'Auray (n°416), pour laquelle l'harmonisation s'est donc appuyée à la fois sur des minutes disponibles de cette carte, et sur les cartes géologiques à l'échelle du 1/80 000^{ème}.

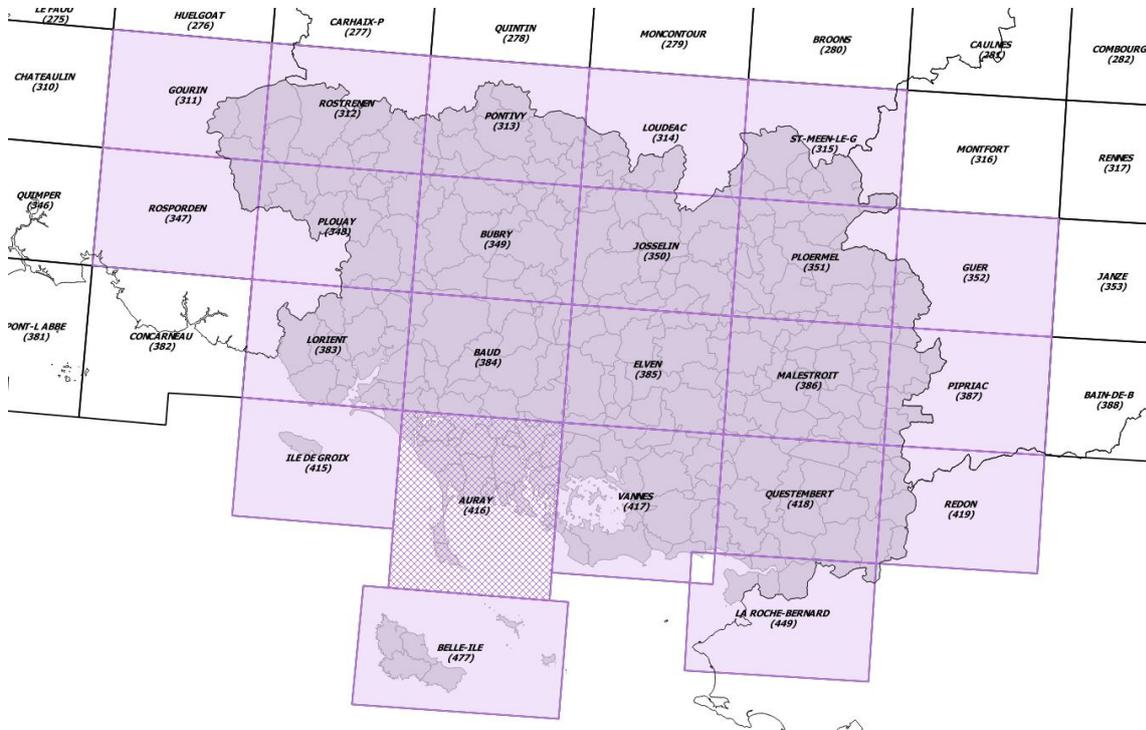


Illustration 50 – Dallage des cartes géologiques au 1/50 000 pour le département du Morbihan

Cette géologie départementale harmonisée a été ensuite superposée au vecteur du TdC afin d'affecter automatiquement une formation géologique (lithologie et âge) pour chaque tronçon de trait de côté (découpé par les polygones de la géologie).

Cette géologie, définie à partir des cartes au 1/50 000 du BRGM, a été complétée et précisée par des investigations de terrain. Celles-ci ont notamment permis de préciser la géologie des côtes basses et des côtes composées par des dépôts de pente meubles souvent cartographiés de manière incomplète à l'échelle du 1/50 000.

Cette étape a donc fait l'objet d'un travail d'acquisition de la géologie par la conception de minutes de terrain dont le support de cartographie a été le scan 25 de l'IGN (topographie à 1/25 000), agrandi à l'échelle du 1/15 000 (Illustration 51).

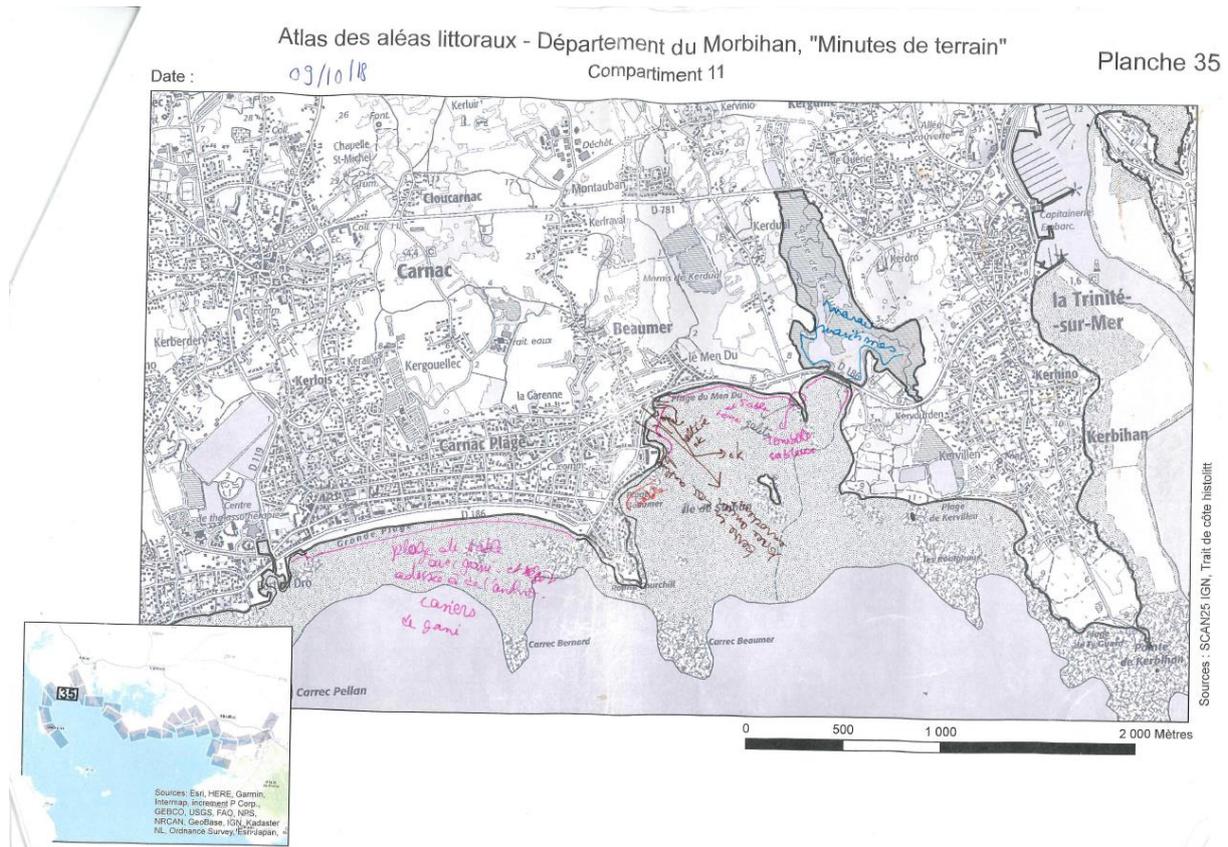


Illustration 51 - Exemple de minute de terrain sur le secteur de Carnac (56)

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** (cf note de bas de page en page 30) **ou encore en érosion ou pas**.

La nature de l'avant trait de côte a pu être définie grâce aux investigations de terrain, complétées 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 Scan25 de l'IGN, sur la topographie 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 dernière étape importante, a été la **simplification** de cette géologie sur le département.

Avec 240 caissons ou polygones correspondants chacun à une formation géologique du département, 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 240 formations géologiques en :

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

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

- La lithologie (regroupement des formations géologiques de même nature ou de la même famille), comme par exemple les leucogranites avec les granites et les 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 52) ;

Matériau	Module de Young E (GPa)	Coefficient de Poisson ν
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
Grès	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 52 - Module de Young et coefficient de Poisson pour quelques familles de roches (Mestat, 1993)

- du comportement des minéraux des formations géologiques face à l'altération (cf note de bas de page en page 30) comme par exemple l'ordre établi par Goldich (1938) de résistance des minéraux à l'altération (Illustration 53) ;

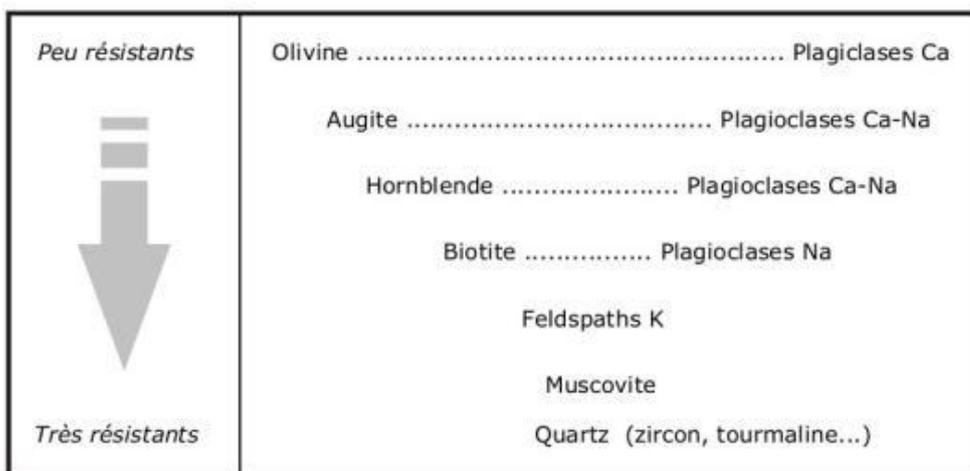


Illustration 53 - Ordre de résistance des minéraux à l'altération (Goldich, 1938)

- De la classification retenue lors de la réalisation de l'atlas sur les autres départements (Schroëtter et Blaise, 2015).

4.2. ANALYSES COMPLEMENTAIRES SUR L'ÉROSION DES COTES NATURELLES

4.2.1. Prédiposition à l'érosion des côtes à falaises

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

- 1 - la **proportion de linéaire altéré** par formation géologique ;
- 2 - la **proportion de linéaire en érosion** par formation géologique ;
- 3 - la **densité de mouvements de terrain au kilomètre linéaire** par formation géologique ;
- 4 - la **densité de cavités au kilomètre linéaire** par formation géologique.

Levés de terrain concernant la détection des dynamiques d'érosion

Pour le département du Morbihan, la campagne de levé de terrain s'est faite du printemps à l'automne 2018, complétée ensuite au premier semestre 2019. Seulement deux agents ont arpenté les 860 km environ de littoral.

Plusieurs types d'éléments ont été relevés :

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

Synthèse des éléments relevés lors de la phase terrain

a) 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), 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 54)

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 : les différentes lithologies depuis le sol, la fracturation des massifs , la présence de 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 54 - Schéma de principe d'un glissement de terrain (Locmaria, Belle-Ile, 56).

Glissements banc sur banc (Illustration 55)

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 liés aux différentes lithologies mais surtout à la présence de 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.

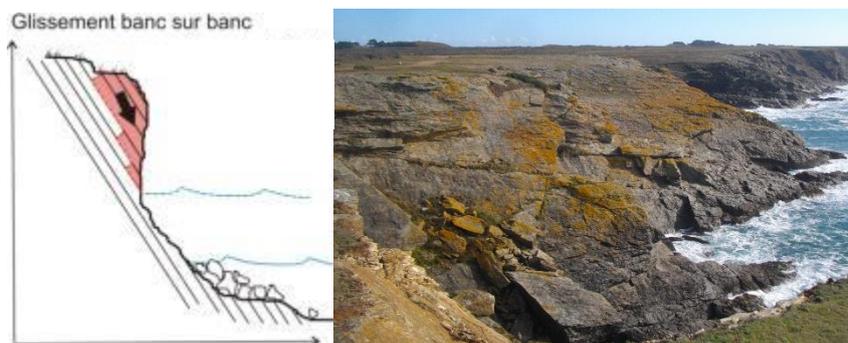


Illustration 55 - Schéma de principe d'un glissement banc sur banc (Groix, 56).

Glissements de dièdres (Illustration 56)

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 56 - Schéma de principe d'un glissement de dièdres (Groix, 56).

Éboulement, chute de blocs (Illustration 57)

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.

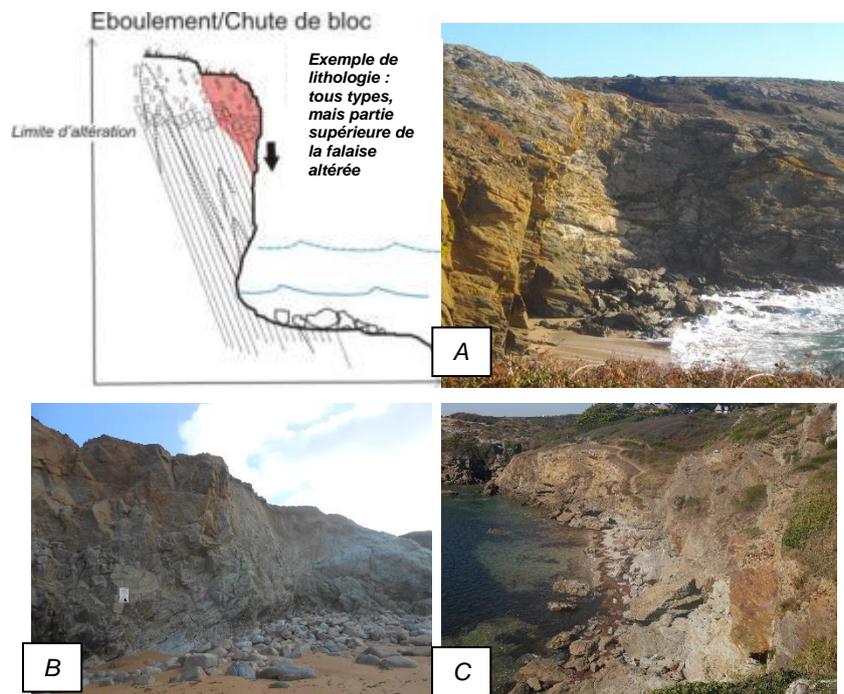


Illustration 57 - Schéma de principe d'un éboulement/Chute de blocs (A : Groix, 56 ; B : Saint-Pierre-Quiberon, 56 ; C : Saint-Gildas-de-Rhuys, 56).

Ravinement (Illustration 58)

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 tels que des altérites (matériaux issus de l'altération, selon l'intensité de cette altération, cf note de bas de page en page 30 : allotérites et isaltérites), des dépôts de pente ou une forte épaisseur de sols, par l'action des eaux météoritiques.



Illustration 58 - Ravinement important des formations superficielles composées d'alluvions perchées (Pénestin, 56).

Sous-cavage (Illustration 59)

Le sous-cavage est essentiellement présent en pied de falaise, et il est principalement 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.

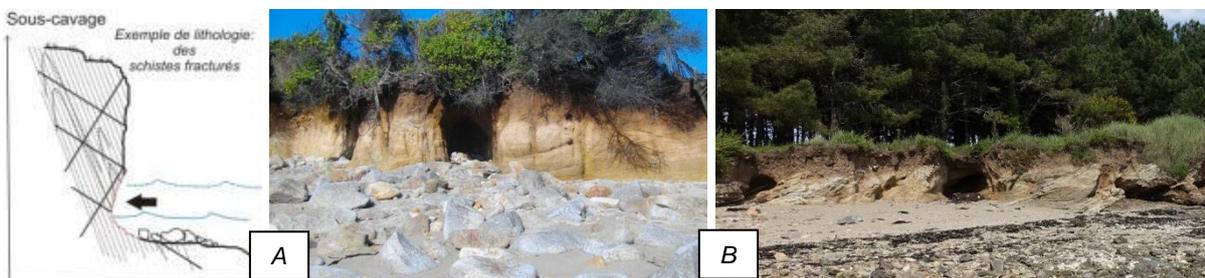


Illustration 59 - Sous-cavages (A : Gâvres, 56 ; B : Ile d'Arz, 56).

Effondrement (Illustration 60)

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 60 - Effondrements (A : d'une grotte marine : Trou de Vazen à Bangor, 56 ; B : d'un sous-cavage à Quiberon, 56).

b) 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 *et al.*, 2003) où sur les régions côtières (par exemple Wildman et Hobbs, 2005 ; Pérez-Alberti *et al.*, 2011 ; Marçot et Mathon, 2004, Marçot *et al.* 2014). 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'évènements 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 avérés pour un trait de côte tel que celui de la Bretagne composé d'une alternance 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 : **la proportion de linéaire altéré** (cf note de bas de page en page 30), **la proportion de linéaire en érosion**, **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 chacune des 11 formations géologiques correspondant aux côtes à falaises, et les moyennes arithmétiques de ces notes ont été considérées comme la note d'évaluation de la prédisposition à l'érosion de chaque formation. On peut toutefois noter que les 2 formations de Terrasses anciennes, qui correspondent à des côtes à falaises meubles, ne peuvent être caractérisées en termes d'altération (le phénomène d'altération n'affectant que les roches dures). Cette évaluation a donc été réalisée à échelle départementale, chacune des 11 formations de côtes à falaises recevant un unique niveau de prédisposition à l'érosion selon les observations obtenues à l'échelle du Morbihan.

Les tableaux présentés au paragraphe 5.7 illustrent les notes attribuées à chaque formation géologique, en fonction des différents critères énoncés ci-dessus.

Il convient de noter que cette évaluation a été ici réalisée à l'échelle du département du Morbihan (i.e. chacune des 11 formations de côtes à falaises a reçu un unique niveau de prédisposition à l'érosion pour tout le Morbihan), alors que Schroëtter et Blaise (2015) avaient estimé la prédisposition à l'érosion des côtes à falaises à l'échelle de 3 départements (Ille-et-Vilaine, Côtes d'Armor et Finistère). Quelques différences dans les niveaux de prédisposition peuvent donc apparaître entre le Morbihan et les autres départements bretons. Une analyse complémentaire à l'échelle de la région Bretagne a toutefois montré que les niveaux de prédisposition à l'érosion déterminés par cette méthode étaient globalement cohérents entre l'échelle régionale et l'échelle départementale, les éventuels changements de niveaux restant à la marge. Une harmonisation régionale des niveaux de prédisposition pourra cependant être envisagée par la suite pour simplifier la compréhension de la démarche.

4.2.2. Dynamique des cotes d'accumulation

La caractérisation et l'évolution du trait de côte sur les côtes sédimentaires du linéaire côtier du département du Morbihan ont été réalisées pour une période semi-séculaire comprise entre 1952 et 2010. Ce travail a été réalisé par Emmanuel Blaise, dans le cadre de son travail de doctorat à l'Université de Bretagne Occidentale, supervisé par le professeur Serge Suanez (Blaise, 2017).

Il convient de noter que cette information complémentaire ne remplace pas la caractérisation de la géomorphologie du trait-de-côte (réalisée sur la base du trait de côte Histolitt pour tout le département, et même pour toute la Bretagne), mais apporte un supplément d'information sur la cinématique des côtes d'accumulation, sous la forme d'une couche SIG distincte.

Introduction

L'analyse des parties de côtes d'accumulation du linéaire côtier du Morbihan (et des 3 autres départements de Bretagne), 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 1952 et 2010.

Les seules données existantes, traitant de la cinématique du trait de côte à l'échelle de la région Bretagne, étaient celles du programme EROCOVUL (Hénaff *et al.*, 2006), 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. 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 est apparu nécessaire de mettre en place une méthode homogène à toutes les plages de la région Bretagne, ce qui s'est fait dans le cadre de l'atlas des risques côtiers des départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère (Schroëtter et Blaise, 2015) et de la thèse d'Emmanuel Blaise à l'UBO (Blaise, 2017). Pour le Morbihan, la quantification de l'évolution du trait de côte des côtes meubles s'est faite pour une période identique (sur les soixante dernières années) sur le linéaire côtier à traiter, en utilisant 2 missions de photographies aériennes orthorectifiées (1952 et 2010).

La première partie du travail a consisté à établir une classification des différents types de côtes 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 ; Moore, 2000...). Il convient toutefois de noter que cette caractérisation de la dynamique des côtes d'accumulation est issue des travaux de Blaise, et cette caractérisation des côtes d'accumulation a été réalisée indépendamment de la caractérisation de la géomorphologie du trait de côte. Par conséquent, des différences peuvent exister entre les 2 typologies (par exemple, la dynamique d'une plage adossée à un ouvrage a pu être caractérisée, alors que la géomorphologie du trait de côte indique une côte artificialisée, car il a été jugé que l'intégralité de la plage était submergée aux pleines mers et que c'est bien l'ouvrage qui marquait la position du trait de côte).

Méthodologie

a) 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 appuyée sur :

- Une typologie préliminaire réalisée à l'aide de l'outil d'archives photographiques *Panoramio* disponible via le portail *Google Earth* ;
- D'éventuelles autres données photographiques disponibles ;
- Et des validations-terrains finales lorsque c'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 61) ;
- 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 61).

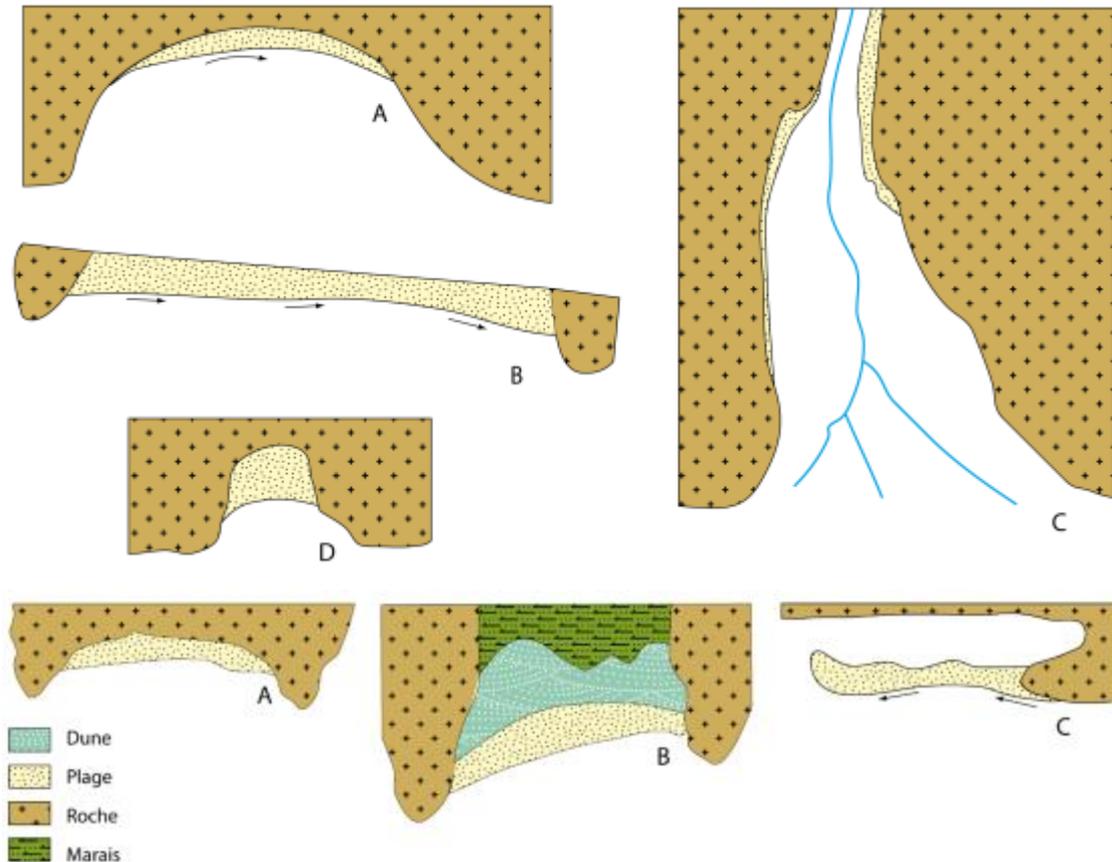


Illustration 61 - En haut : physionomie des plages selon l'exposition : A. plage de fond de baie – B. plage ouverte – C. plage d'estuaire – D. plage de poche ; En bas : Physionomie des plages selon la morphologie : A. plage adossée – B. cordon dunaire – C. forme fuyante

b) 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 lignes de référence pouvant être classées en trois grandes familles que sont les indicateurs morphologiques, biologiques, et la position des différents niveaux d'eau (Boak et 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).

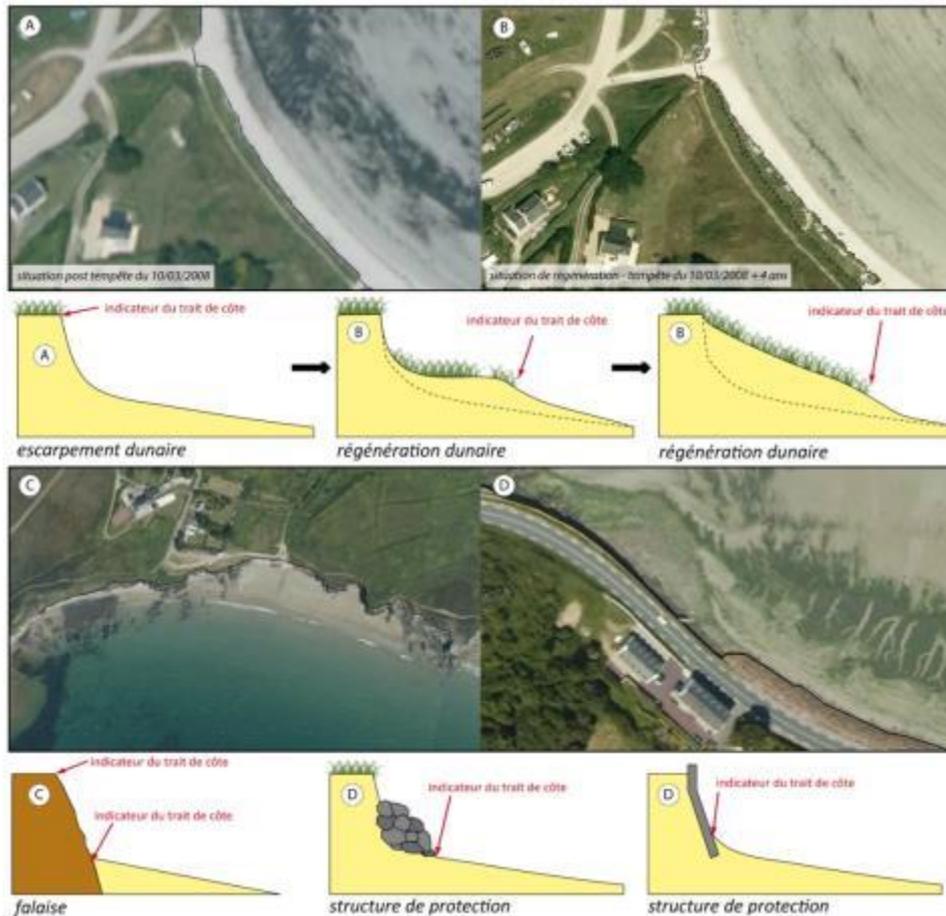


Illustration 62 - Limite de trait de côte retenue : A et B. limite de la végétation dunaire – C. sommet ou pied de falaise – D. pied de l'aménagement de protection

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 2010.

La végétation supra littorale a été choisie pour les cordons de galets "végétalisés" ainsi que pour les crêtes sommitales des 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 62).

c) 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 1952 et de 2010) référencées en Lambert 93. Les marges d'erreur inhérentes à l'ortho-corrrection et au géo-référencement des photographies aériennes, ainsi qu'à la digitalisation du trait de côte, ont été estimées à +/-5 m.

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 (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 sur le Morbihan est de 5 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 63). Le résultat final correspond donc à un calcul de la vitesse d'érosion ou d'accrétion entre les 2 dates, pour chaque transect (donc tous les 5 m environ). Pour des raisons pratique, ce résultat a été rapporté sur la position du trait de côte digitalisé pour l'année 2010.

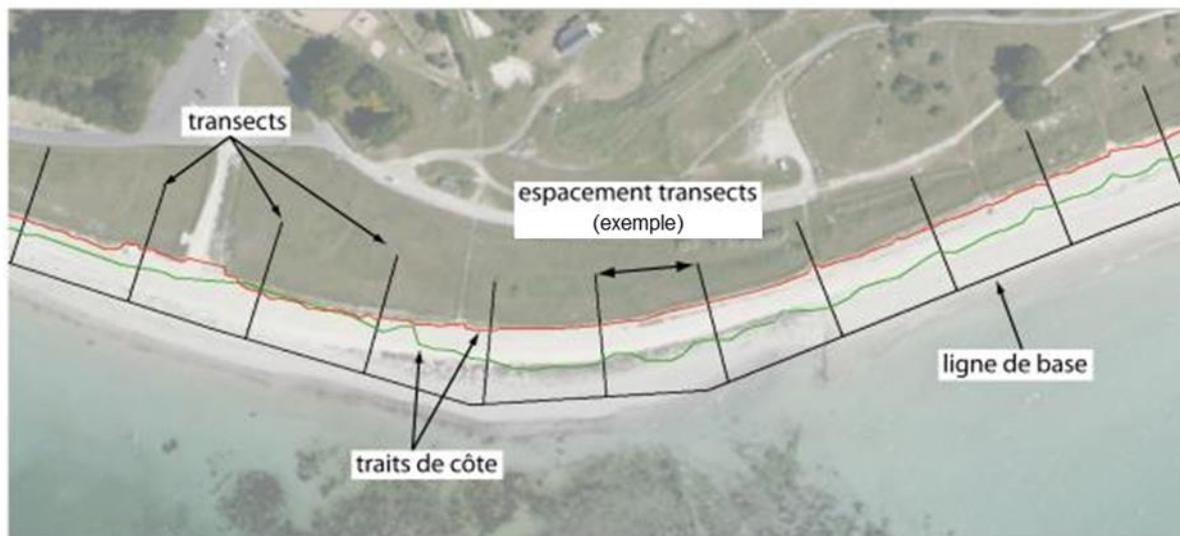


Illustration 63 - Principe du Digital Shoreline Analysis System

d) 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 64).

Compartiment	Nombre de plages	Linéaire traité (km)
C10	62	63.22
C11	113	88.19
C12	76	37.26
C13	46	17.68
Total Morbihan	297	207,33

Illustration 64 - Synthèse par compartiment des côtes d'accumulation traitées

Une partie de ce linéaire (55,6 km) n'a pas été traitée en termes de cinématique, du fait d'une artificialisation survenue sur le secteur, rendant l'analyse biaisée.

4.3. ÉVÉNEMENTS TEMPETUEUX DOMMAGEABLES

Une des tâches prévues par cette étude consistait en une mise à jour de la base de données des impacts de tempête établie précédemment pour les départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère (Schroëtter et Blaise, 2015) :

- Extension au département du Morbihan (notamment à partir des données historiques recensées par Le Cornec et al., 2012) ;
- Mise à jour de la base de données avec les impacts des tempêtes récentes (donc depuis 2012 pour les départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère, et depuis 2010 pour le département du Morbihan).

Ce travail a également permis d'apporter de nombreux compléments et corrections autres sur les données de la base.

La structure de la base telle que définie par Schroëtter et Blaise (2015) a été conservée, à ceci près qu'un champ spécifique nommé « Id_tempete » a été ajouté : ce champ permet de saisir un identifiant spécifique à un événement de tempête (et non seulement à son impact), ce qui en facilite la sélection, l'affichage, et permet de faire aisément le lien entre des dommages correspondant à un même événement mais parfois saisis avec une date qui peut différer de quelques jours (notamment lorsque les dommages surviennent de nuit ou lorsque l'événement dure longtemps...). Ces identifiants ont été construits simplement sur la base de la date principale de la tempête, en accolant sous la forme d'une chaîne de caractères les 4 chiffres de l'année puis les 2 chiffres du mois puis les 2 chiffres du jour (pour les événements mal datés, les mois et/ou jours manquants sont remplacés par des 0).

Un aperçu global des données de la base de données peut être consulté au paragraphe 5.8, suivi par des focus plus spécifiques sur les 4 compartiments du département du Morbihan (C10 au paragraphe 6.2, C11 au paragraphe 7.2, C12 au paragraphe 8.2 et C13 au paragraphe 9.2).

Pour des informations plus détaillées, il convient de se référer directement au SIG, qui contient l'ensemble des informations (sources, description, précision...), ou aux fiches tempêtes établies dans le cadre de l'étude qui reprennent une synthèse des dommages par commune pour les événements les plus marquants.

5. Synthèse des résultats à l'échelle du département du Morbihan

5.1. LA « GEOMORPHOLOGIE » DU TRAIT DE COTE DU MORBIHAN

Cette cartographie 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 sur le département du Morbihan.

Pour un linéaire total de côte de **856,8 km** étudié, le trait de côte est composé à **29,1 %** d'**aménagements anthropiques** (digues, murs, épis, quais etc.), soit un linéaire de **249,5 km**.

Les **côtes naturelles** sont composées de **197,7 km** de **côtes d'accumulation** (cordons et plages sableuses ou à galets, marais maritimes...), soit **23,1 %** du département, et de **409,6 km** de **côtes à falaises**, soit **47,8 %** (Illustration 65).

L'identification sur le terrain du linéaire de trait de côte naturel interprété en érosion (sur les côtes meubles comme rocheuses), permet d'estimer à **167,65 km** le linéaire de TdC **en érosion** soit **19,6 %** des côtes du Morbihan.

Pour les **côtes à falaises**, le linéaire en érosion est de **145,2 km**, soit **35,4 %** des côtes à falaises (et **16,9 %** du département), alors que pour les **côtes d'accumulation**, le linéaire en érosion est de **22,43 km** en érosion, soit **11,3 %** des côtes d'accumulation (et **2,6 %** du département).

Sur les 249,5 km anthropisés de ce linéaire côtier, **10,7 km**, soit **4,3 %** (et 1,2 % du département), ont été observés comme étant endommagés. Ces chiffres n'intègrent toutefois pas le cas d'amaigrissement de plages à l'avant d'ouvrages.

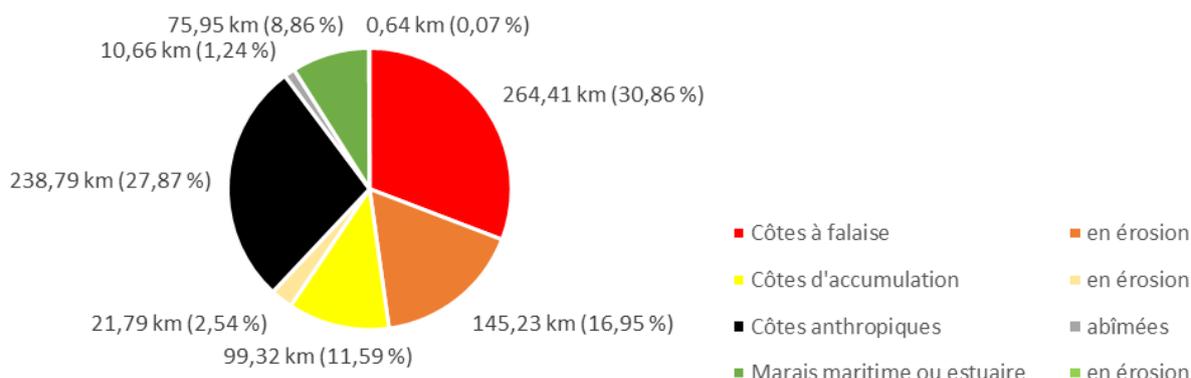


Illustration 65 - Synthèse du linéaire côtier étudié pour le département du Morbihan

5.2. SYNTHÈSE PAR FORMATION GÉOLOGIQUE LITTORALE

Pour l'ensemble du département du Morbihan, il a été possible de caractériser :

- Les différents linéaires de côtes à falaises saines et altérées (cf note de bas de page en page 30) ;
- Les différents linéaires de côtes (rocheuses et meubles) en érosion (ou pas).

Le linéaire des côtes rocheuses dans le département du Morbihan est constitué (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) :

- De **roches** de la famille des **granites (150,5 km)** ;
- De **roches métamorphiques** (micaschistes, gneiss, migmatites...) (**96,9 km**) ;
- De **roches volcano-sédimentaires (95,8 km)** ;
- De **roches métamorphiques basiques (21,3 km)** ;
- De **roches volcaniques et métavolcaniques acides (20,4 km)** ;
- De **roches plutoniques à volcaniques basiques (0,9 km)** ;
- De différents **filons rocheux (0,5 km)** ;
- De **roches quartzitiques ou localement mylonitiques (0,2 km)** ;
- De **roches sédimentaires (schisto-gréseuses) (0,1 km)**.

A ces formations rocheuses s'ajoutent, pour compléter la famille des côtes à falaises, 2 formations meubles, mais qui de par leur cohésion et leur comportement tendent à constituer des falaises potentiellement importantes et souvent érodables :

- Les **terrasses anciennes de Type 1** (correspondant généralement à des falaises meubles ou composites, composées le plus souvent de plages, alluvions ou dépôts de pente perchés) (**22 km**) ;
- Les **terrasses anciennes de Type 2** (correspondant exclusivement à la falaise de la Mine d'Or à Pénestin, constituée d'alluvions perchées reposant sur des altérites très meubles) (**0,9 km**).

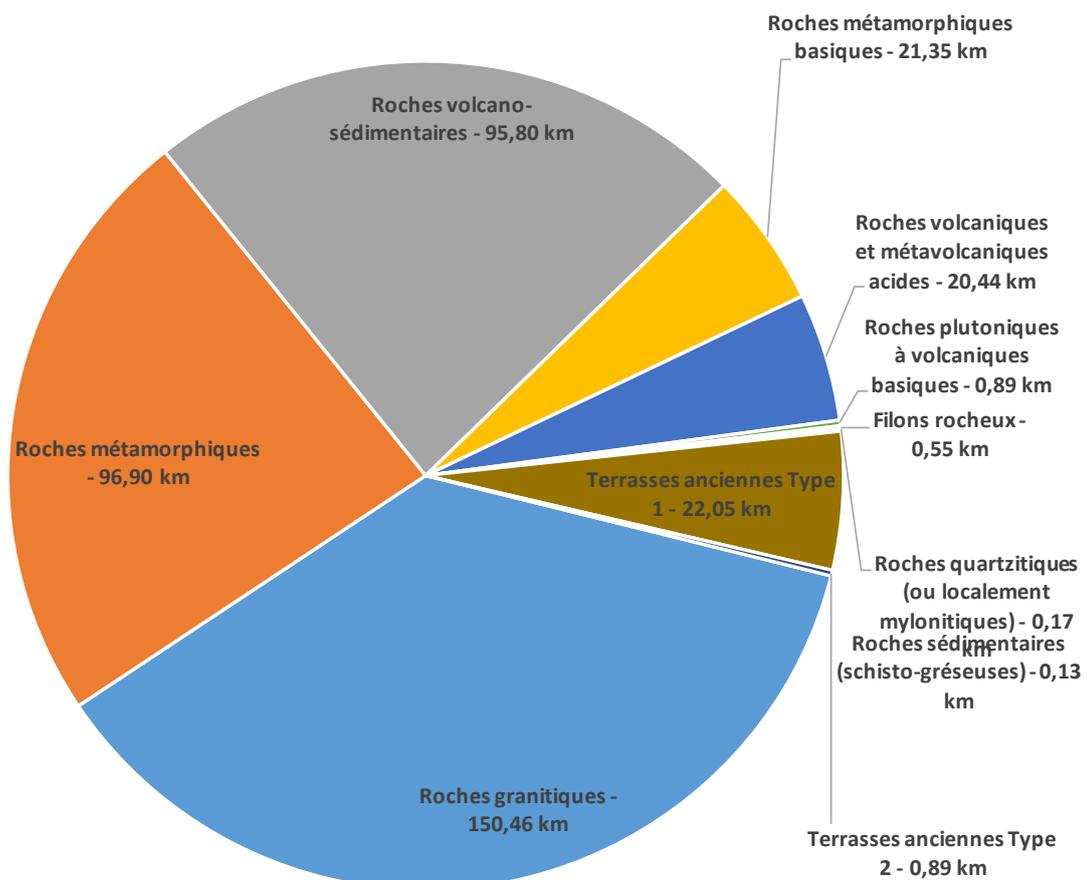


Illustration 66 - Proportions des linéaires (en km) des différentes côtes à falaises

Géomorphologie	Détail des caractéristiques										Bilan		
	Total (km)		Sain sans érosion		Sain en érosion		Altéré sans érosion		Altéré en érosion		Total altéré	Total en érosion	Total soit (%)
	soit (%)	soit (%)	soit (%)	soit (%)	soit (%)	soit (%)	soit (%)	soit (%)	soit (%)	soit (%)	soit (%)	soit (%)	soit (%)
Roches granitiques	150.46	76.53	9.43	6.27	8.19	5.44	17.69	11.76	25.88	17.20	27.11	18.02	
Roches métamorphiques	96.90	78.00	4.74	4.89	4.56	4.71	12.02	12.41	16.59	17.12	16.76	17.30	
Roches volcano-sédimentaires	95.80	24.75	57.96	60.50	0.60	0.63	12.49	13.04	13.09	13.67	70.45	73.53	
Roches métamorphiques basiques	21.35	15.20	2.26	10.57	0.83	3.90	3.06	14.32	3.89	18.22	5.31	24.89	
Roches volcaniques et métavolcaniques acides	20.44	4.23	10.62	51.94	0.00	0.00	5.59	27.35	5.59	27.35	16.21	79.29	
Roches plutoniques à volcaniques basiques	0.89	0.00	0.73	82.34	0.00	0.00	0.16	17.66	0.16	17.66	0.89	100.00	
Filons rocheux	0.55	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Roches quartzitiques (ou localement mylonitiques)	0.17	0.13	0.00	0.00	0.04	22.03	0.00	0.00	0.04	22.03	0.00	0.00	
Roches sédimentaires (schisto-gréseuses)	0.13	0.06	0.08	58.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	58.71	
Terrasses anciennes Type 1	22.05	14.52	7.53	34.13	-	-	-	-	-	-	7.53	34.13	
Terrasses anciennes Type 2	0.89	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	0.89	100.00	
Total Côtes à falaises	409.63	250.18	61.07	22.78	14.23	3.47	51.01	12.45	65.23	15.93	145.23	35.45	

Illustration 67 - Tableau des formations géologiques littorales simplifiées des côtes à falaises du Morbihan (avec proportions respectives de linéaires altérés et en érosion)

5.3. SYNTHÈSE SUR L'ALTERATION DES FORMATIONS GÉOLOGIQUES LITTORALES

La proportion de linéaire de roche altérée (cf note de bas de page en page 30) a été calculée pour chaque formation de côtes rocheuses (côtes à falaises à l'exception des 2 formations de terrasses anciennes) afin d'avoir une image du degré d'altération des différents linéaires de côtes rocheuses (Illustration 67 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Les formations géologiques qui présentent **les proportions de linéaire altéré** les plus importantes, sont :

- **Les roches volcaniques et métavolcaniques acides**, avec **27,3 %** de leur linéaire altéré ;
- **Les roches quartzitiques** avec **22 %** (mais sur un linéaire toutefois très limité) ;
- **Les roches métamorphiques basiques** avec **18,2 %** ;
- **Les roches granitiques, les roches métamorphiques et les roches plutoniques à volcaniques basiques** avec **17,1 à 17,7 %** de leurs linéaires côtiers ;
- **Les roches volcano-sédimentaires**, avec **13,7 %**.

5.4. SYNTHÈSE SUR L'ÉROSION DES FORMATIONS GÉOLOGIQUES LITTORALES

5.4.1. Sur les côtes à falaises

La même démarche a été réalisée mais cette fois-ci par le calcul de la proportion du linéaire en érosion, pour chaque formation de côtes à falaises (Illustration 67 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

2 formations ont été considérées comme étant en érosion sur l'intégralité de leur linéaire : il s'agit des **roches plutoniques à volcaniques basiques** et des **terrasses anciennes de Type 2**, mais ces formations présentent des linéaires très restreints (0,9 km chacune). Les autres formations géologiques qui présentent **les proportions de linéaires en érosion** les plus importantes, sont :

- Les **roches volcaniques et métavolcaniques acides**, avec **79,3 %** de leur linéaire en érosion ;
- Les **roches volcano-sédimentaires** avec **73,5 %** ;
- Les **roches sédimentaires** avec **58,7 %** (mais sur un linéaire extrêmement restreint de quelques dizaines de mètres) ;
- Les **terrasses anciennes Type 1** avec respectivement **34,1 %** ;
- Les **roches métamorphiques basiques** avec **24,9 %** ;
- Les **roches granitiques** avec **18 %** ;
- Les **roches métamorphiques** avec **17,3 %**.

5.4.2. Sur les côtes meubles

Pour les côtes d'accumulation, tels que les cordons dunaires de sables ou de galets, les flèches etc. (Illustration 68), cette approche n'est pas des plus adaptées mais malgré tout **la proportion de linéaire en érosion** montre que :

- Les **tombolos sableux** ont été observés en érosion plus de la moitié du temps, mais sur un linéaire restant très restreint, à peine plus de 1 km ;
- Les **cordons dunaires sableux** ont également été observés en érosion sur une proportion significative (**22,9 %**) ;

- Les **cordons de galets** et les **cordons de matériaux mixtes** ont respectivement **19,3** et **16** % de leurs linéaires en érosion ;
- Les **flèches sableuses** ont **16,7** % de leur linéaire observé en érosion.
- Les **plages de sable adossées** ont été reconnues en érosion sur **10,6** % de leur linéaire ;
- Les **plages de matériaux mixtes adossées** et les **plages de galets adossées** sont en érosion sur respectivement **7,1** et **8** % de leurs linéaires, mais avec des linéaires restant relativement restreints.

Les autres formations ne présentent pas de taux d'érosion importants.

Géomorphologie	Total (km)	Total en érosion	
		En érosion	soit (%)
Cordon dunaire sableux	58.41	13.40	22.94
Cordon de matériaux mixtes	14.14	2.27	16.05
Cordon de galets	2.63	0.51	19.35
Plage de sable adossée	27.66	2.94	10.62
Plage de matériaux mixtes adossée	6.58	0.47	7.14
Plage de galets adossée	0.33	0.03	7.98
Flèche sableuse	9.65	1.61	16.71
Tombolo sableux	1.12	0.57	50.32
Tombolo de matériaux mixtes	0.48	0.00	0.00
Tombolo de galets	0.10	0.00	0.00
Marais maritime ou estuaire	76.59	0.64	0.83
Artificiel	249.45	10.66	4.27

Total Côtes d'accumulation	447.14	33.09	7.40
-----------------------------------	--------	-------	------

Illustration 68 - Formations géologiques littorales simplifiées des côtes d'accumulation du Morbihan (avec proportions respectives en linéaire en érosion)

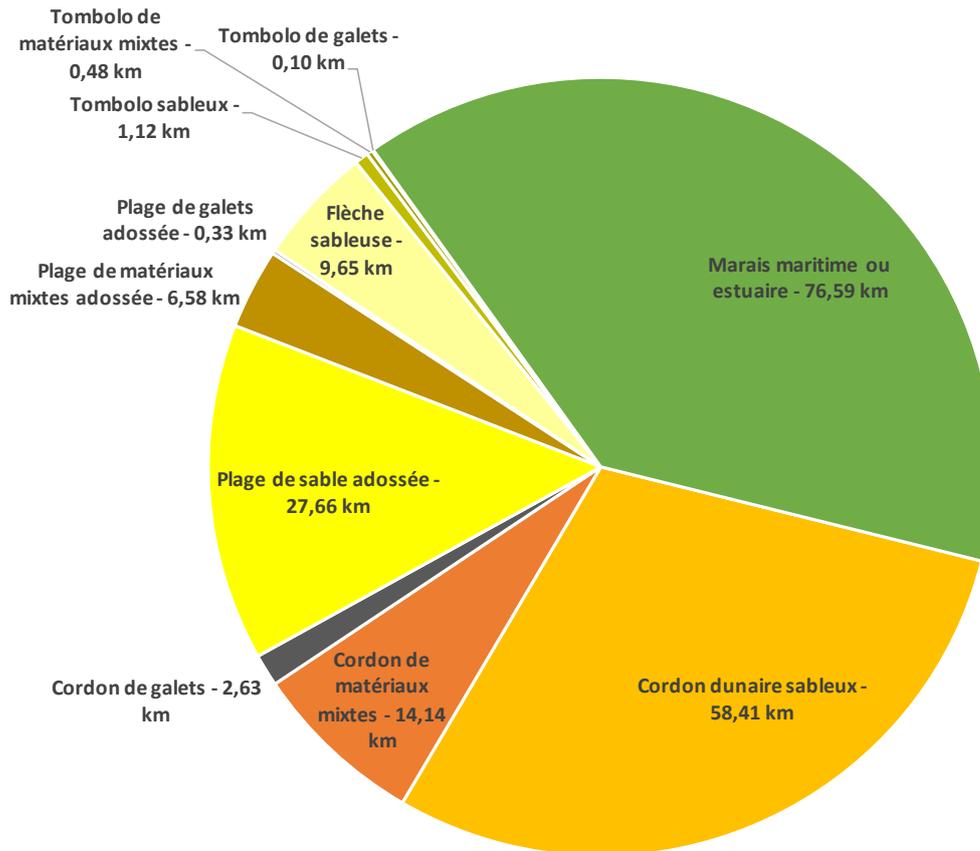


Illustration 69 - Proportions des linéaires (en km) des différentes côtes d'accumulation non artificialisées

5.5. CARTE DE LA GEOMORPHOLOGIE DU TRAIT DE COTE DU MORBIHAN

La carte de la géomorphologie du trait de côte du Morbihan est présentée à l'illustration 70.

Cette carte étant assez difficile à lire du fait du nombre de caissons, c'est une version simplifiée qui sera présentée par la suite (notamment dans les résultats par compartiment), en ne distinguant que les côtes à falaises, les côtes d'accumulation et les côtes anthropiques. Il conviendra de se référer aux données SIG pour approfondir les données sur la géomorphologie complète.

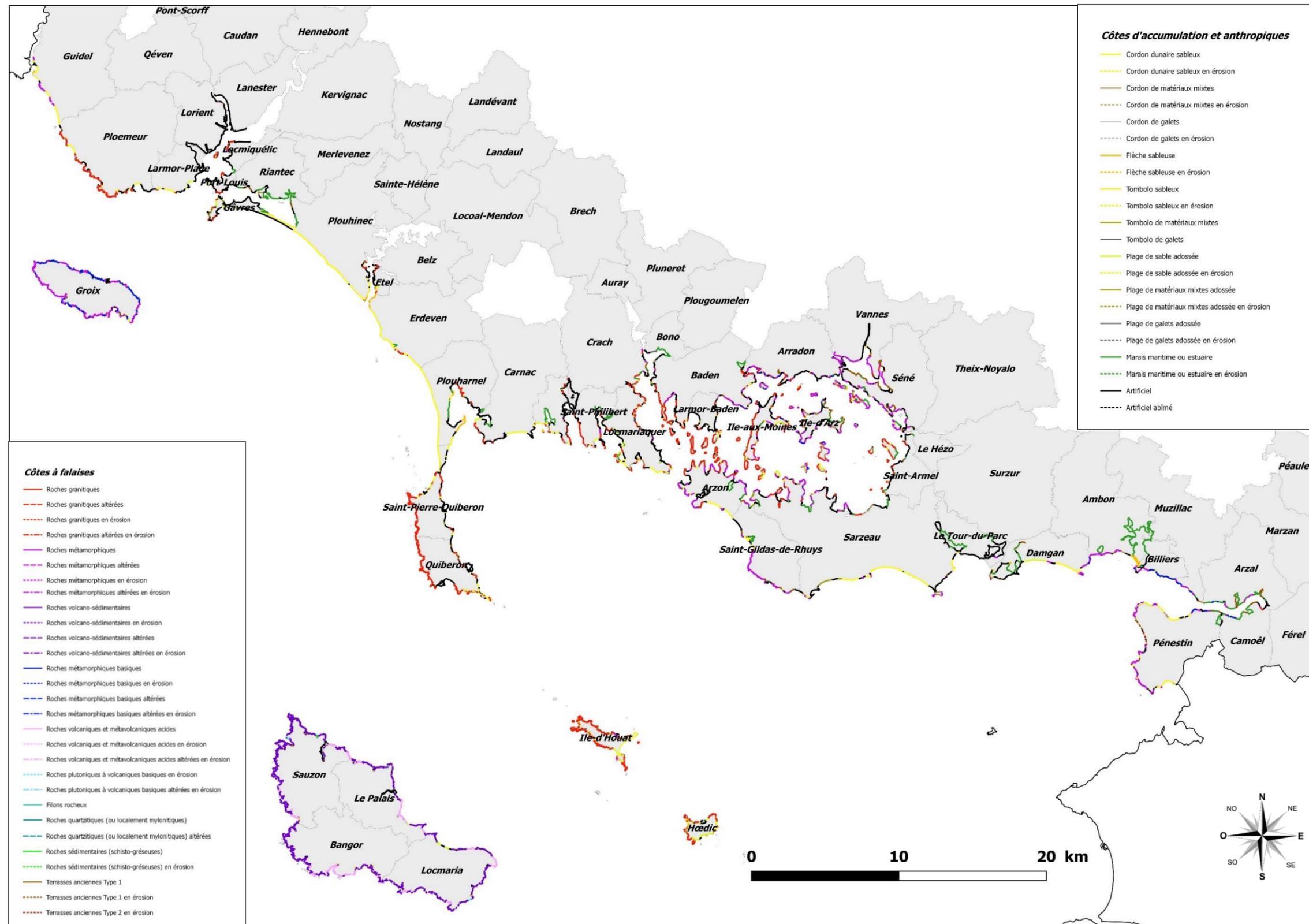


Illustration 70 – Géomorphologie complète du trait de côte du Morbihan

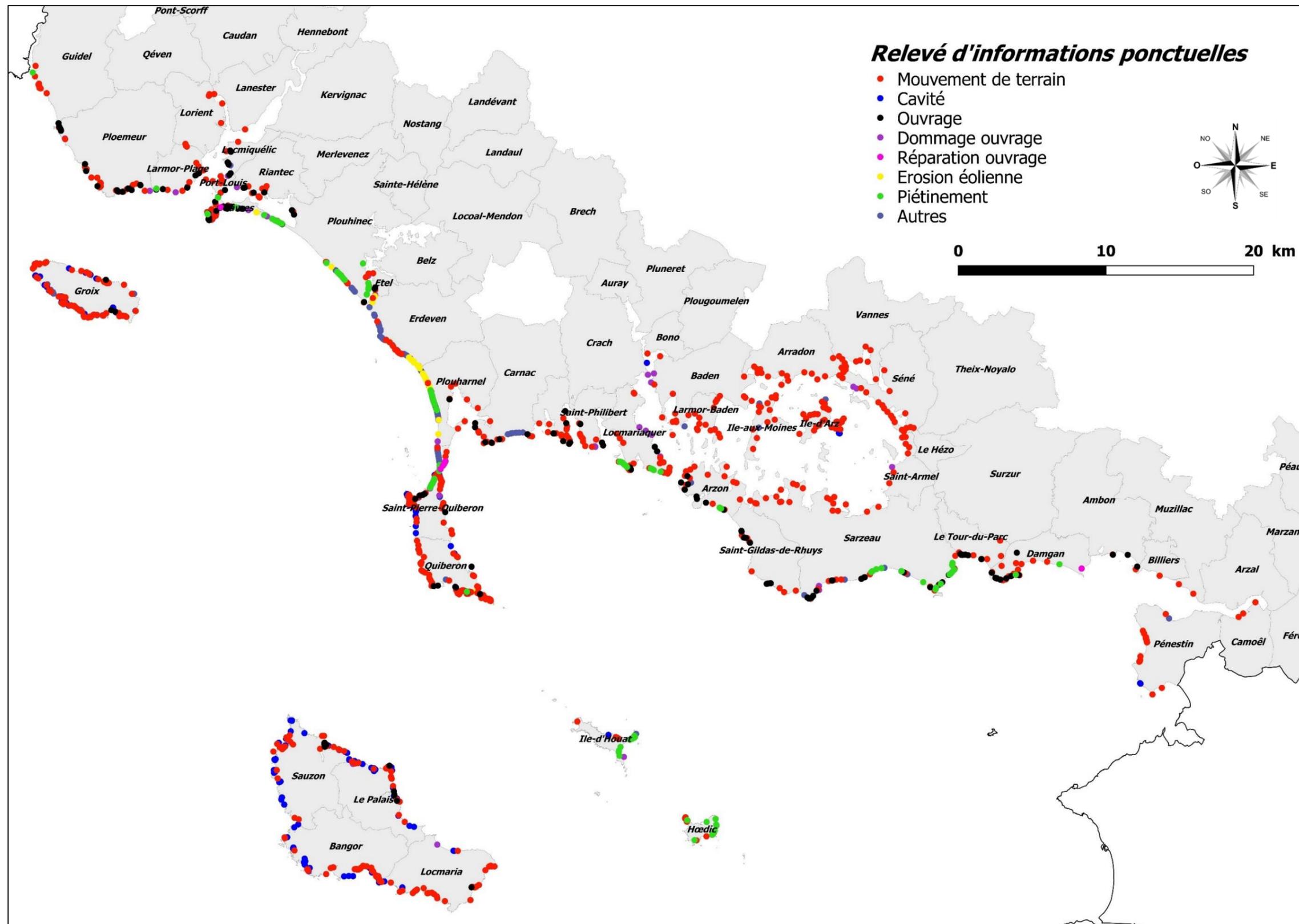


Illustration 71 – Observations ponctuelles : Mouvements de terrain, cavités souterraines, ouvrages...

5.6. SYNTHÈSE DES RESULTATS SUR LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

747 mouvements de terrain ont été recensés sur le littoral du Morbihan, en combinant les résultats de l'inventaire départemental des mouvements de terrain (Bouroullec et Lambert, 2018) et les observations effectuées lors des reconnaissances terrain. Leur répartition géographique se fait pour l'essentiel sur les falaises rocheuses mais aussi sur les falaises meubles (Illustration 71).

Les volumes mis en jeu augmentent avec l'augmentation des hauteurs de falaises. Dans le département du Morbihan, c'est sans surprise au niveau de Belle-Ile et de l'île de Groix, et dans une moindre mesure au niveau de la presqu'île de Quiberon, que se concentrent la majorité des mouvements de terrain, et aussi les plus importants. Ces deux îles correspondent en effet à des îles hautes, entourées de falaises rocheuses élevées battues par les vagues (l'altitude des falaises est typiquement de 30 à 50 m à Belle-Ile, et de 30 à 40 m à Groix). A Quiberon, les falaises la côte sauvage restent moins élevées (typiquement 10 à 20 m), mais présentent une exposition similaire aux agents météo-marins.

Un autre cas particulier correspond aux falaises de Pénestin, qui présentent également de nombreux mouvements de terrain parfois de volumes importants. Si les falaises de Pénestin sont cette fois moins exposées aux vagues, c'est leur géologie particulière qui explique cette densité de mouvements de terrain, les falaises se présentant suivant les secteurs sous la forme d'une couche meuble d'alluvions anciennes surmontant des roches métamorphiques elles-mêmes fortement altérées et meubles (Schroëtter, 2013), sur des hauteurs pouvant approcher les 20 m sur la plage de la Mine d'Or.

Les cavités

159 cavités naturelles ont été recensées sur le littoral du Morbihan (Illustration 71). Ces **159** cavités naturelles correspondent à la compilation des cavités recensés lors de l'inventaire départemental des cavités souterraines du Morbihan, terminé en 2010 (Lalleron, 2010), et des investigations de terrain réalisées au cours de cette étude.

Comme pour les mouvements de terrain, les secteurs les plus concernés par ces cavités (tant en termes de dimensions des cavités que de concentration) sont les côtes rocheuses battues par les vagues de Belle-Ile, de l'île de Groix et de Quiberon. Certaines des grottes de Belle-Ile sont d'ailleurs très connues (la grotte de l'Apothicaire, à Sauzon, par exemple), et peuvent occuper de grands volumes et occasionner des effondrements importants (comme le trou de Vazen à Bangor, par exemple).

Les différentes observations

Lors des visites de terrain, différentes observations pouvant avoir un intérêt sur la connaissance des aléas littoraux, mais qui ne rentrent pas dans le cadre d'inventaires spécifiques, ont été recensées (Illustration 71).

Ces différentes observations ont été de deux ordres : celles correspondant à des ouvrages de protection du littoral, à des impacts les affectant (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 ouvrages et des aménagements précaires (typiquement des casiers de ganivelles), des traces d'érosion, d'érosion éolienne ou d'overwash, des accès aménagés et des piétements notamment sur les côtes meubles sableuses ou encore des arrivées d'eau.

5.7. ANALYSES COMPLEMENTAIRES SUR L'EROSION DES COTES NATURELLES

5.7.1. Prédiposition des côtes rocheuses à l'érosion

La prédiposition à l'érosion de chacune des formations géologiques des côtes à falaise a été qualifiée à partir de la méthode présentée au paragraphe 4.2

Proportion de linéaire altéré

Avec une répartition relativement homogène, le pourcentage de linéaire altéré (cf note de bas de page en page 30) par formation géologique permet l'attribution d'une note s'étalant de 1 à 5, de faible à très élevée (Illustration 72) :

- Aucune formation n'a reçu la note maximale de 5 (qui correspondrait à une proportion altérée de plus du double de la moyenne départementale) ;
- Seule la formation des roches volcaniques et métavolcaniques acides (rencontrées uniquement à Belle-Ile, dans le compartiment C13) reçoit une note élevée de 4, plus d'un quart de son linéaire ayant été classé comme altéré ;
- La formation des roches quartzitiques (ou localement mylonitiques) a quant à elle reçu une note moyenne de 3, la proportion de son linéaire classée comme altérée étant supérieure à 20 %, mais sur une longueur particulièrement limitée ;
- Les formations des roches granitiques, métamorphiques, métamorphiques basiques et plutoniques à volcaniques basiques reçoivent quant à elles une note modérée de 2, leur linéaire ayant été reconnu comme altéré sur des proportions conformes à la moyenne du département ;
- Enfin, les filons rocheux et les roches sédimentaires n'ont pas été reconnus comme altérés, et les roches volcano-sédimentaires n'ont été classées comme altérées que sur une proportion limitée par rapport à la moyenne du département ; par conséquent, ces 3 formations se sont vues attribuer une note faible de 1 ;
- Concernant les terrasses anciennes de types 1 et 2, la notion d'altération ne se justifie puisqu'il s'agit par nature de formations meubles, classées comme côtes à falaise en raison de leur morphologie et non de leur nature rocheuse. Le critère d'altération n'est donc pas utilisé pour ces 2 formations.

Géomorphologie	Total (km)	Altération		
		Dont altéré	soit (%)	Note altération
Roches granitiques	150.46	25.88	17.20	2
Roches métamorphiques	96.90	16.59	17.12	2
Roches volcano-sédimentaires	95.80	13.09	13.67	1
Roches métamorphiques basiques	21.35	3.89	18.22	2
Roches volcaniques et métavolcaniques acides	20.44	5.59	27.35	4
Roches plutoniques à volcaniques basiques	0.89	0.16	17.66	2
Filons rocheux	0.55	0.00	0.00	1
Roches quartzitiques (ou localement mylonitiques)	0.17	0.04	22.03	3
Roches sédimentaires (schisto-gréseuses)	0.13	0.00	0.00	1
Terrasses anciennes Type 1	22.05	-	-	-
Terrasses anciennes Type 2	0.89	-	-	-

Total Côtes à falaises	409.63	65.23	15.93
-------------------------------	--------	-------	-------

Illustration 72 - Tableau d'attribution des notes d'altération pour les formations géologiques littorales des côtes à falaise

Proportion de linéaire en érosion

Avec une répartition relativement hétérogène, le pourcentage de linéaire en érosion par formation géologique permet l'attribution d'une note s'étalant de 1 à 5, de faible à très élevée (Illustration 73) :

- 2 formations, les terrasses anciennes de type 2 et les roches plutoniques à volcaniques basiques, ont été classées en érosion sur l'intégralité de leur linéaire (qui reste toutefois très restreint, de l'ordre de 900 m chacune), ce qui les conduit à recevoir une note maximale de 5 ;
- 2 autres formations se distinguent par des proportions importantes classées en érosion : il s'agit des roches volcaniques et métavolcaniques acides et des roches volcano-sédimentaires (qui toutes 2 concernent exclusivement Belle-Ile), avec respectivement 79,3 et 73,5 % de leurs linéaires en érosion, reçoivent une note élevée de 4 ;
- Les roches sédimentaires (schisto-gréseuses) et les terrasses anciennes de type 1, qui présentent encore des taux d'érosion de 30 à 60 %, reçoivent quant à elles une note moyenne de 3 ;
- Les roches métamorphiques basiques, reconnues en érosion sur près d'un quart de leur linéaire, reçoivent quant à elles une note modérée de 2 ;
- Enfin, les roches granitiques et les roches métamorphiques, qui ont été classées en érosion sur moins de 20 % de leur linéaire, reçoivent une note faible de 1, de même que les filons rocheux et les roches quartzitiques (ou localement mylonitiques) qui n'ont pas du tout été classés en érosion (mais sur des linéaires cependant très limités).

Géomorphologie	Total (km)	Erosion		
		Dont en érosion	soit (%)	Note érosion
Roches granitiques	150.46	27.11	18.02	1
Roches métamorphiques	96.90	16.76	17.30	1
Roches volcano-sédimentaires	95.80	70.45	73.53	4
Roches métamorphiques basiques	21.35	5.31	24.89	2
Roches volcaniques et métavolcaniques acides	20.44	16.21	79.29	4
Roches plutoniques à volcaniques basiques	0.89	0.89	100.00	5
Filons rocheux	0.55	0.00	0.00	1
Roches quartzitiques (ou localement mylonitiques)	0.17	0.00	0.00	1
Roches sédimentaires (schisto-gréseuses)	0.13	0.08	58.71	3
Terrasses anciennes Type 1	22.05	7.53	34.13	3
Terrasses anciennes Type 2	0.89	0.89	100.00	5

Total Côtes à falaises	409.63	145.23	35.45
-------------------------------	--------	--------	-------

Illustration 73 - Tableau d'attribution des notes d'érosion pour les formations géologiques littorales des côtes à falaise

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 de côtes à falaise, deux formations géologiques se détachent très nettement des autres : il s'agit des terrasses anciennes de type 2, qui correspondent à la falaise de la mine d'or à Pénestin, siège de nombreux mouvements de terrain, et des roches plutoniques à volcaniques basiques.

Par ailleurs, 3 formations ne se voient pas attribuer de notes en raison de leur linéaire trop restreint (aucun mouvement de terrain n'y est recensé, mais la prise en compte d'un seul mouvement de terrain sur une de ces formations suffirait à leur faire attribuer une note élevée...). Cette spécificité se présente également pour les 2 formations qui se distinguent par de fortes densités de mouvements de terrain (terrasses anciennes de type 2 et roches plutoniques à volcaniques basiques), mais le grand nombre de mouvements de terrain affectant ces dernières formations entérine et confirme l'attribution d'une densité élevée.

Avec une répartition relativement homogène sur les autres formations, les densités de mouvements de terrain par formation géologique permettent l'attribution d'une note s'étalant de 1 à 5, de faible à très élevée (Illustration 74) :

- Les 2 formations qui se distinguent par des densités élevées, les terrasses anciennes de type 2 et les roches plutoniques à volcaniques basiques, reçoivent une note maximale de 5 ;
- 2 formations qui présentent des densités de mouvements de terrain sensiblement supérieures à la moyenne du département (les roches métamorphiques basiques et les terrasses anciennes de type 1) reçoivent une note moyenne de 3 ;
- Les roches granitiques, qui présentent une densité de mouvements de terrain de l'ordre de la moyenne du département reçoivent une note modérée de 2 ;
- Les roches métamorphiques, les roches volcano-sédimentaires et les roches volcaniques et méta-volcaniques acides présentent quant à elles des densités sensiblement inférieures à la moyenne du département, et reçoivent par conséquent une note faible de 1 ;

- Les 3 dernières formations (filons rocheux, roches quartzitiques et roches sédimentaires) ne se voient pas attribuer de note du fait de linéaires trop restreints, pour les raisons évoquées ci-dessus.

Densité de cavités

En ce qui concerne l'attribution d'une note correspondant à la densité de mouvements de terrain par kilomètre linéaire, 5 formations ne se voient pas attribuer de notes en raison de leur linéaire trop restreint (aucune cavité n'y est recensée, mais la prise en compte d'une seule cavité sur une de ces formations suffirait à leur faire attribuer une note élevée...).

Avec une répartition relativement homogène sur les autres formations, 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 très élevée (Illustration 74) :

- Aucune formation ne se distingue particulièrement par une densité de cavités très élevée, et ne reçoit par conséquent la note maximale de 5 ;
- Les roches volcano-sédimentaires, les roches volcaniques et méta-volcaniques acides et les roches métamorphiques basiques présentent des densités de cavités sensiblement supérieures à la moyenne du département, et reçoivent par conséquent une note élevée de 4 ;
- Les roches granitiques, qui présentent une densité de cavité intermédiaire (0,29 cavité au kilomètre) reçoivent une note moyenne de 3 ;
- Les roches métamorphiques et les terrasses anciennes de type 1, qui présentent des densités légèrement inférieures, reçoivent quant à elles une note modérée de 2 ;
- Aucune formation ne reçoit la note faible de 1, notamment car les roches plutoniques à volcaniques basiques, les filons rocheux, roches quartzitiques, les roches sédimentaires et les terrasses anciennes de type 2, qui présentent des densités de cavités nulles, en peuvent être jugées représentatives du fait de leurs linéaires trop restreints, pour les raisons évoquées ci-dessus.

Géomorphologie	Total (km)	Mouvements de terrain			Cavités		
		Nombre	Nb/km	Note Mvt	Nombre	Nb/km	Note Cav
Roches granitiques	150.46	162	1.08	2	44	0.29	3
Roches métamorphiques	96.90	84	0.87	1	23	0.24	2
Roches volcano-sédimentaires	95.80	83	0.87	1	64	0.67	4
Roches métamorphiques basiques	21.35	31	1.45	3	12	0.56	4
Roches volcaniques et métavolcaniques acides	20.44	14	0.68	1	12	0.59	4
Roches plutoniques à volcaniques basiques	0.89	3	3.36	5	0	0.00	NS
Filons rocheux	0.55	0	0.00	NS	0	0.00	NS
Roches quartzitiques (ou localement mylonitiques)	0.17	0	0.00	NS	0	0.00	NS
Roches sédimentaires (schisto-gréseuses)	0.13	0	0.00	NS	0	0.00	NS
Terrasses anciennes Type 1	22.05	28	1.27	3	4	0.18	2
Terrasses anciennes Type 2	0.89	10	11.21	5	0	0.00	NS

Total Côtes à falaises	409.63	415	1.01	159	0.39
------------------------	--------	-----	------	-----	------

Illustration 74 - Tableau d'attribution des notes en fonction de la densité de mouvements de terrain et de cavités (par kilomètre linéaire pour chaque formation géologique littorale des côtes à falaises)

Prédisposition à l'érosion des falaises littorales

La note finale de prédisposition à l'érosion des formations géologiques littorales du département du Morbihan (comme dans les autres départements de Bretagne) résulte des différents critères énoncés précédemment, par la moyenne arithmétique de l'ensemble de ces notes explicitées ci-dessous (Illustration 75). L'attribution d'une pondération différente des différents critères aurait été arbitraire et aurait pu gommer certains aspects (par exemple des côtes érodables car altérées, qui sont aujourd'hui abritées de l'érosion mais qui pourraient passer en érosion avec un changement de conditions). La hiérarchisation ainsi obtenue s'étale sur 5 niveaux :

- Ainsi, les terrasses anciennes de type 2 (qui correspondent à la falaise de la Mine d'Or à Pénestin) constitue la formation la plus sensible, avec une **prédisposition élevée à l'érosion**, mais sur un linéaire qui reste très limité (**inférieur à 1 km**).
- Viennent ensuite les roches plutoniques à volcaniques basiques, qui obtiennent une **prédisposition moyenne à l'érosion**, toujours sur un linéaire très restreint (**inférieur à 1 km**).
- 3 formations se voient attribuer une **prédisposition à l'érosion faible à moyenne** (les roches métamorphiques basiques, les roches volcaniques et méta-volcaniques acides et les terrasses anciennes de type 1), ce qui représente cette fois un linéaire significatif (**près de 64 km**).
- 4 formations ont été classées en **prédisposition faible à l'érosion** ; il s'agit des roches granitiques, des roches volcano-sédimentaires, des roches quartzitiques (ou localement mylonitiques) et des roches sédimentaires (schisto-gréseuses) ; cet ensemble représente **près de 250 km** des côtes du département.
- Enfin, 2 formations se voient attribuer une **prédisposition très faible à l'érosion** : les roches métamorphiques et les filons rocheux, cumulant **près de 100 km** des côtes du département.

Géomorphologie	Total	Notes par critères				Prédisposition		
		Note altération	Note érosion	Note Mouvements de terrain	Note Cavités	Note moyenne	Note finale	Prédisposition
Roches granitiques	150.46	2	1	2	3	2.00	2	Faible
Roches métamorphiques	96.90	2	1	1	2	1.50	1	Très faible
Roches volcano-sédimentaires	95.80	1	4	1	4	2.50	2	Faible
Roches métamorphiques basiques	21.35	2	2	3	4	2.75	3	Faible à moyenne
Roches volcaniques et métavolcaniques acides	20.44	4	4	1	4	3.25	3	Faible à moyenne
Roches plutoniques à volcaniques basiques	0.89	2	5	5	NS	4.00	4	Moyenne
Filons rocheux	0.55	1	1	NS	NS	1.00	1	Très faible
Roches quartzitiques (ou localement mylonitiques)	0.17	3	1	NS	NS	2.00	2	Faible
Roches sédimentaires (schisto-gréseuses)	0.13	1	3	NS	NS	2.00	2	Faible
Terrasses anciennes Type 1	22.05	-	3	3	2	2.67	3	Faible à moyenne
Terrasses anciennes Type 2	0.89	-	5	5	NS	5.00	5	Élevée

Illustration 75 - Note finale de prédisposition à l'érosion des formations géologiques littorales des côtes à falaise du département du Morbihan

Un aperçu de la carte de prédisposition à l'érosion des côtes à falaise est présenté à l'illustration 77 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** On pourra se référer aux résultats par compartiments (paragraphe 6.1.3 pour le compartiment C10, 7.1.3 pour le compartiment C11, 8.1.3 pour le compartiment C12 et 9.1.3 pour le compartiment C13) pour plus de détails

5.7.2. Cinématique des côtes d'accumulation

La carte de l'illustration 78 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente une vue d'ensemble de la dynamique du trait de côte d'accumulation calculée par cette analyse diachronique. On pourra se référer aux résultats par compartiment (paragraphe 6.1.3 pour le compartiment C10, 7.1.3 pour le compartiment C11, 8.1.3 pour le compartiment C12 et 9.1.3 pour le compartiment C13) pour plus de détails.

A l'échelle du Morbihan, ces résultats montrent que 18 % des côtes d'accumulation sont stables, tandis que 21 % ont une tendance à l'accrétion et 13 % à l'érosion (Illustration 76) ; les résultats restent malheureusement insuffisamment précis sur 21 % des côtes étudiées, tandis que 27 % ont été artificialisées.

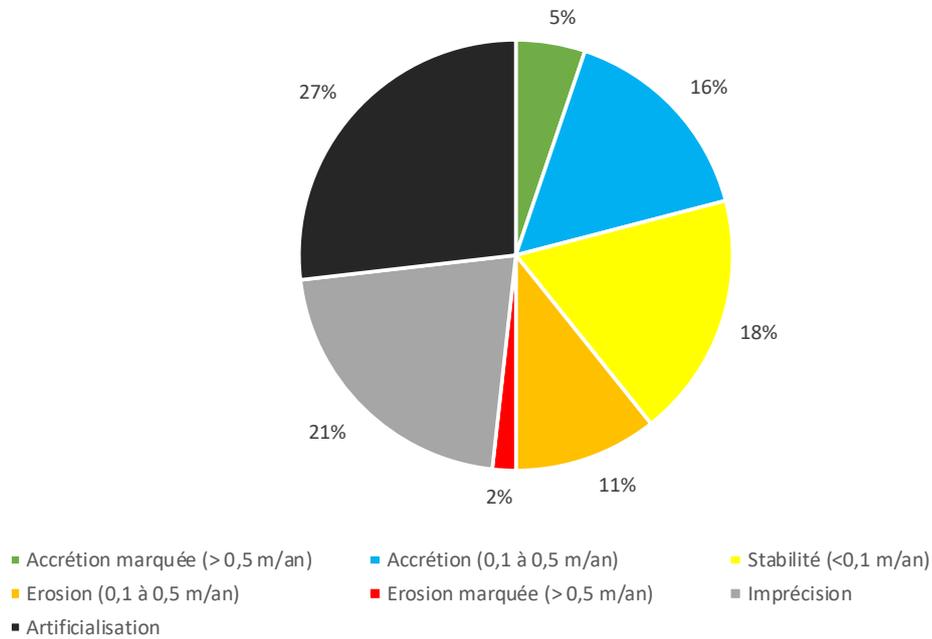


Illustration 76 – Répartition des côtes d'accumulation du département du Morbihan selon leur dynamique

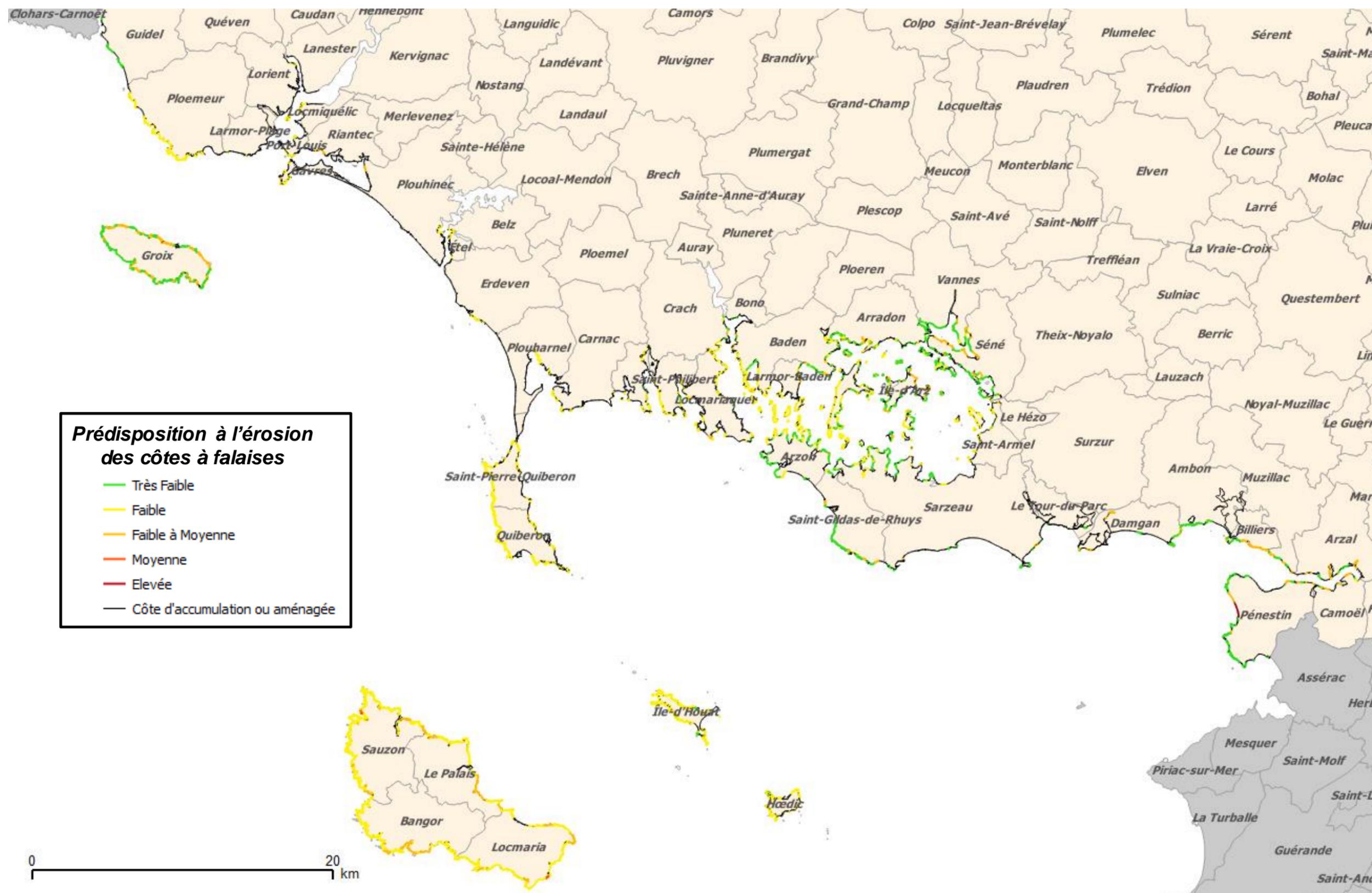


Illustration 77 – Prédisposition à l'érosion des côtes à falaise du Morbihan



Illustration 78 – Vue d'ensemble de la dynamique des côtes d'accumulation du Morbihan

5.8. EVENEMENTS TEMPETUEUX DOMMAGEABLES

La base de données constituée lors de la réalisation de l'atlas sur les trois autres départements bretons a donc été étendue au département du Morbihan (notamment à partir des données historiques recensées par Le Cornec et al., 2012), corrigée et complétée sur certains événements anciens, et mise à jour pour l'ensemble des départements de la région Bretagne.

Cette base de données bancarise au final **6 012 points** d'impacts de tempête :

- ⇒ **1 182 points** ont été bancaisés sur le Morbihan à partir de l'inventaire de Le Cornec et al. (2012)
- ⇒ **536 points** correspondant à des tempêtes survenues depuis 2012 ont été bancaisés sur les départements des Côtes d'Armor, du Finistère et de l'Ille-et-Vilaine ;
- ⇒ **195 points** correspondant à des tempêtes survenues depuis 2010 ont été bancaisés sur le département du Morbihan ;
- ⇒ De nombreux ajouts et compléments autres ont été réalisés sur les quatre départements.

Comme évoqué au paragraphe 4.3, les points bancaisés sont classifiés suivant la nature de l'événement recensé (champ « *Aléa interprété* »). On peut donc distinguer deux catégories d'impacts :

- Les **impacts « directs »** (en termes de risques côtiers) ; il s'agit des points correspondant à de l'érosion (ou à des dommages aux ouvrages), à des submersions associées à des phénomènes d'érosion, à des submersions ou à la concomitance submersion-crue.
- Les **impacts « indirects »**, qui correspondent plus à des observations de tempêtes ou à des dommages autres ou potentiellement en lien. Il s'agit des points correspondant à des crues, à de l'érosion éolienne, à des phénomènes d'ensablement-envasement, à des phénomènes d'origine anthropique, à des aménagements particuliers, à des observations de tempêtes (ou dommages liés au vent) et à des naufrages.

Plus de 75 % des points bancaisés correspondent à des impacts directs, ce qui peut s'expliquer notamment par le fait que ces dommages ont été plus systématiquement recherchés et saisis que les impacts indirects, qui sont potentiellement très nombreux mais moins intéressants pour la problématique des risques côtiers (mais qui peuvent servir d'indicateur de survenue de tempête, associée ou non à des dommages directs). La répartition de la nature des points localisés et bancaisés est représentée à l'illustration 79. La répartition géographique des points d'impacts « directs » est représentée à l'illustration 80, tandis que la localisation des impacts « indirects » est représentée à l'illustration 81.

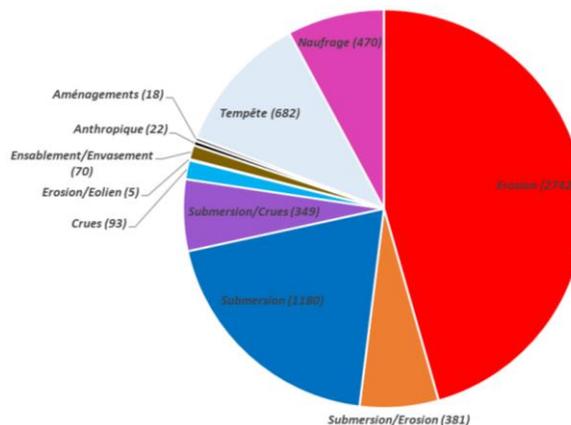


Illustration 79 – Répartition des 6 012 points d'impacts de tempête bancaisés selon leur nature

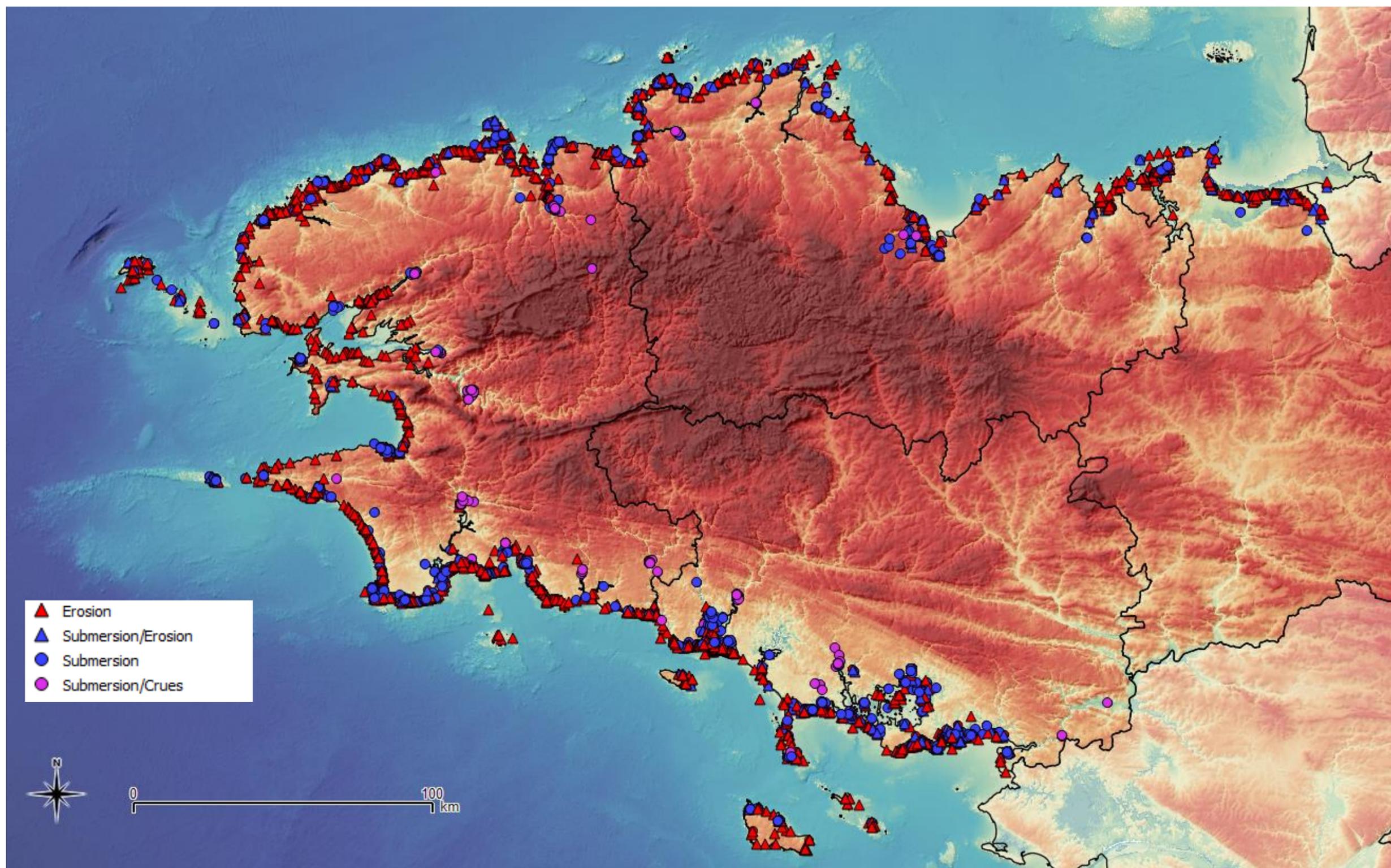


Illustration 80 – Répartition géographique des points d'impacts « directs » bancarisés

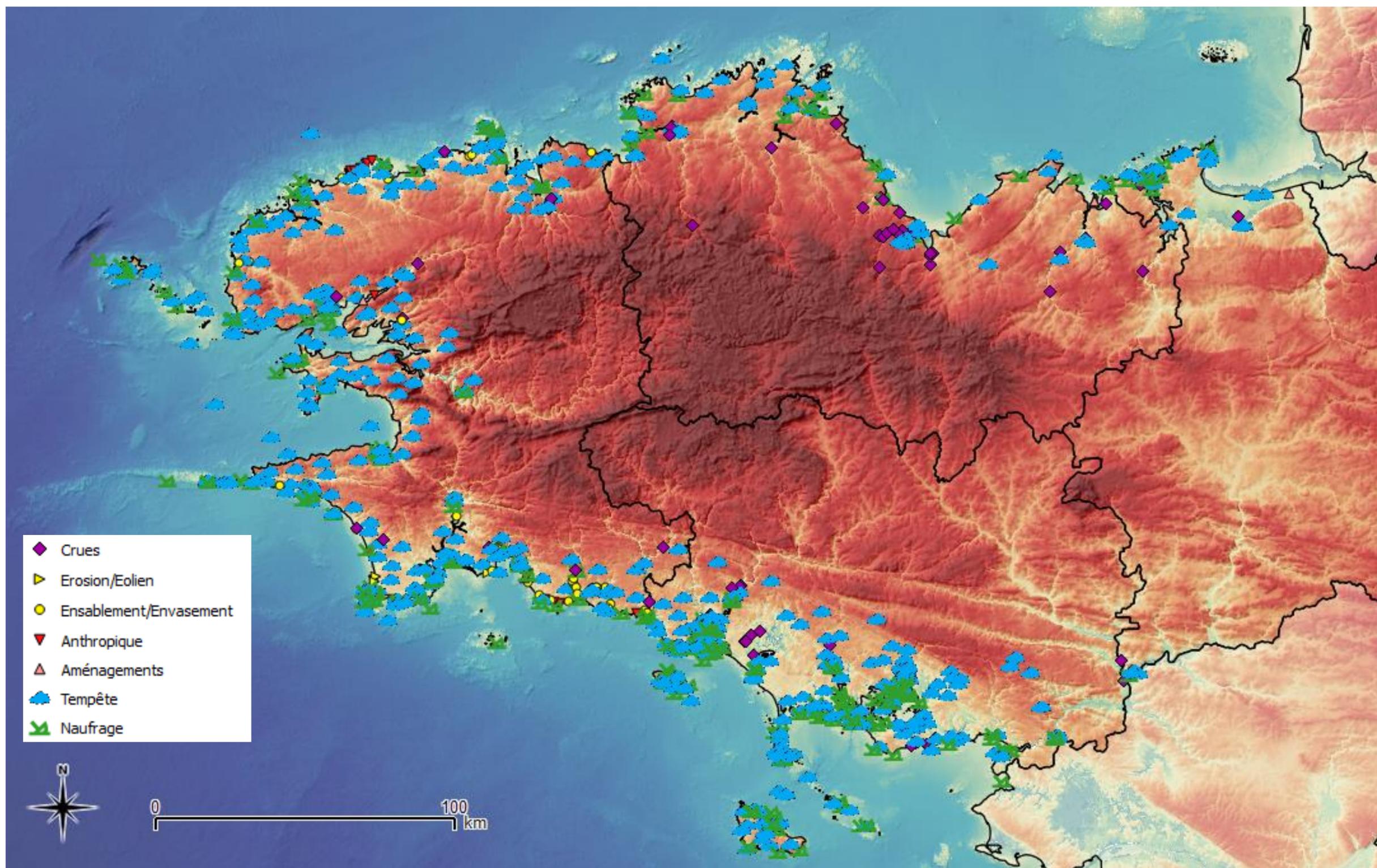


Illustration 81 – Répartition géographique des points d'impacts « indirects » bancarisés

Analyse temporelle des évènements de tempêtes :

Comme évoqué au paragraphe 4.3, un identifiant de tempête a été ajouté dans la base, de manière à pouvoir rattacher plusieurs points liés à un même événement à cet événement, et d'éviter notamment les double-comptes pour les cas où plusieurs points ont été bancarisés à une même date (ou pour des dates légèrement différentes en cas d'événement sur plusieurs jours), correspondant à des informations différentes mais pour un même phénomène (par exemple une liste de bâtiments inondés en cas de submersion sur une commune).

Au final,

- **546 évènements de tempête** ont ainsi pu être bien identifiés, pour des dates comprises entre 1081 et 2019, dont 439 ont généré des impacts « directs » (érosion et dommages aux ouvrages ou submersion). Ces événements regroupent **4 740 points** bancarisés.
- 250 autres identifiants correspondent à des événements mal datés (au mois ou à l'année), regroupant 1 272 points d'impact bancarisés.

La répartition temporelle des 546 événements de tempête bien datés, le nombre et la nature des impacts associés sont représentés à l'illustration 82 (du fait du très grand nombre de points recensés lors de la tempête du 10/03/2008, le graphique de droite représente un zoom plus lisible pour les autres tempêtes). Toutes les analyses proposées ci-après ne portent que sur ces 546 événements bien datés.

Toutefois, le nombre de points d'impact recensés n'est pas nécessairement représentatif de l'intensité du phénomène, mais peut être biaisé par la qualité de l'information recueillie (une information très fine avec de nombreuses photographies ou une liste d'adresses inondées par exemple peut donner lieu à la saisie de plusieurs points pour un même événement dans un même secteur). Une analyse complémentaire est donc présentée à l'illustration 83, et permet d'appréhender pour chaque type d'impacts « directs » le nombre de communes concernées par département.

Bien que cette approche reste soumise à un certain nombre de limites (pas de notion d'intensité de l'événement, uniquement sur la base des événements recensés et de leur interprétation, potentiels biais liés d'une part aux sources utilisées et à l'urbanisation des territoires et son évolution, évolution des préoccupations de la société au cours des siècles...), quelques éléments transparaissent de ces graphiques :

- En ce qui concerne les événements d'érosion et de dommages aux ouvrages, les événements anciens font le plus souvent apparaître le département 35 (ce qui peut s'expliquer par l'important effort de recherche historique réalisé pour la réalisation des plans de prévention des risques littoraux de Saint-Malo et du marais de Dol), alors que ces événements n'apparaissent plus que sporadiquement depuis 1900 ; les communes du département 56 apparaissent elles fréquemment concernées par les événements de la fin du XIX^{ème} siècle au début du XX^{ème} siècle, tandis que c'est ensuite le département 29 qui semble le plus concerné.
- Le même type de tendances se dessine vis-à-vis des phénomènes de submersion, avec des événements anciens affectant le département 35, puis une prédominance des départements 29 et 56.
- En ce qui concerne les concomitances submersion-crués, les événements recensés restent beaucoup plus rares ; l'analyse de la base montre que ces événements n'affectent que certaines villes situées plus ou moins en amont des estuaires, et que ces villes sont généralement affectées de manière répétées au cours des temps ; la liste de ces villes

est limitée et connue, puisque ces inondations font encore souvent les gros titres de la presse (Finistère : Landerneau, Morlaix, Quimper, Quimperlé... ; Morbihan : Auray, Hennebont, et Vannes ; Côtes d'Armor : Lannion, et dans une moindre mesure Tréguier). Aucun événement de ce type n'a été recensé dans le département 35. La distinction entre une pure crue et une concomitance avec la marée peut cependant parfois être délicate et générer des erreurs d'interprétation.

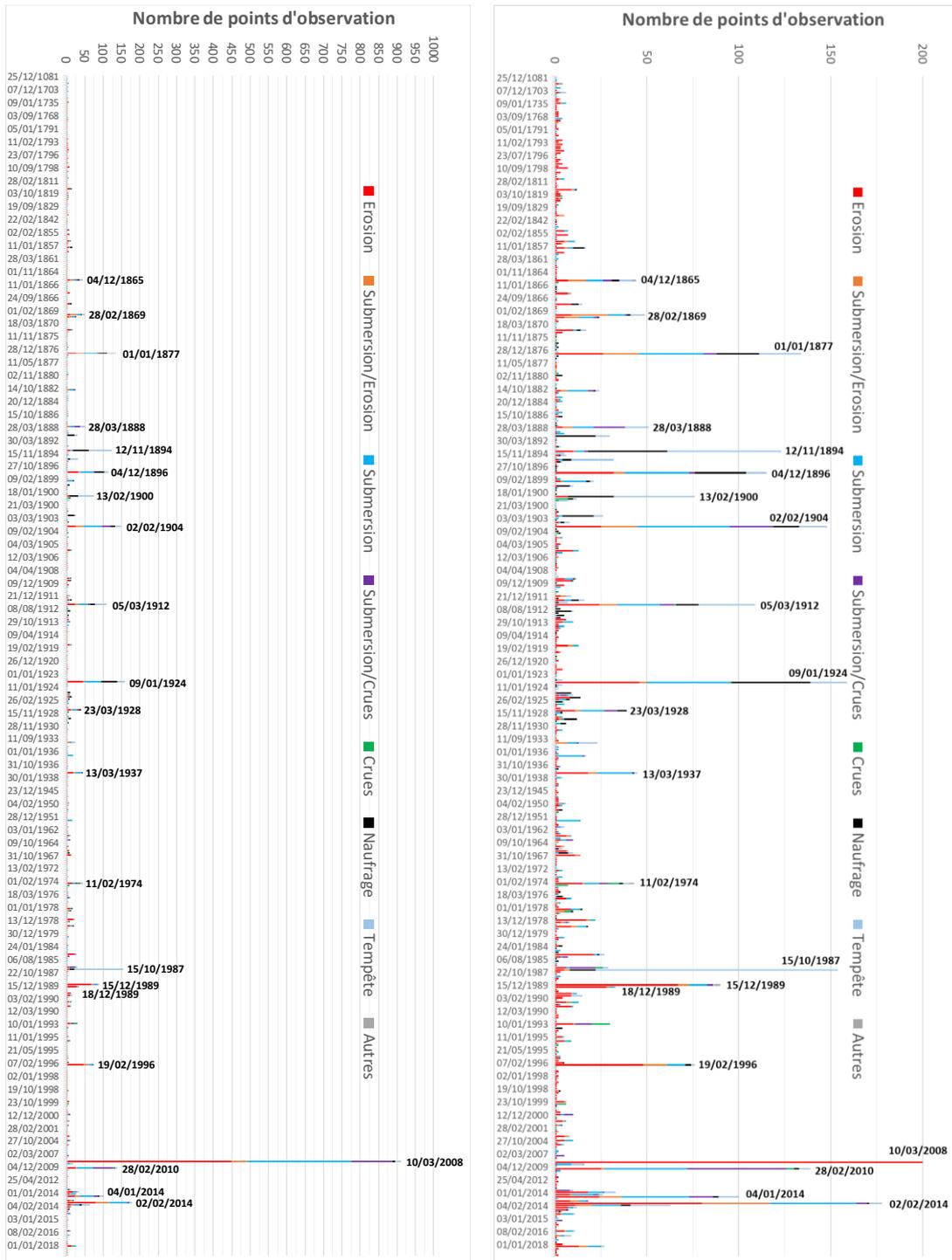


Illustration 82 – Répartition temporelle des tempêtes identifiées et des dommages associés (vue globale à gauche et zoom sans tenir compte de la tempête du 10/03/2008 à droite)

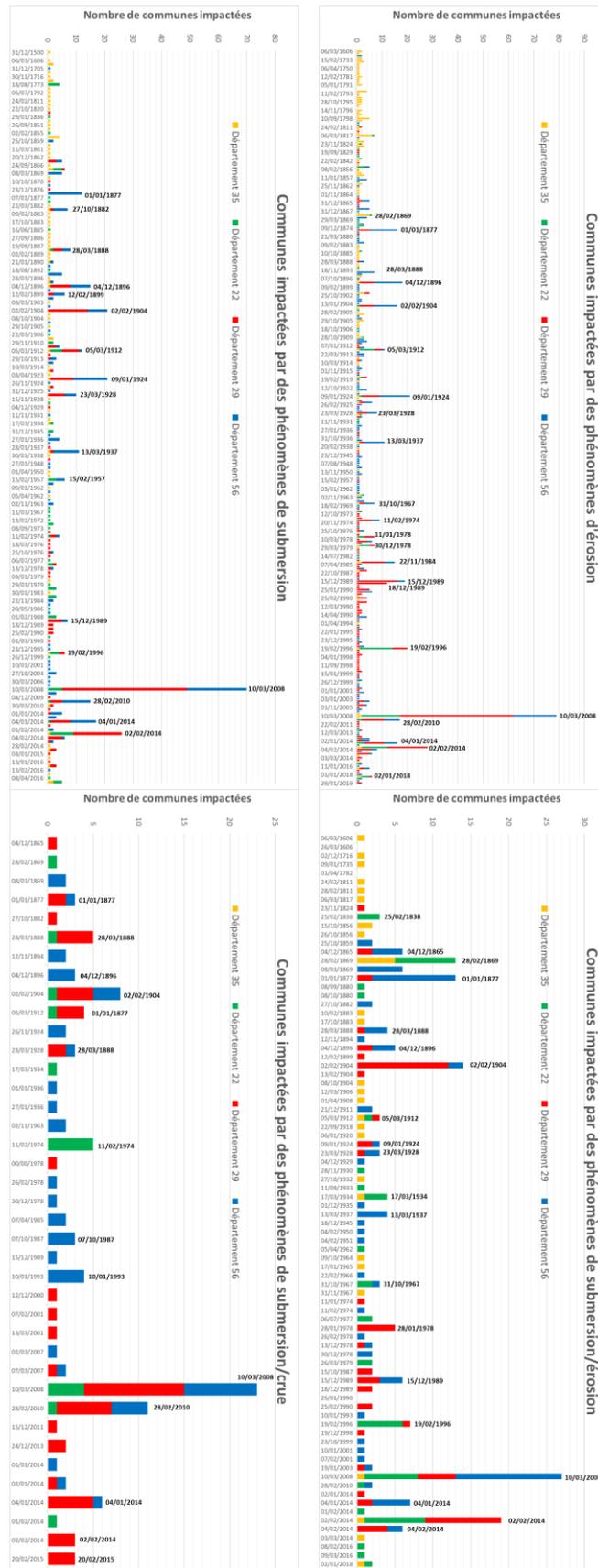


Illustration 83 - Répartition temporelle des tempêtes identifiées et des communes concernées selon le type d'impacts

L'analyse du mois d'occurrence des impacts directs des tempêtes (Illustration 84) montre sans surprise que les dommages surviennent essentiellement en hiver : la majorité des impacts sont recensés entre les mois de Janvier et Mars, et dans une moindre mesure entre les mois d'octobre et décembre. On peut par ailleurs noter que les phénomènes de submersion (de même d'ailleurs que ceux de concomitance submersion-crue) semblent se produire majoritairement au mois de mars, ce qui pourrait s'expliquer par la présence des marées d'équinoxe, qui, si elles surviennent conjointement avec une tempête, encore fréquentes à cette période, peuvent contribuer à atteindre des niveaux marins très importants. Les marées d'équinoxe de septembre ne se distinguent par contre pas particulièrement, les tempêtes restant rares à cette période. Ce résultat est toutefois peut-être biaisé par les très nombreux dommages rapportés suite à la tempête du 10 mars 2008 (tempête Johanna) : en effet, si l'on exclut cette tempête de l'analyse, la barre de l'histogramme correspondant au mois de mars est réduite de l'ordre d'un tiers pour les phénomènes d'érosion et de l'ordre de la moitié pour les autres, faisant alors apparaître assez nettement le mois de février comme donnant lieu aux événements ayant le plus d'impacts.

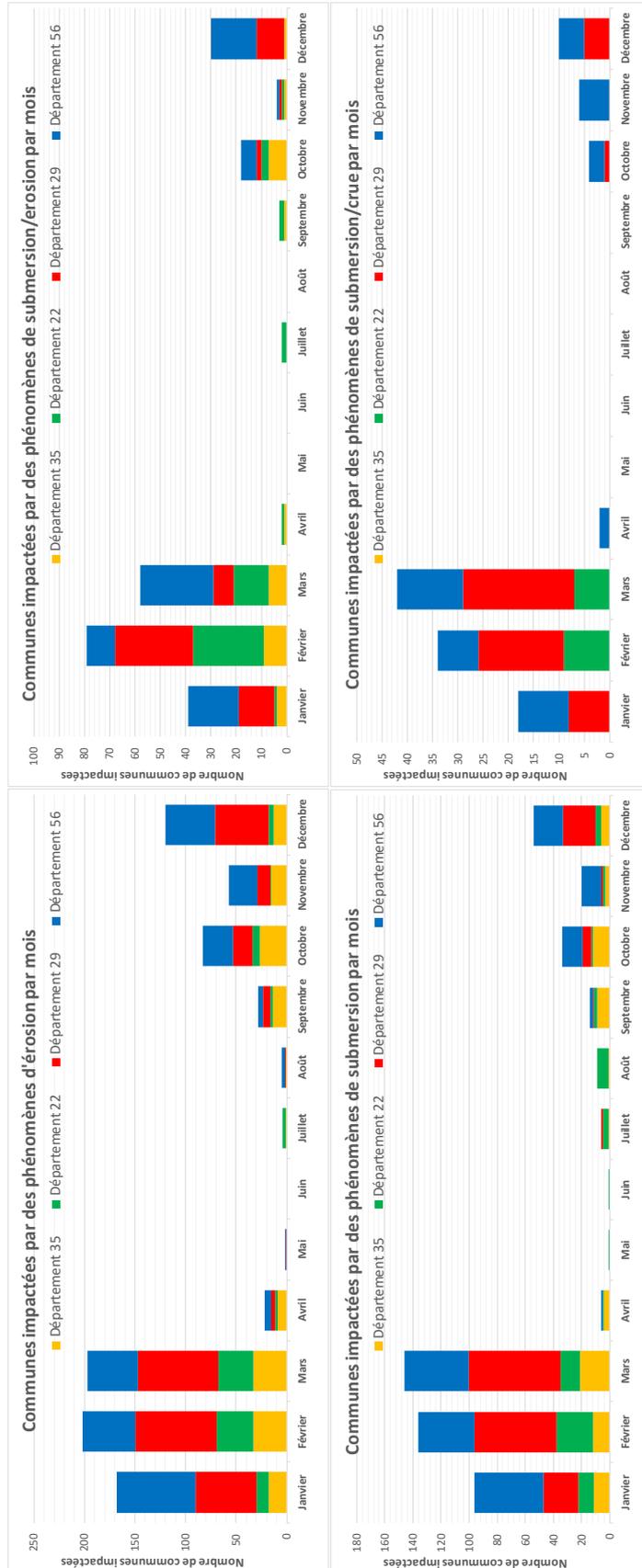


Illustration 84 – Cumuls mensuels des impacts de communes par événement, par commune et par type d'impact

Analyse spatiale des évènements de tempêtes :

La répartition des points localisés et bancarisés (dont un aperçu global est disponibles aux illustrations 80 et 81) montre que des impacts de tempêtes ont été recensés sur tout le pourtour de la région Bretagne, affectant une très large majorité des communes littorales.

L'exploitation de la base de données sous SIG peut permettre de visualiser l'ensemble des impacts associés à un événement de tempête, ou encore d'identifier les secteurs qui sont affectés de façons récurrente par des dommages.

Ainsi, à l'échelle de l'événement, l'analyse de certains événements peut permettre de visualiser que certaines tempêtes affectent quasi-exclusivement les côtes de Bretagne Sud (01/01/1877, 04/12/1896, 02/02/1904, 09/01/1924 présentée à l'illustration 86, 15/12/1989), alors que d'autres affectent majoritairement les côtes Nord (28/02/1869, 05/03/1912 présentée à l'illustration 85 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, 11/01/1978, 19/02/1996 présentée à l'illustration 87 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, 02/01/2018), ou que d'autres événements encore affectent la totalité des côtes bretonnes (10/03/2008 présentée à l'illustration 88), ou encore la succession de tempêtes de l'hiver 2013-2014, bien que dans le détail toutes les tempêtes n'ont pas impactées les mêmes zones).

Cette analyse pourrait être complétée par la suite par un croisement avec les enregistrements marégraphiques et les données météorologiques disponibles. Ainsi, par exemple, on peut remarquer que les impacts liés à la tempête du 19/02/1996 affectent des secteurs assez rarement touchés (notamment toute la façade Ouest de la baie de Saint-Brieuc, le secteur de Corbusson, ce qui s'explique probablement par la trajectoire originale de la tempête (du Nord vers le Sud depuis la Mer-du-Nord).

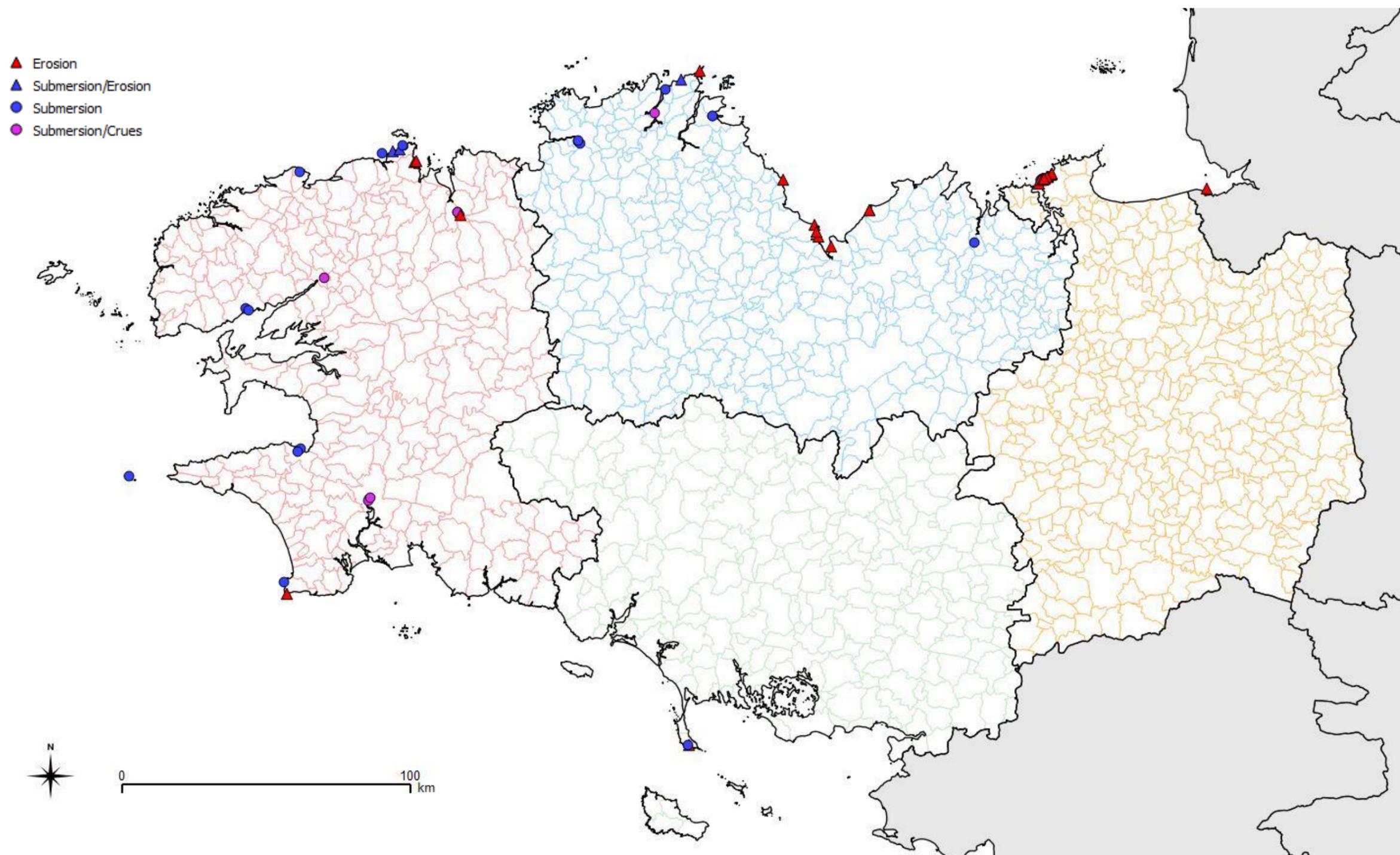


Illustration 85 – Répartition des impacts directs causés par la tempête du 05/03/1912

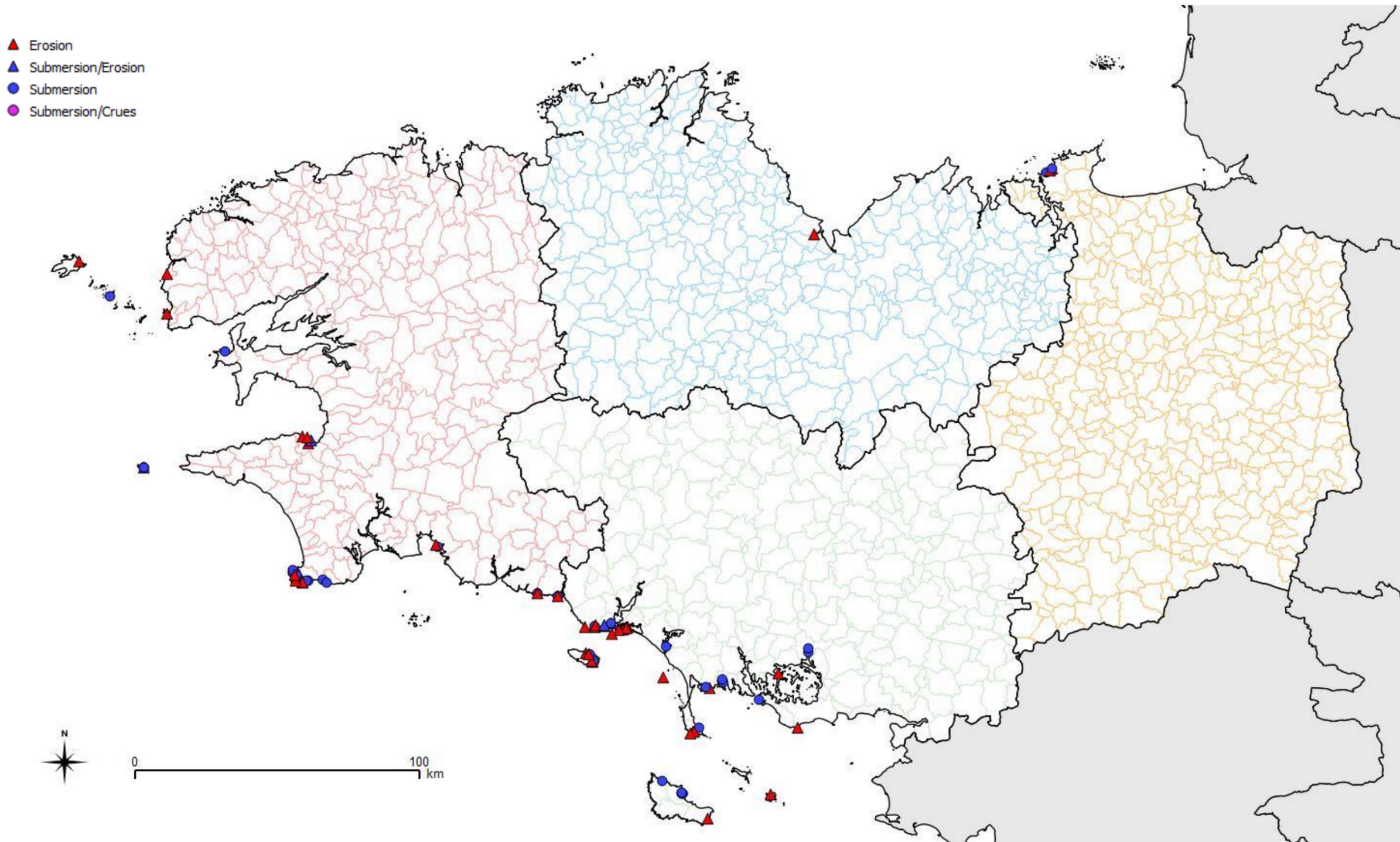


Illustration 86 – Répartition des impacts directs causés par la tempête du 09/01/1924

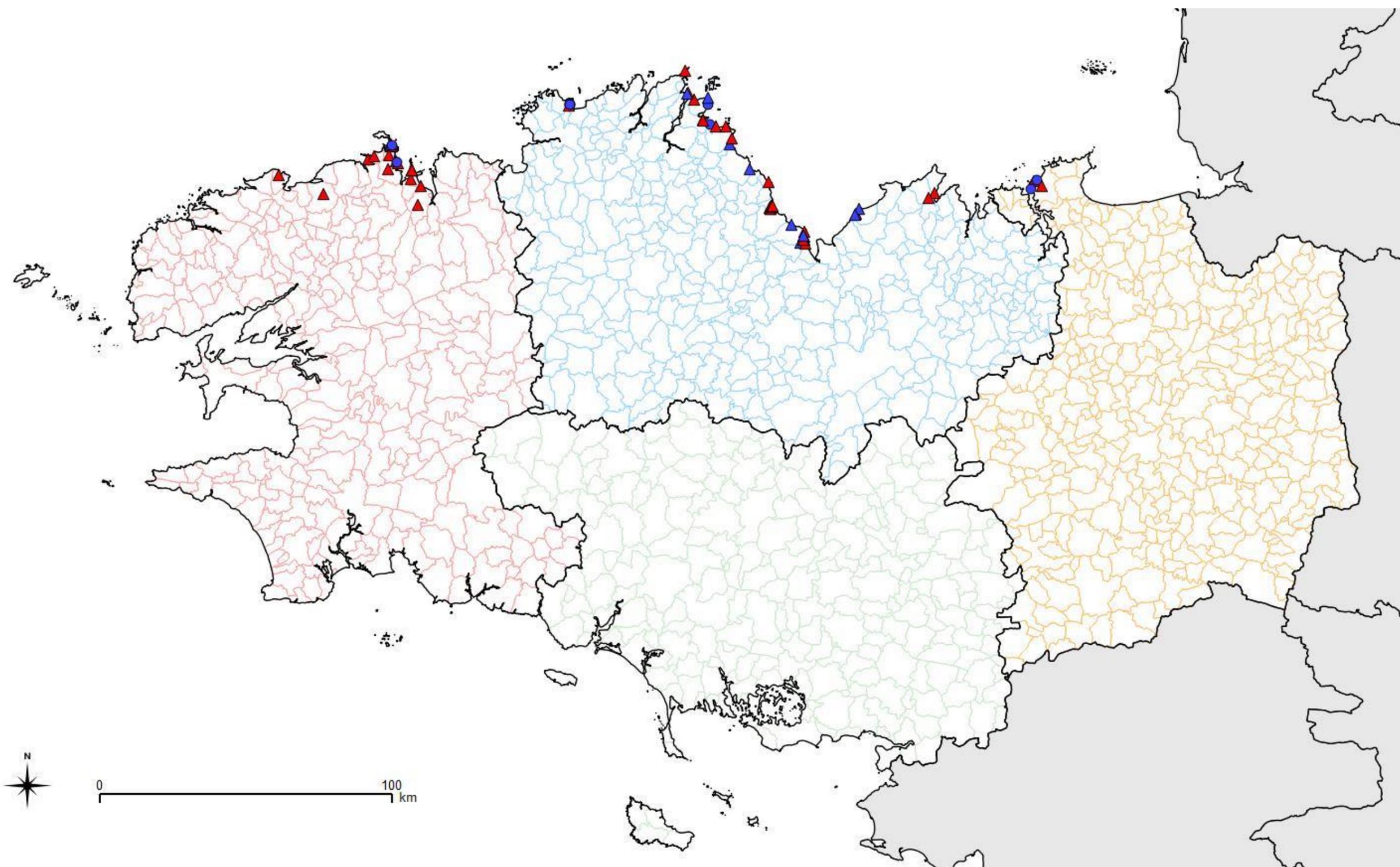


Illustration 87 - Répartition des impacts directs causés par la tempête du 19/02/1996 et trajectoire de la tempête (en médaillon en bas à droite, source VIMERS)

- ▲ Erosion
- ▲ Submersion/Erosion
- Submersion
- Submersion/Crués
- ▲ Submersion/Erosion
- Submersion
- Submersion/Crués

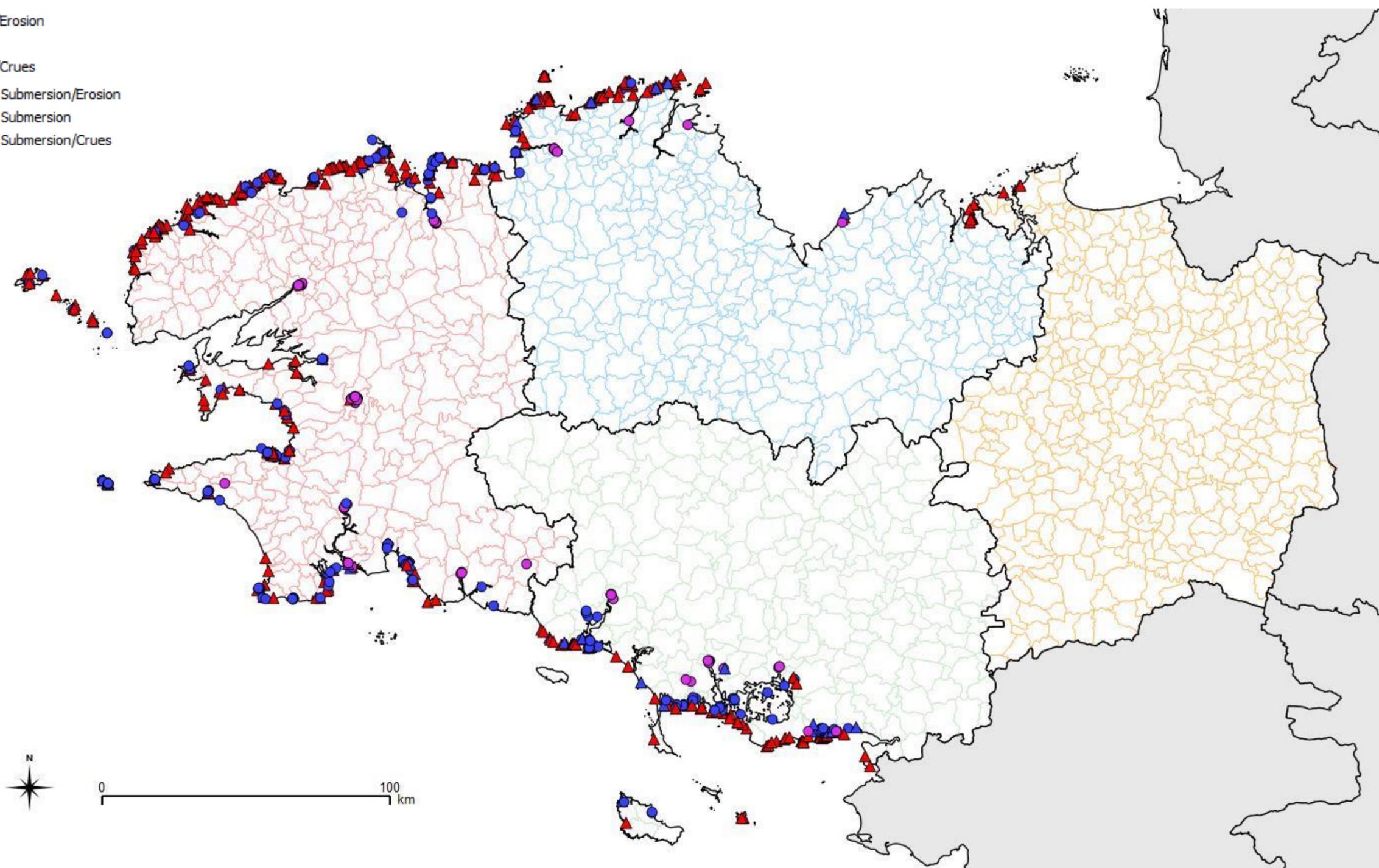


Illustration 88 – Répartition des impacts directs causés par la tempête du 10/03/2008

D'autre part, l'illustration 89 propose une sélection des communes de chaque département comptant le plus de tempêtes ayant occasionné des dommages (quelques double-comptes étant possible si un événement de tempête a occasionné des dommages de nature différente...). Les communes ainsi mises en avant correspondent globalement bien à la connaissance disponible sur le territoire :

- Plérin et Saint-Brieuc dans les Côtes d'Armor,
- Saint-Malo en Ille-et-Vilaine,
- Penmarc'h, l'île de Sein, Combrit, Fouesnant et Treffiagat dans le Finistère,
- Gâvres, Larmor-Plage et Sarzeau dans le Morbihan.

De possibles biais peuvent toutefois entacher cette analyse, et notamment la variabilité de la richesse des sources documentaires (par exemple, l'exposition de Gâvres est bien connue, ce qui a conduit à de nombreuses études sur le secteur, d'autant que les archives de l'armée ont permis de retracer de très nombreux événements historiques), le fait que certains phénomènes puissent rester de faible intensité (par exemple les franchissements de paquets de mer en grande marée sont très classiques à Saint-Malo, mais n'engendrent pas nécessairement d'inondations importantes) ou la présence de points sensibles particuliers (à Larmor-Plage, par exemple, 17 événements correspondent à des dommages divers sur la digue de la Nourriguel et 16 à des problèmes d'érosion et/ou submersion sur la dune de Kerguelen, ces 2 secteurs rassemblant près de la moitié des points d'impacts localisés sur la commune ; de même, à Locmaria, (Belle-Ile), sur les 12 tempêtes ayant généré des dommages, 11 ne semblent avoir affecté d'après la base que des ouvrages n'existant plus aujourd'hui à Port-Maria et au Port-Blanc d'Arzic).

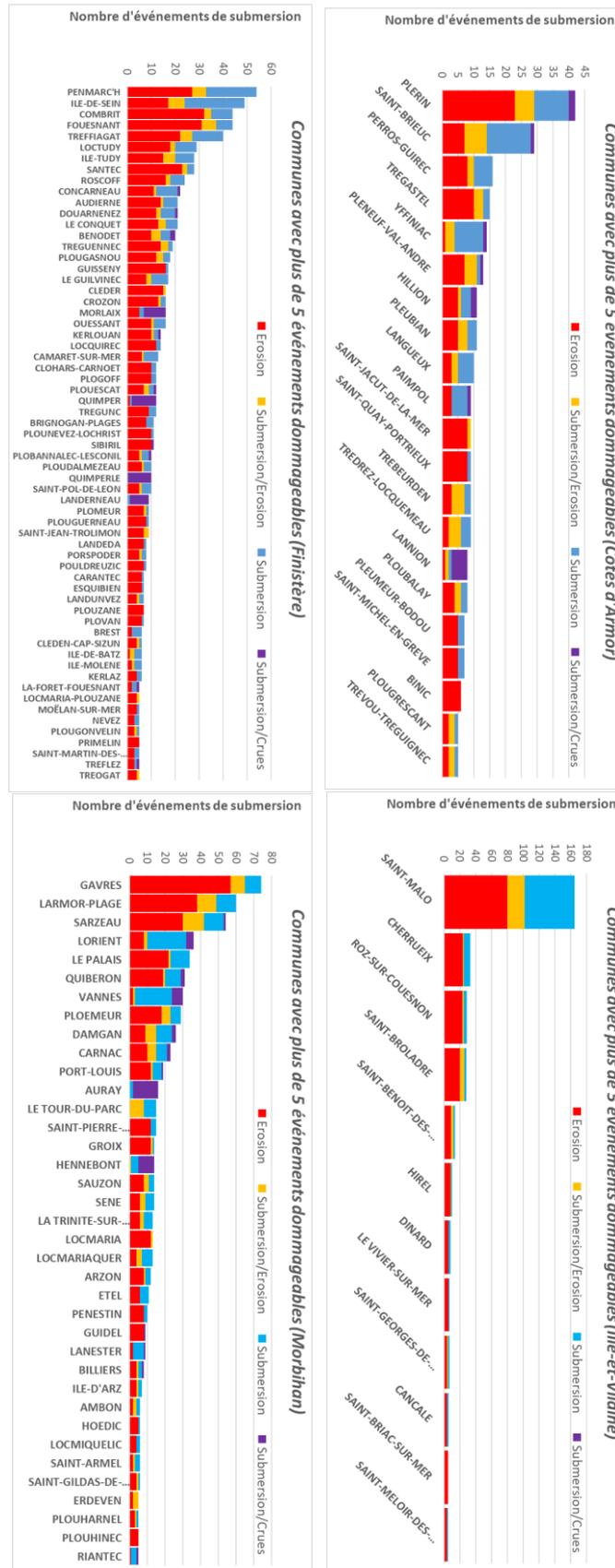


Illustration 89 – Communes recensant le plus d'événements de tempête ayant occasionné des impacts directs par département et nature de ces impacts

6. Résultats sur le compartiment C10 : de Guidel à la pointe de Quiberon (incluant l'île de Groix)

6.1. GEOMORPHOLOGIE DU TRAIT DE COTE

6.1.1. Géomorphologie du trait de côte

La géomorphologie détaillée du trait de côte, présentée à l'illustration 70, n'est pas reprise de façon détaillée pour le compartiment C10 (on se réfèrera au SIG pour plus d'informations). On peut toutefois noter que pour ce compartiment C10 (Illustration 90) :

- Les côtes à falaises sont largement dominées (plus de la moitié) par des roches granitiques (de Ploemeur à la rade de Lorient et sur la presqu'île de Quiberon), et dans une moindre mesure (plus d'un quart) par les roches métamorphiques (à Groix et Guidel notamment) ;
- Les côtes d'accumulation non artificialisées sont quant à elles largement dominées (plus de la moitié) par les cordons dunaires sableux (le grand site dunaire de Gâvres à Quiberon constituant le plus grand massif dunaire de Bretagne), et dans une moindre mesure (près d'un quart) par des marais maritimes ou estuaires (dans la petite mer de Gâvres notamment).

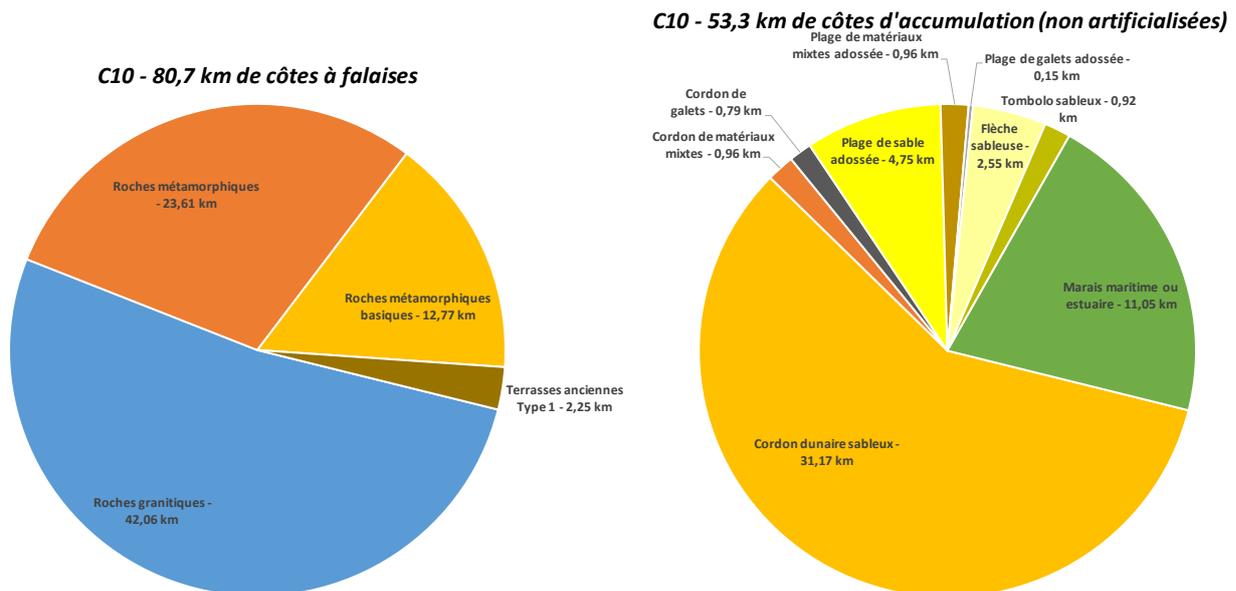


Illustration 90 – Répartition de la géomorphologie du trait de côte pour le compartiment C10 (côtes à falaises à gauche, côtes d'accumulation à droite, hors côtes artificialisées)

6.1.2. Géomorphologie simplifiée du trait de côte

La géomorphologie simplifiée du trait de côte du compartiment C10 est représentée à l'illustration 92 (partie Nord-Ouest uniquement ; pour la presqu'île de Quiberon, on se reportera à l'illustration 102).

Comme présenté à l'illustration 91, ces résultats montrent que les côtes du compartiment C10 sont sensiblement artificialisées (34 %). La répartition des côtes naturelles de ce compartiment

est ensuite plutôt dominée par des falaises, puisque 40 % du linéaire côtier correspondent à des côtes à falaises (dont 13 % ont été jugés en érosion) et seulement 26 % du linéaire côtier correspondent à des côtes d'accumulation (dont 6 % ont été jugées en érosion), dont près d'un cinquième sont en fait des marais maritimes.

Compartiment C10

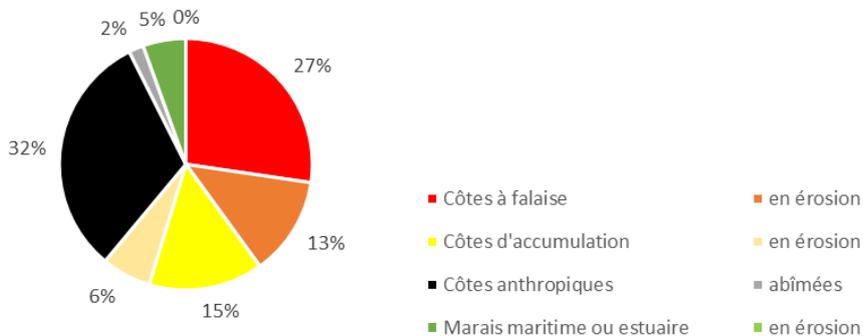


Illustration 91 – Répartition des côtes du compartiment C10 selon leur géomorphologie

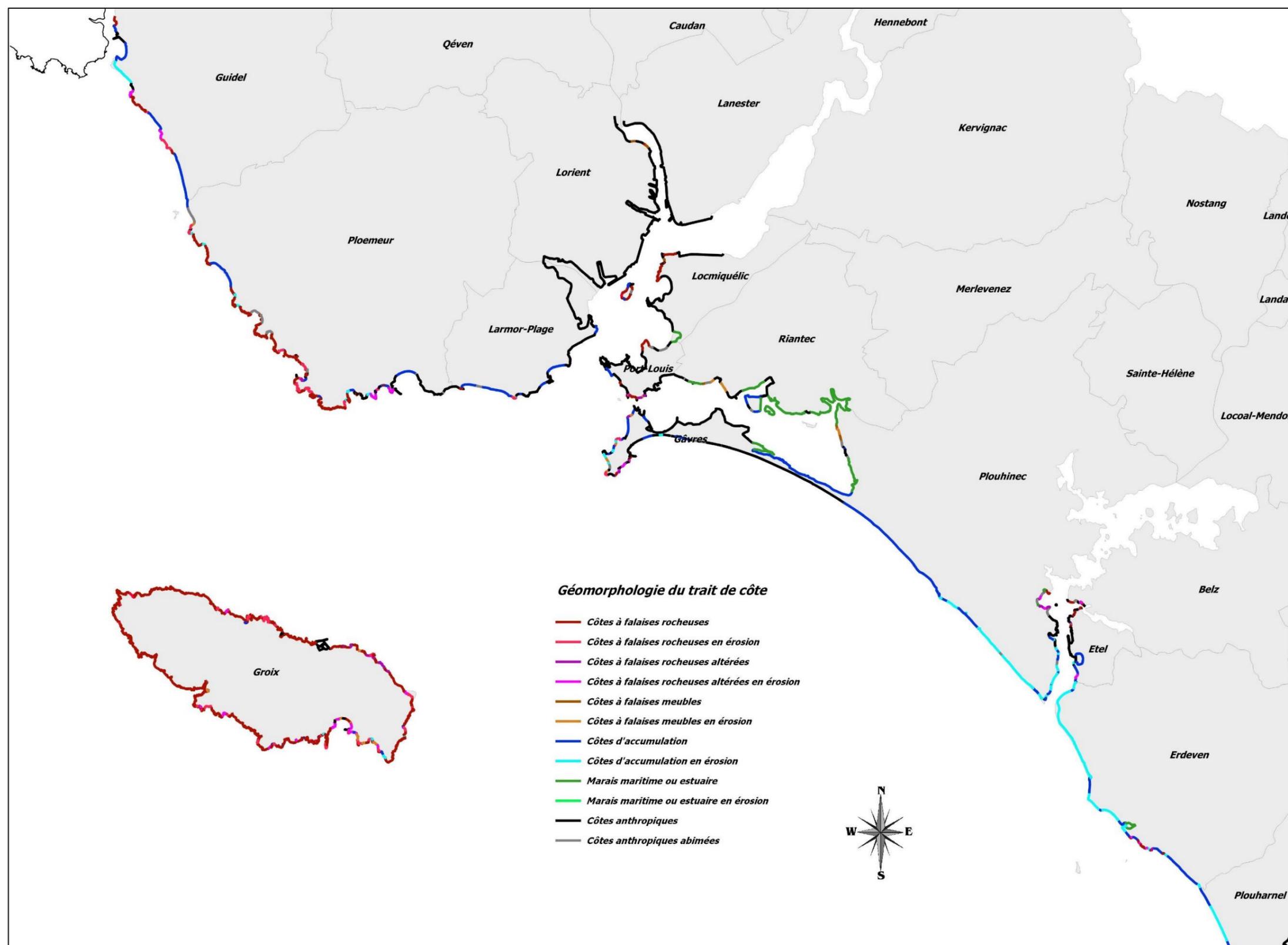


Illustration 92 – Géomorphologie simplifiée du compartiment C10 (partie Nord Ouest)

6.1.3. Analyses complémentaires sur l'érosion des côtes naturelles

Prédisposition à l'érosion des côtes à falaises

La prédisposition à l'érosion des côtes à falaises découle directement de la géomorphologie illustrée à l'illustration 70 et commentée au paragraphe 6.1.1, via les résultats obtenus au paragraphe 5.7.1.

Sur le compartiment C10 (Illustration 94 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), il en résulte une prédisposition globalement très faible pour les roches métamorphiques rencontrées à Guidel et sur l'île de Groix, faible dans les secteurs de Ploemeur, de la rade de Lorient d'Étel et de Quiberon (roches granitiques) et de faible à moyenne au niveau des roches métamorphiques basiques de l'île de Groix, et localement dans la petite mer de Gâvres du fait de la présence de terrasses anciennes.

Cinématique des côtes d'accumulation

La cinématique a pu être caractérisée sur 61 % des 63,2 km de côtes d'accumulation traités dans le compartiment C10. Les résultats obtenus montrent que les côtes d'accumulation du compartiment C10 présentent plutôt une tendance à l'accrétion (38 % des côtes d'accumulation traitées), 13 % des côtes se révélant plutôt stables et 10 % seulement étant en érosion (Illustration 95).

Dynamique des Côtes d'accumulation du C10

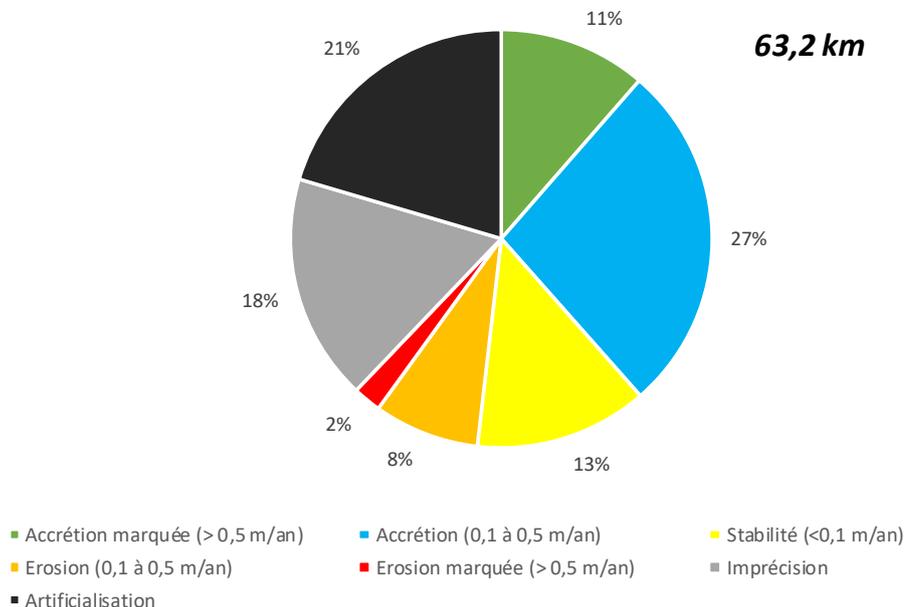


Illustration 93 – Répartition des côtes d'accumulation du compartiment C10 selon leur cinématique

Un certain nombre de points particuliers peuvent être relevés dans le compartiment C10 (illustrations 95 et 106) :

- La plage de la Falaise, à Guidel, présente un recul marqué (globalement supérieur à 1 m/an), qui s'accompagne d'un engraissement significatif un peu plus à l'intérieur de

l'estuaire ; ce secteur constitue l'un des points les plus connus pour le recul du trait de côte dans le Morbihan (effondrement du poste de secours, installation répétée d'enrochements pour protéger la route...) ;

- La plage des Kaolins, à Ploemeur, présente quant à elle une accrétion très importante (avancée de plus de 100 m entre 1952 et 2010) ; en revanche, ce phénomène n'est pas naturel puisqu'il est lié aux rejets des carrières de kaolins, permettant de qualifier cette plage d'artificielle ;
- Hormis quelques secteurs spécifiques (potentiellement perturbés par des aménagements), le tombolo de Gâvres ne semble pas présenter de nette tendance au recul ou à l'accrétion sur le long terme ; l'analyse ne prend toutefois pas en compte les éventuels rechargements qui ont pu être réalisés pour consolider le tombolo ;
- Autour de la rivière d'Etel, une accrétion importante se produit par ensablement, pouvant dépasser 2 m/an au niveau de l'embouchure ;
En revanche, plus au Sud, entre la Roche Sèche et la plage de Kerhillio (Erdeven), le trait de côte tend à reculer de quelques décimètres par an, avant de nouveau d'apparaître en accrétion à l'approche de la commune de Plouharnel.

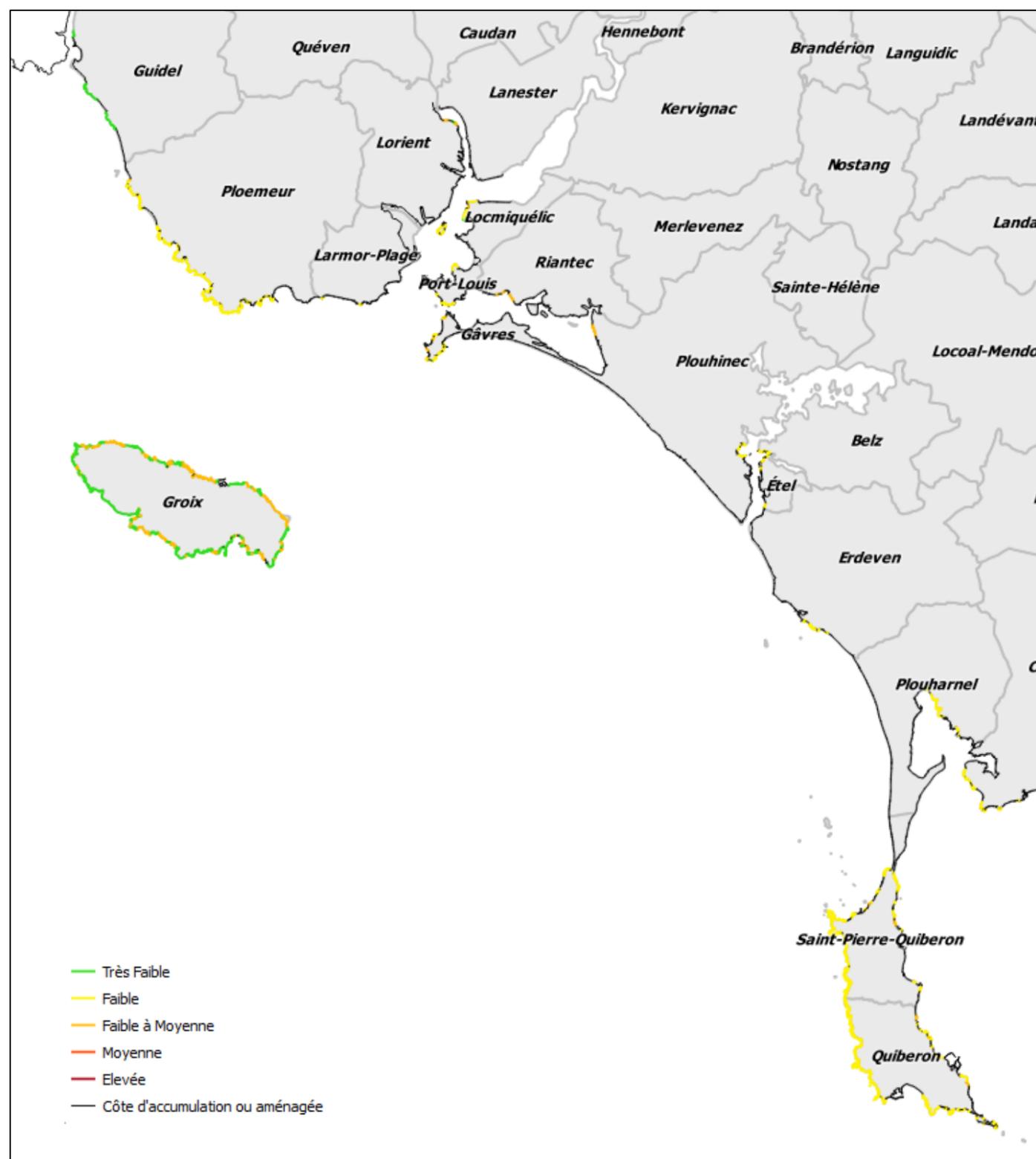


Illustration 94 – Prédiposition à l'érosion des côtes à falaises du compartiment C10

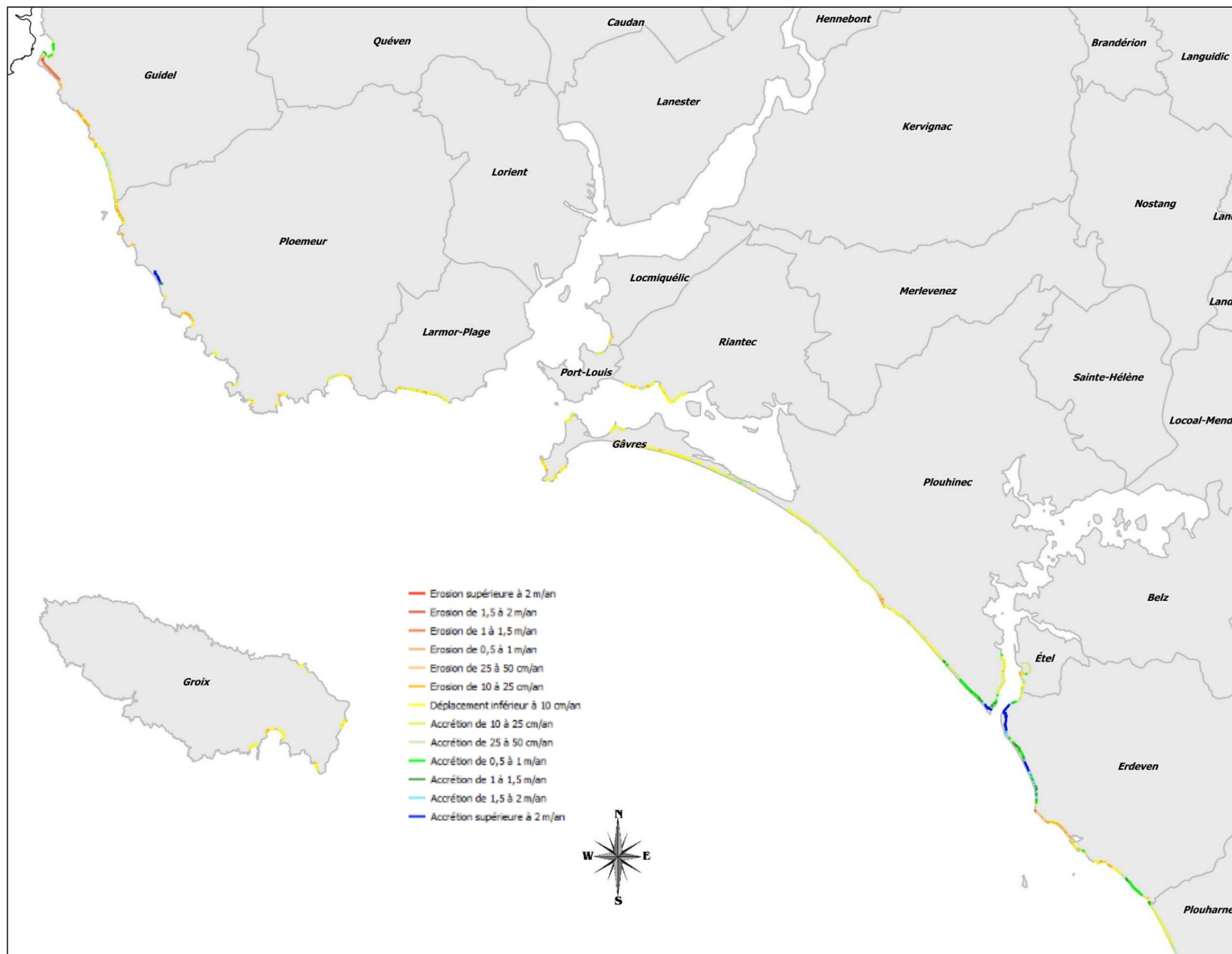


Illustration 95 – Cinématique des côtes d'accumulation du compartiment C10 (partie Nord Ouest)

6.2. EVENEMENTS TEMPETUEUX SUR LE COMPARTIMENT C10

606 points d'impacts directs ont été recensés sur le compartiment C10, correspondant à 118 événements de tempête bien datés (Illustration 96) et 25 événements mal datés (au mois ou à l'année). Les tempêtes qui semblent avoir causé le plus d'impacts au compartiment C10 sont celles du 10/03/2008 (Johanna), du 02/02/1904, du 09/01/1924, du 13/03/1937, du 01/01/1877, du 04/12/1896 et du 04/01/2014.

La répartition des points d'impacts directs est présentée sommairement aux illustrations 97, 98 et 99, mais il convient de se référer au SIG et/ou aux fiches tempêtes pour consulter plus d'informations sur la nature des impacts.

21 communes littorales du compartiment sont concernées (soit la quasi-totalité des communes littorales). La commune de Gâvres se distingue très nettement par son nombre d'impacts (62 événements de tempête), ce qui peut s'expliquer d'une part par sa situation particulière (au bout d'un tombolo sableux, avec une partie submersible comme lors de la tempête du 10/03/2008), mais aussi par la richesse de la documentation sur ce secteur (de nombreuses études ont été menées sur la commune, et ont permis de récupérer des informations contenues dans les archives de la Marine, qui consignait tous les éléments concernant le polygone de Gâvres). Les communes de Larmor-Plage et Lorient se distinguent également nettement, avec respectivement 46 et 30 événements de tempêtes ayant causé des dommages ; Larmor-Plage présente effectivement un certain nombre de secteurs régulièrement impactés (par exemple la dune artificielle de Kerguelen qui protège une zone basse, ou la digue de la Nourriguel régulièrement endommagée...), tandis que Lorient a été très régulièrement inondé, notamment autour du port de plaisance et plus en amont sur le Scorff (secteur de la côte d'Alger...). Viennent ensuite les communes de Quiberon et Ploemeur, avec respectivement 22 et 21 événements de tempête

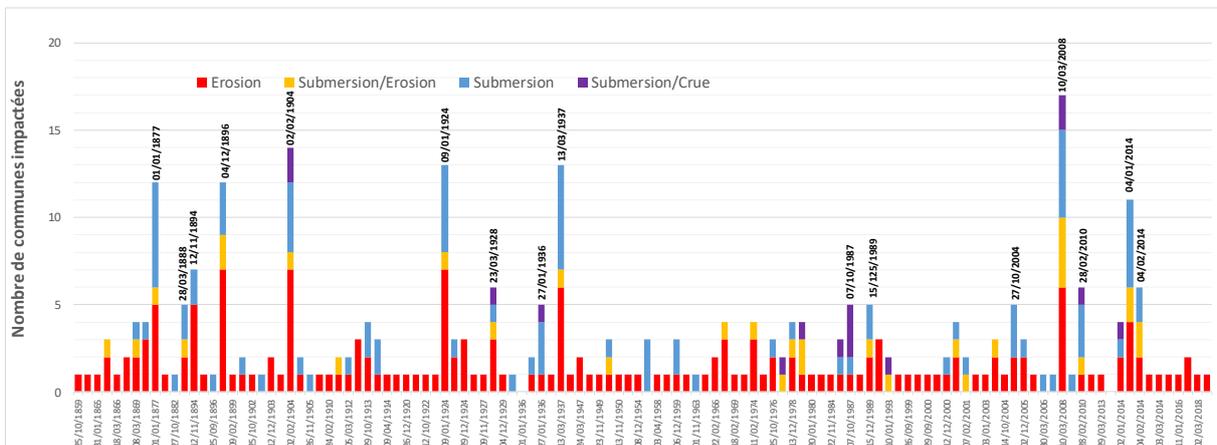


Illustration 96 - Répartition temporelle des tempêtes ayant causé des impacts directs sur le compartiment C10

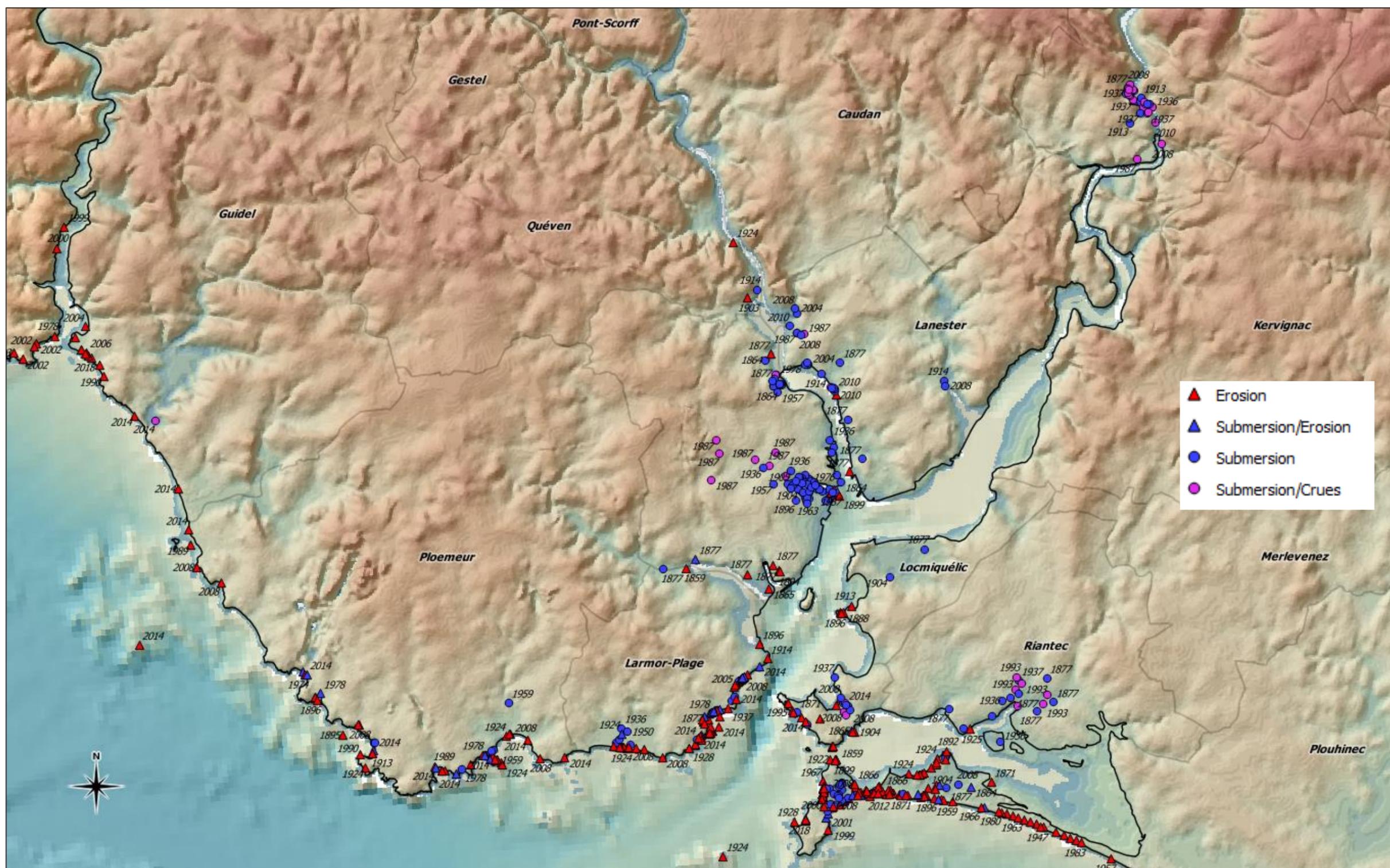


Illustration 97 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C10 (partie Nord-Ouest)

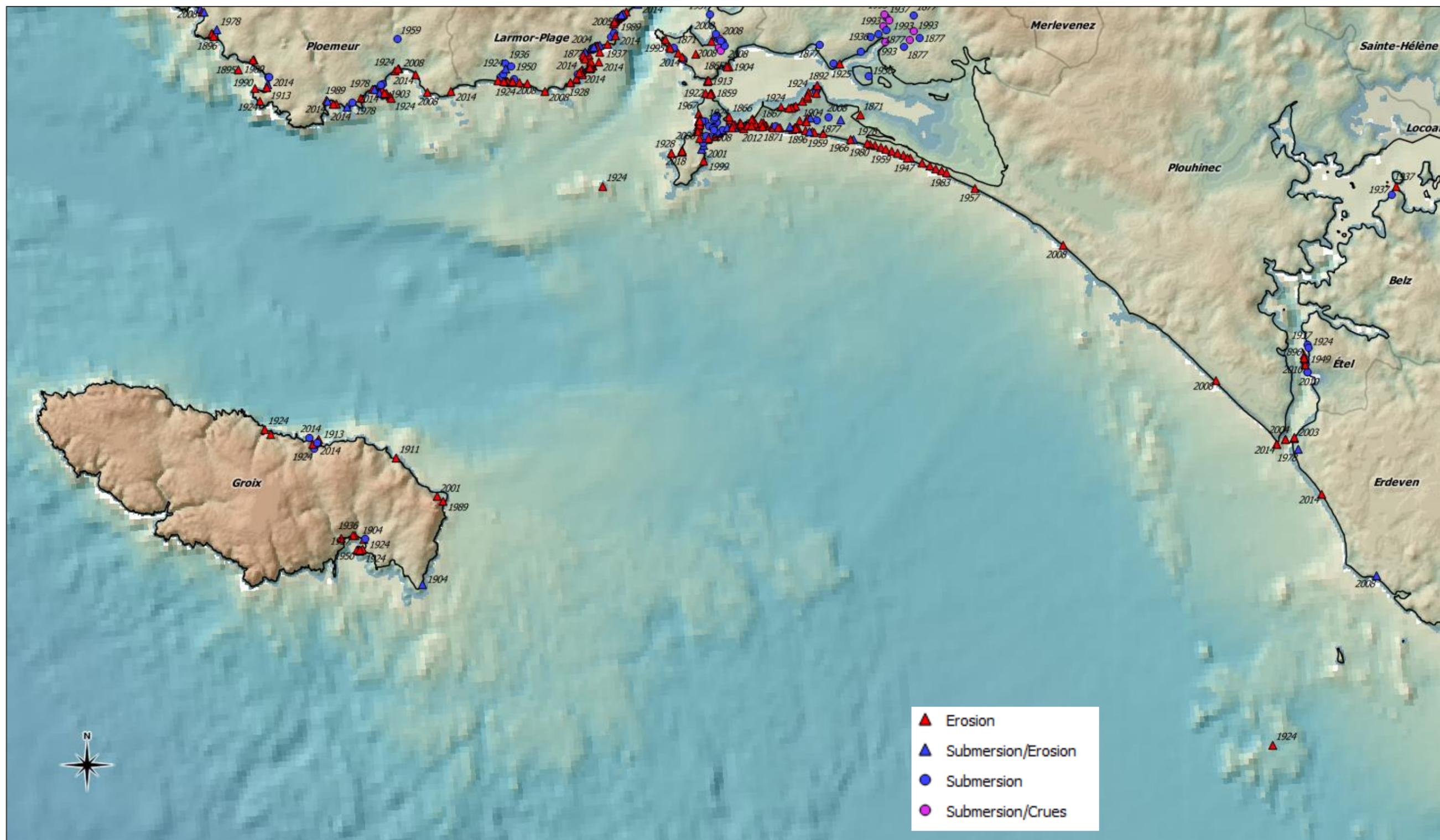


Illustration 98 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C10 (partie Sud-Ouest)

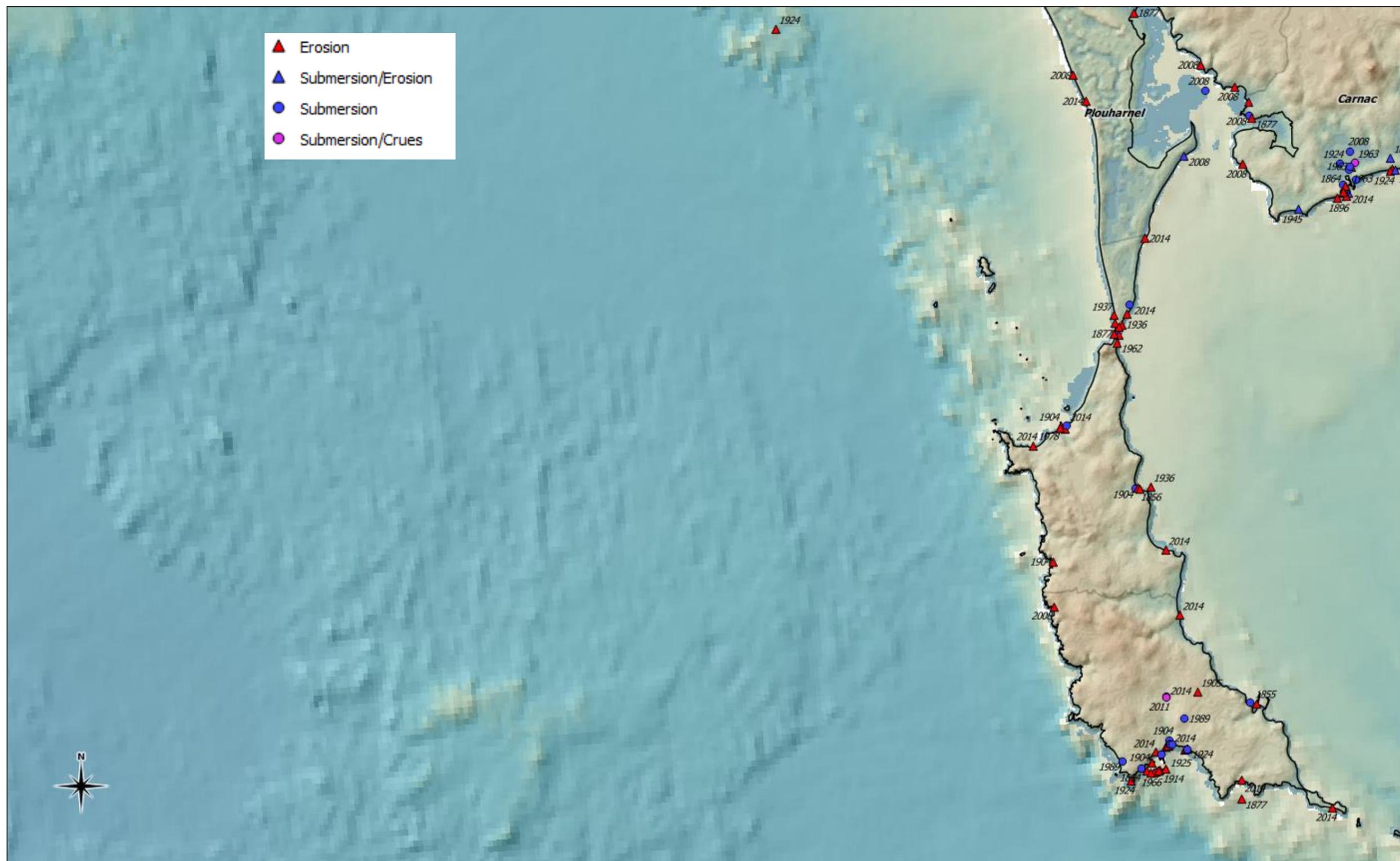


Illustration 99 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C10 (partie Sud-Est)

7. Résultats sur le compartiment C11 : de la pointe de Quiberon à Pénestin

7.1. GEOMORPHOLOGIE DU TRAIT DE COTE

7.1.1. Géomorphologie du trait de côte

La géomorphologie détaillée du trait de côte, présentée à l'illustration 70, n'est pas reprise de façon détaillée pour le compartiment C11 (on se réfèrera au SIG pour plus d'informations). On peut toutefois noter que pour ce compartiment C11 (Illustration 100) :

- Les côtes à falaises sont largement dominées (près de la moitié) par des roches métamorphiques (notamment dans la presqu'île de Rhuys et vers l'estuaire de la Vilaine), et dans une moindre mesure (plus d'un quart) par les roches granitiques (de Quiberon à Locmariaquer) ;
- Les côtes d'accumulation non artificialisées sont quant à elles largement dominées (plus de la moitié) par les marais maritimes ou estuaires (dans les divers fonds d'estuaires dans les communes de Plouharnel, Carnac, la Trinité et Locmariaquer, et surtout dans les zones de marais rencontrées depuis le Tour-du-Parc à l'estuaire de la Vilaine), et dans une moindre mesure (près d'un quart) par des cordons dunaires sableux (présents un peu partout, mais notamment à Sarzeau dans l'anse de Suscinio).

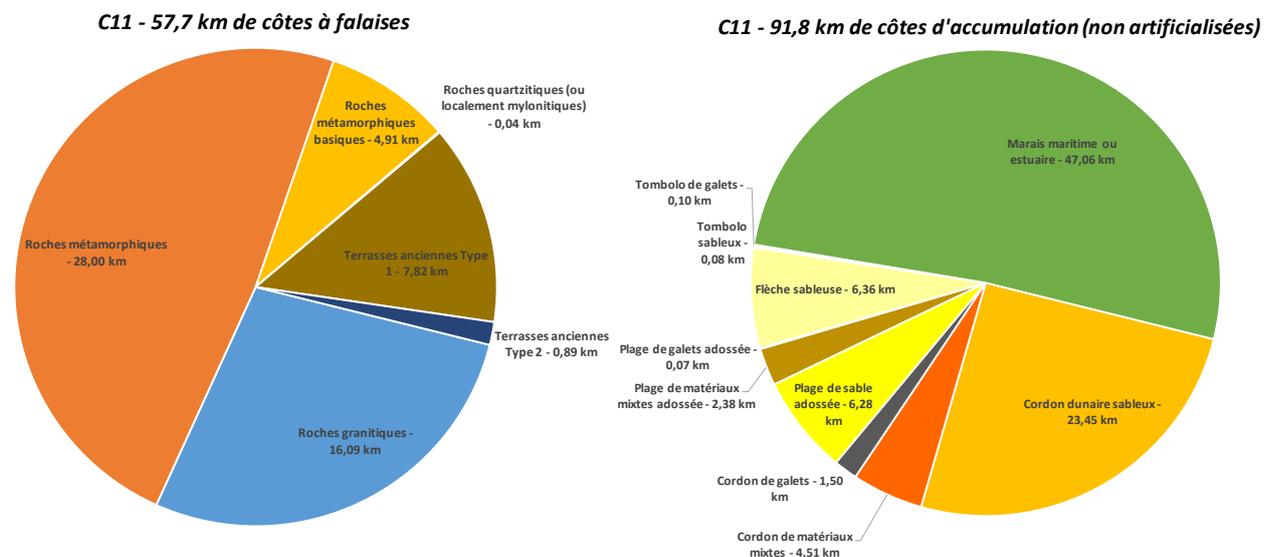


Illustration 100 – Répartition de la géomorphologie du trait de côte pour le compartiment C11 (côtes à falaises à gauche, côtes d'accumulation à droite, hors côtes artificialisées)

7.1.2. Géomorphologie simplifiée du trait de côte

La géomorphologie simplifiée du trait de côte du compartiment C11 est représentée aux illustrations 102 et 103.

Comme présenté à l'illustration 101, ces résultats montrent que les côtes du compartiment C11 sont assez largement artificialisées (37 % : il s'agit du plus fort taux d'artificialisation parmi les 4 compartiments étudiés). La répartition des côtes naturelles de ce compartiment est ensuite

assez largement dominée par des côtes d'accumulation, puisque les côtes à falaises ne représentent que 24 % du linéaire côtier (dont 6 % ont été jugés en érosion) contre 39 % du linéaire côtier classés en côtes d'accumulation (dont 2 % ont été jugées en érosion lors des visites). Plus de la moitié de ces côtes d'accumulation de ce compartiment correspond à des marais maritimes ou estuaires, notamment sur les communes de Damgan, Le Tour-du-Parc, Ambon et Billiers.

Compartiment C11

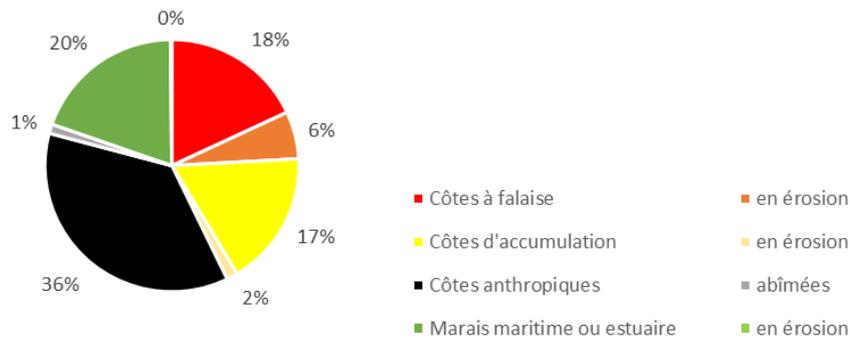


Illustration 101 – Répartition des côtes du compartiment C11 selon leur géomorphologie

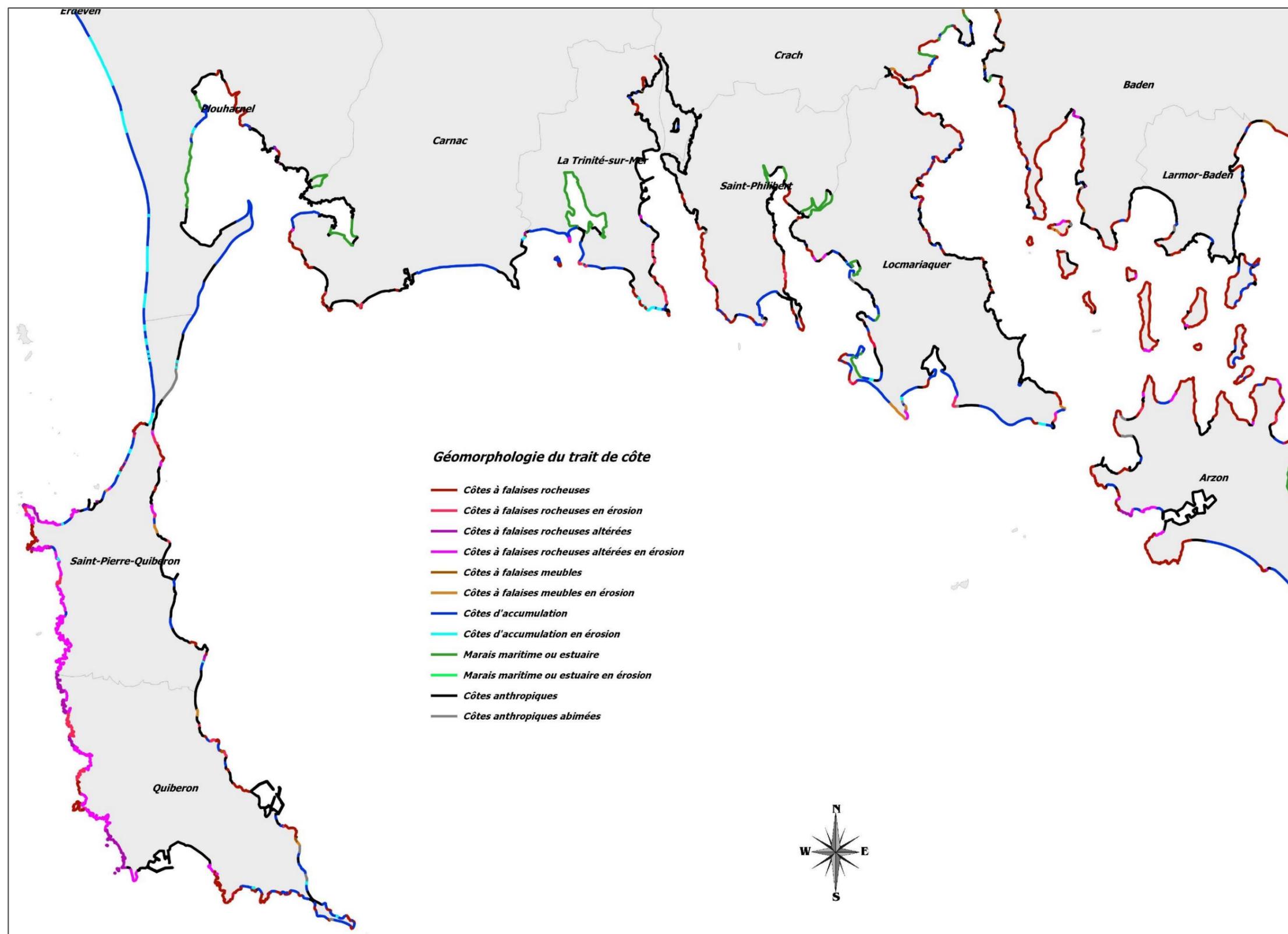


Illustration 102 – Géomorphologie simplifiée des compartiments C10 (partie Sud-Est) et C11 (partie Ouest)

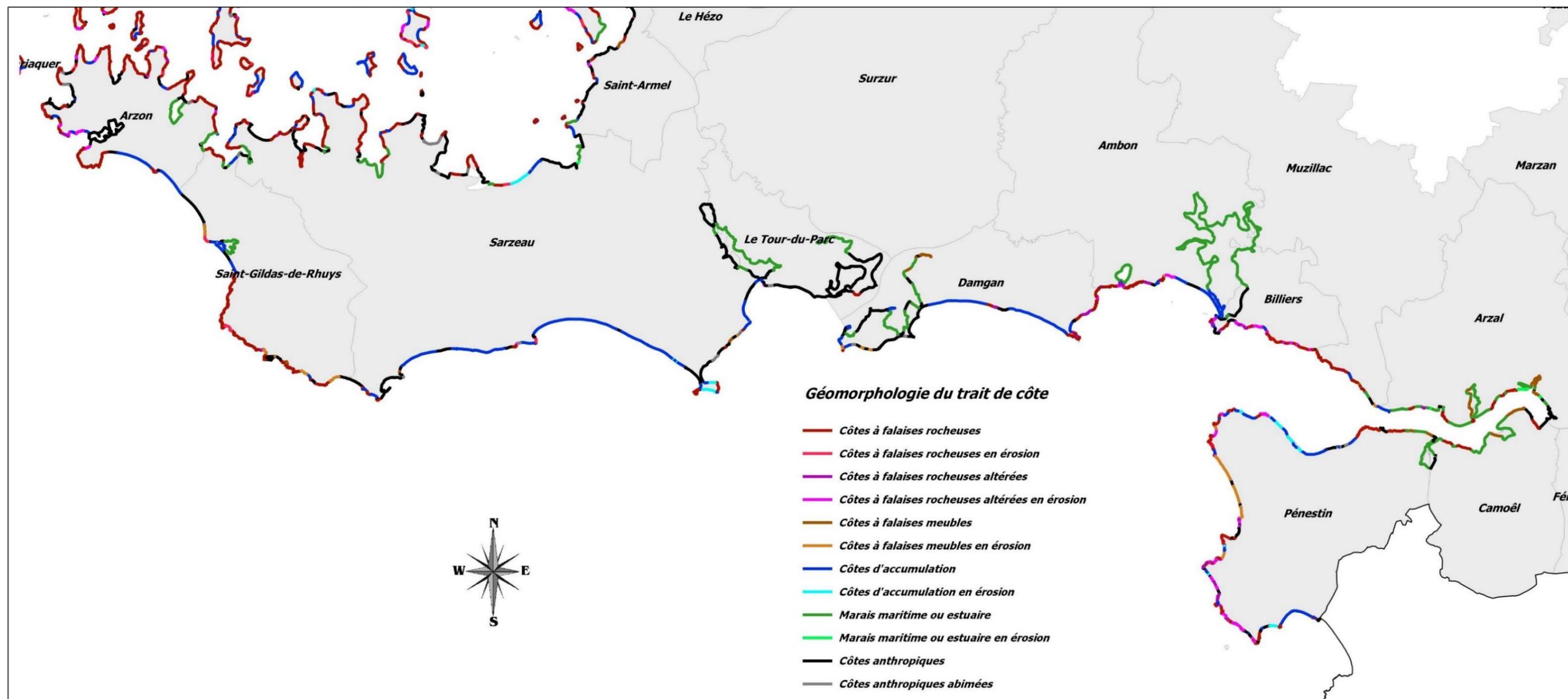


Illustration 103 – Géomorphologie simplifiée du compartiment C11 (partie Est)

7.1.3. Analyses complémentaires sur l'érosion des côtes naturelles

Prédisposition à l'érosion des côtes à falaises

La prédisposition à l'érosion des côtes à falaises découle directement de la géomorphologie illustrée à l'illustration 70 et commentée au paragraphe 7.1.1, via les résultats obtenus au paragraphe 5.7.1.

Sur le compartiment C11 (Illustration 105 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), il en résulte une prédisposition globalement très faible pour les roches métamorphiques rencontrées au Sud de la presqu'île de Rhuys et vers la Vilaine, à faible à moyenne pour les roches métamorphiques basiques rencontrées vers l'estuaire de la Vilaine, tandis que la partie occidentale du compartiment (de Quiberon à Locmariaquer) est plutôt associée à une prédisposition faible liées aux roches granitiques qui y sont majoritaires. On peut noter le cas de la falaise de la Mine d'Or, à Pénestin, qui constitue le seul secteur classé en prédisposition élevée du département.

Cinématique des côtes d'accumulation

La cinématique a pu être caractérisée sur 50 % des 88,2 km de côtes d'accumulation traités dans le compartiment C11. Les résultats obtenus montrent une répartition équilibrée de la cinématique des côtes d'accumulation du compartiment C11, avec 18 % des côtes traitées apparaissant comme stables et 16 % apparaissant respectivement comme en érosion ou en accrétion (Illustration 104).

Dynamique des Côtes d'accumulation du C11

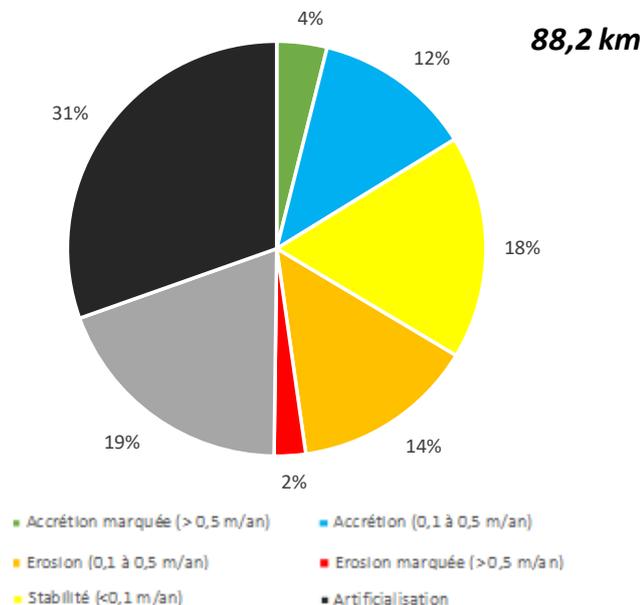


Illustration 104 – Répartition des côtes d'accumulation du compartiment C11 selon leur cinématique

Un certain nombre de points particuliers peut être relevé dans le compartiment C11 (illustrations 106 et 107) :

- Le massif dunaire au niveau du camping de Saint-Pierre-Quiberon, et surtout la flèche sableuse au niveau du camping de Plouharnel, tendent à présenter une accrétion marquée (malgré quelques secteurs plutôt en érosion, probablement du fait de l'impact de certains aménagements) ; ce résultat observé à une échelle semi-séculaire permet donc un autre éclairage aux observations de terrain actuelles qui constatent aujourd'hui une érosion sur ce secteur ;
- Localement, certains secteurs de la Trinité-sur-Mer et de Locmariaquer (dunes de Saint-Pierre) présentent des reculs ou des accrétions assez marqués ;
- Au Sud de la presqu'île de Rhuys et vers l'estuaire de la Vilaine, plusieurs secteurs montrent des reculs significatifs : localement dans le secteur de Kervert, à Saint-Gildas-de-Rhuys, vers Suscinio et Penvins à Sarzeau, au niveau de Pénerff à Damgan, à Kervoyal à Ambon...
- A Pénestin, le recul des falaises apparaît également notable ; On peut noter côté Vilaine l'existence de petites flèches sableuses qui tendent à remonter le long de la côte vers l'amont de l'estuaire, ce qui explique en partie l'alternance des zones identifiées comme en érosion et en accrétion par une simple analyse diachronique.

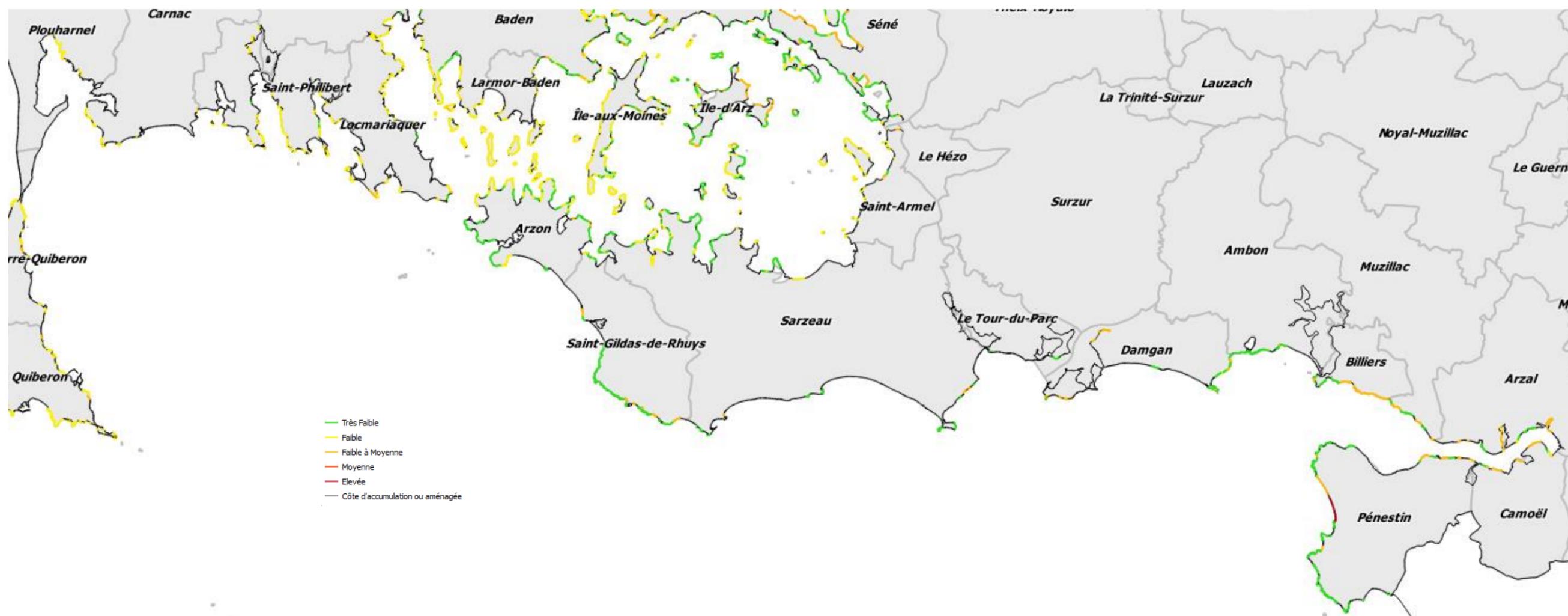


Illustration 105 - Prédiposition à l'érosion des côtes à falaises du compartiment C11

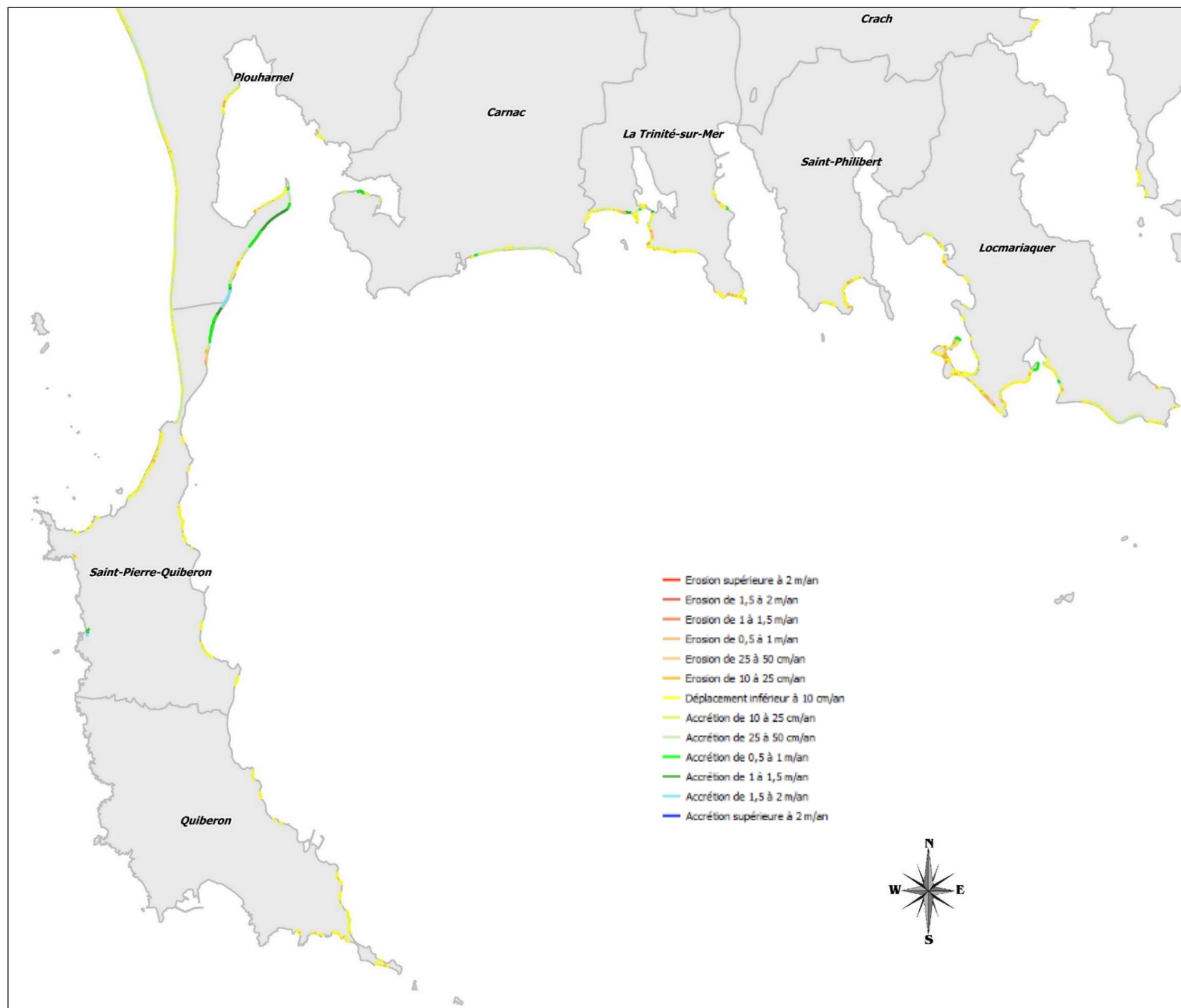


Illustration 106 – Cinématique des côtes d'accumulation du compartiment C10 (partie Sud-Est) et C11 (partie Ouest)

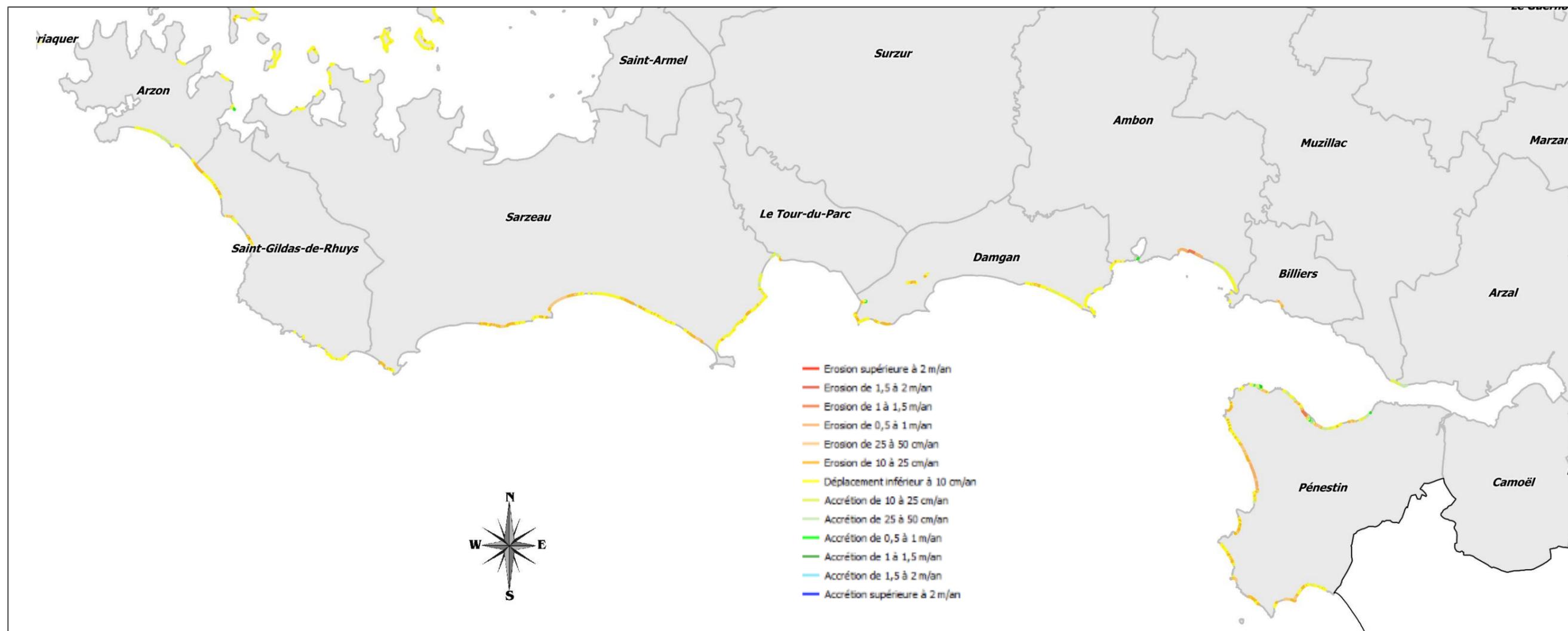


Illustration 107 – Cinématique des côtes d'accumulation du compartiment C11 (partie Est)

7.2. EVENEMENTS TEMPETUEUX SUR LE COMPARTIMENT C11

351 points d'impacts directs ont été recensés sur le compartiment C11, correspondant à 53 événements de tempête bien datés (Illustration 108) et 21 événements mal datés (au mois ou à l'année). Les deux tempêtes qui semblent avoir causé le plus d'impacts au compartiment C11 sont celles du 01/01/1877 et du 10/03/2008. On peut d'ailleurs noter que d'après les descriptions disponibles, lors de la tempête du 01/01/1877, la mer aurait séparé Arzon du reste de la presqu'île de Rhuys, joignant le Golfe et l'océan.

La répartition des points d'impacts directs est présentée sommairement aux illustrations 109 et 110, mais il convient de se référer au SIG et/ou aux fiches tempêtes pour consulter plus d'informations sur la nature des impacts.

16 communes littorales du compartiment sont concernées (soit la quasi-totalité des communes littorales, à l'exception de celles de l'estuaire de la Vilaine pour lesquelles seuls des événements de submersion-cruue ont été recensés à Saint-Dolay et la Roche-Bernard). La commune de Sarzeau se détache nettement des autres en raison des très nombreux impacts recensés (39 événements de tempête), notamment sur les secteurs de Suscinio, Penvins et Banastère. Suivent ensuite les communes de Damgan (16 événements de tempête), Carnac (14 événements de tempête) et le Tour-du-Parc (13 événements de tempête).

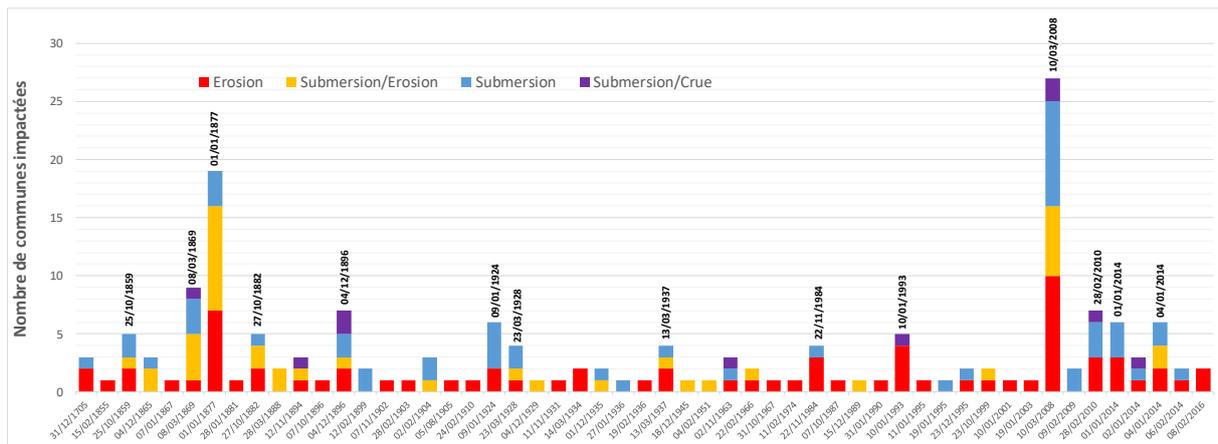


Illustration 108 - Répartition temporelle des tempêtes ayant causé des impacts directs sur le compartiment C11

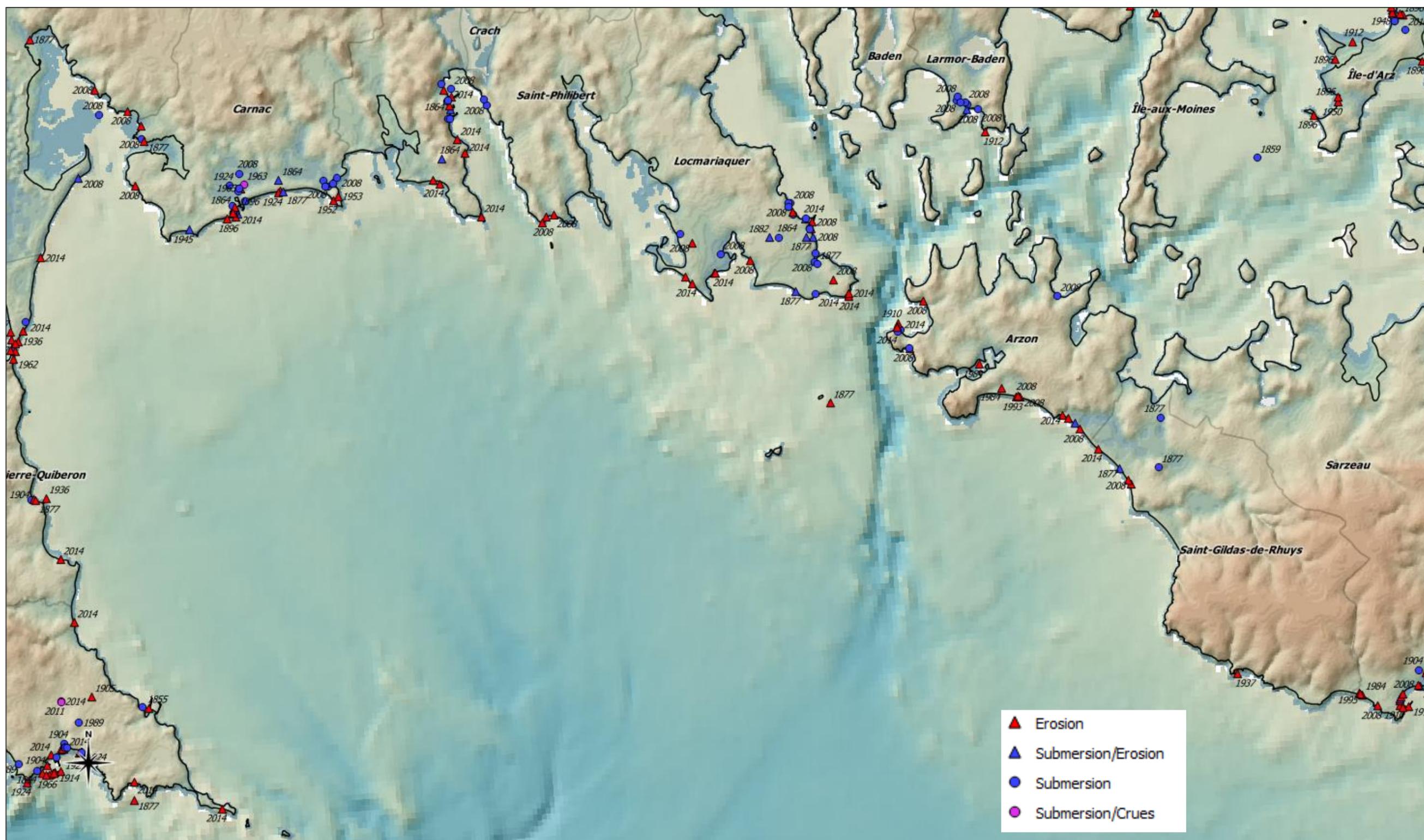


Illustration 109 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C11 (partie Ouest)

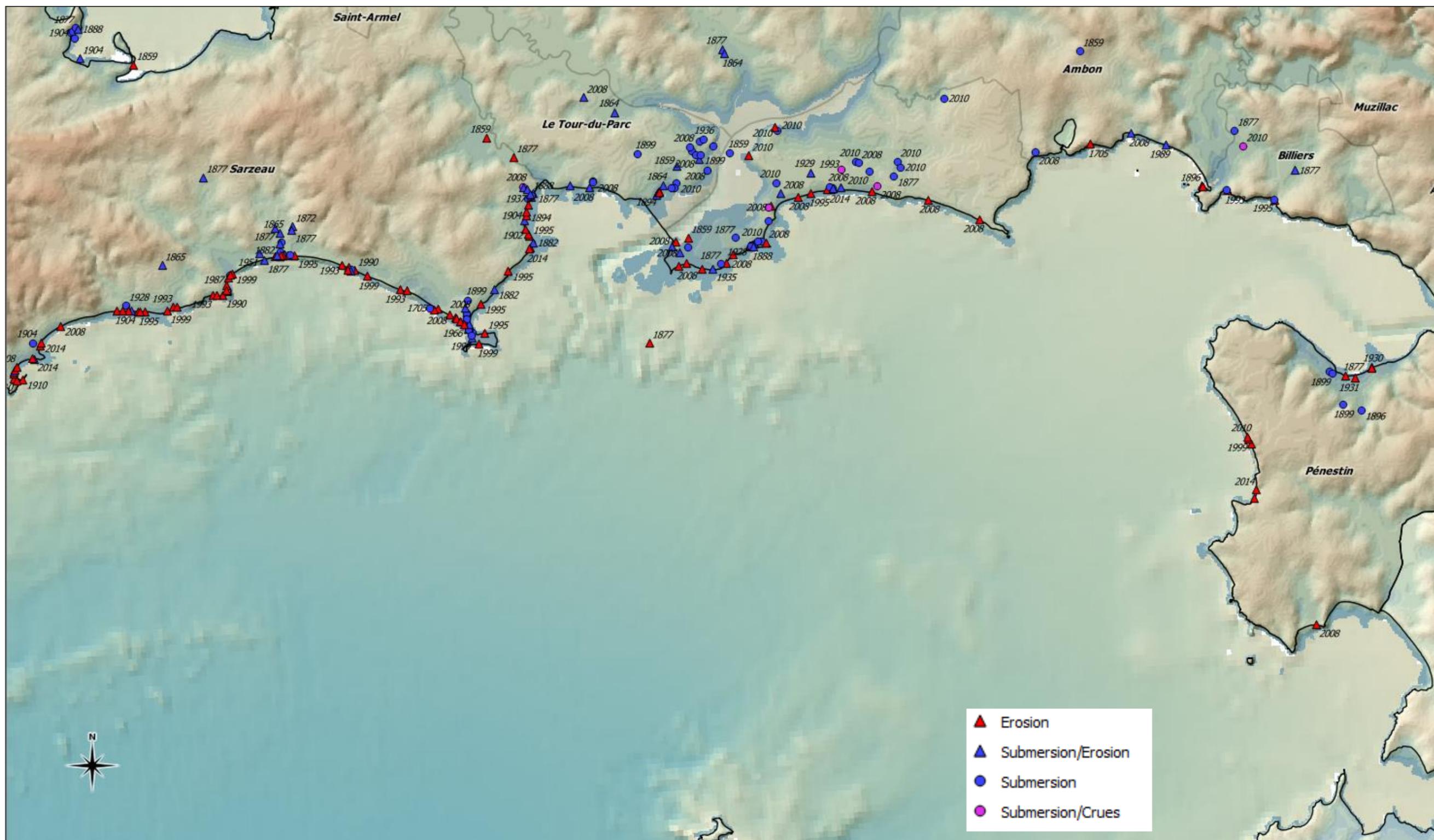


Illustration 110 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C11 (partie Est)

8. Résultats sur le compartiment C12 : Golfe du Morbihan

8.1. GEOMORPHOLOGIE DU TRAIT DE COTE

8.1.1. Géomorphologie du trait de côte

La géomorphologie détaillée du trait de côte, présentée à l'illustration 70, n'est pas reprise de façon détaillée pour le compartiment C12 (on se référera au SIG pour plus d'informations). On peut toutefois noter que pour ce compartiment C12 (Illustration 111) :

- Les côtes à falaises sont largement dominées (près de la moitié) par des roches granitiques (notamment dans la partie occidentale du Golfe, de la rivière d'Auray à l'Île-aux-Moines, et de façon plus diffuse ailleurs), et par les roches métamorphiques (notamment dans la partie Nord-Est du Golfe et sur la côte Nord de la presqu'île de Rhuys) ;
- Les côtes d'accumulation non artificialisées sont quant à elles largement dominées (près de la moitié) par les marais maritimes ou estuariens (répartis de façon assez diffuse dans le Golfe), et dans une moindre mesure (près d'un quart) par des plages de sable adossées et par des cordons de matériaux mixtes (eux aussi répartis de façon assez diffuse dans le Golfe).

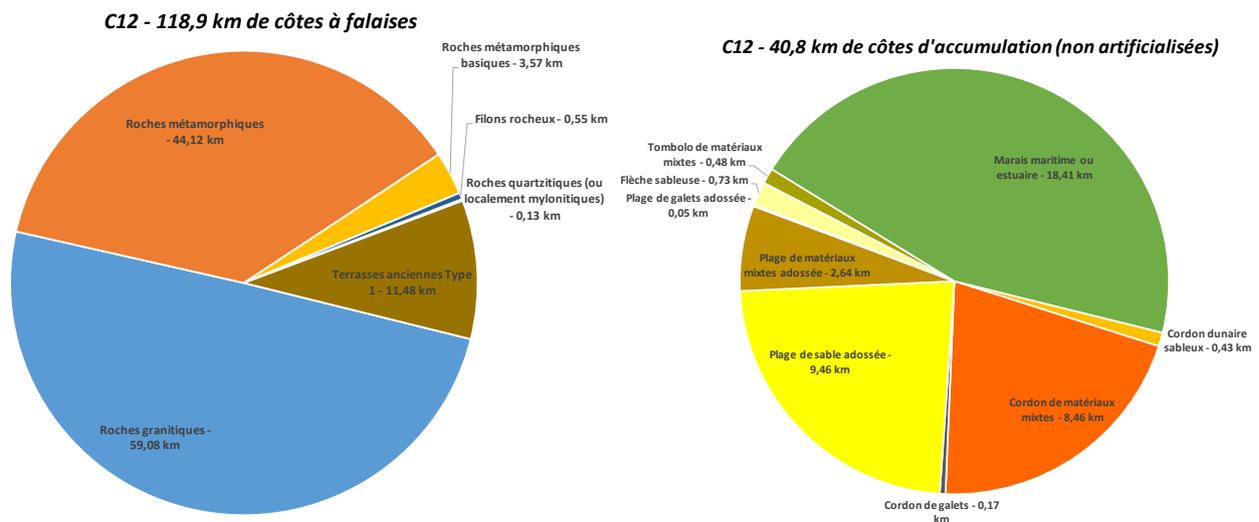


Illustration 111 – Répartition de la géomorphologie du trait de côte pour le compartiment C12 (côtes à falaises à gauche, côtes d'accumulation à droite, hors côtes artificialisées)

8.1.2. Géomorphologie simplifiée du trait de côte

La géomorphologie simplifiée du trait de côte du compartiment C12 est représentée à l'illustration 113.

Comme présenté à l'**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, ces résultats montrent que les côtes du compartiment C12 sont significativement artificialisées (34 %). La répartition des côtes naturelles de ce compartiment est ensuite largement dominée par des falaises, puisque les côtes à falaises représentent 49 % du linéaire côtier (dont 6 % ont été jugés en érosion) contre 22 %

seulement du linéaire côtier classés en côtes d'accumulation (dont 6 % ont été jugées en érosion lors des visites), dont près d'un tiers correspondent à des marais maritimes ou estuaires.

Compartiment C12

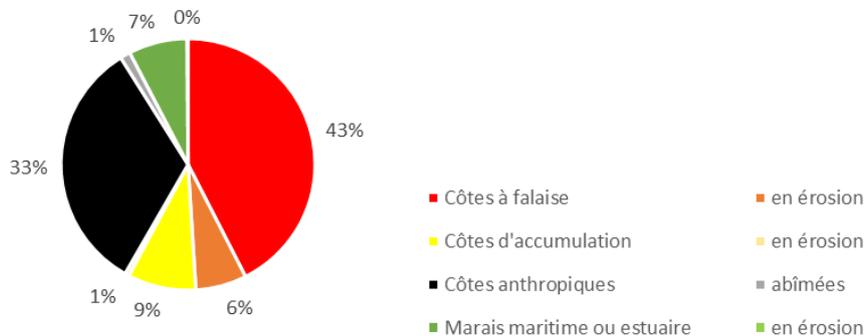


Illustration 112 – Répartition des côtes du compartiment C12 selon leur géomorphologie

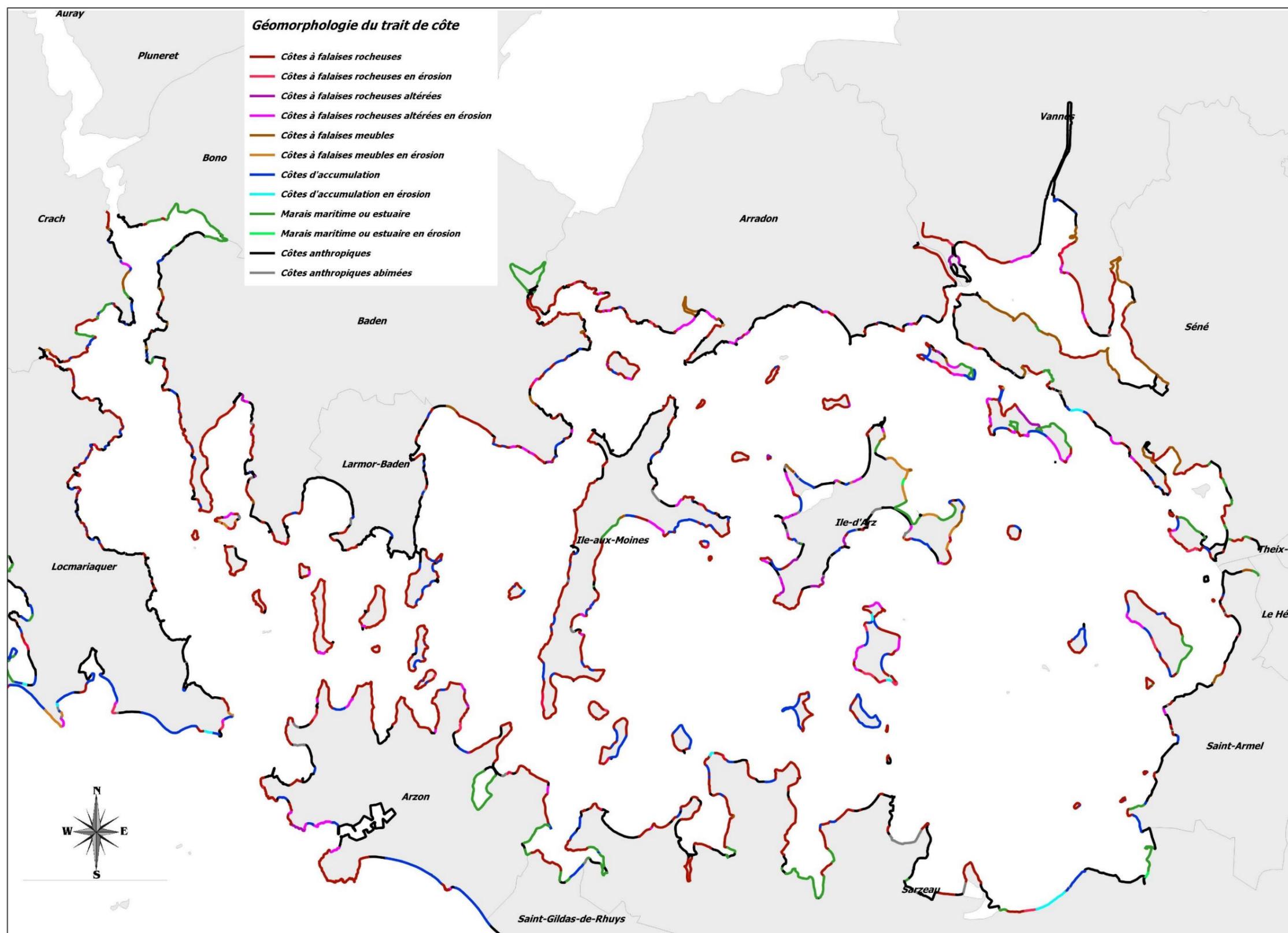


Illustration 113 – Géomorphologie simplifiée du compartiment C12

8.1.3. Analyses complémentaires sur l'érosion des côtes naturelles

Prédisposition à l'érosion des côtes à falaises

La prédisposition à l'érosion des côtes à falaises découle directement de la géomorphologie illustrée à l'illustration 70 et commentée au paragraphe 8.1.1, via les résultats obtenus au paragraphe 5.7.1.

Sur le compartiment C12 (Illustration 115 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), il en résulte une prédisposition variant de très faible pour les roches métamorphiques rencontrées au centre et au Nord-Est du Golfe à faible pour les roches granitiques rencontrées notamment en partie occidentale du Golfe. Certains secteurs, classés en terrasses anciennes de type 1 et rencontrés essentiellement en partie Nord-Est du Golfe, ressortent quant à eux en prédisposition moyenne.

Cinématique des côtes d'accumulation

Le compartiment C12 comporte moins de côtes d'accumulation (37,2 km étudiés seulement), sur lesquelles 38 % seulement ont pu être caractérisés en termes de cinématique. Les résultats obtenus montrent une large tendance à la stabilité des côtes d'accumulation (28 %), et seulement 5 % apparaissant respectivement comme en érosion ou en accrétion (Illustration 114).

Dynamique des Côtes d'accumulation du C12

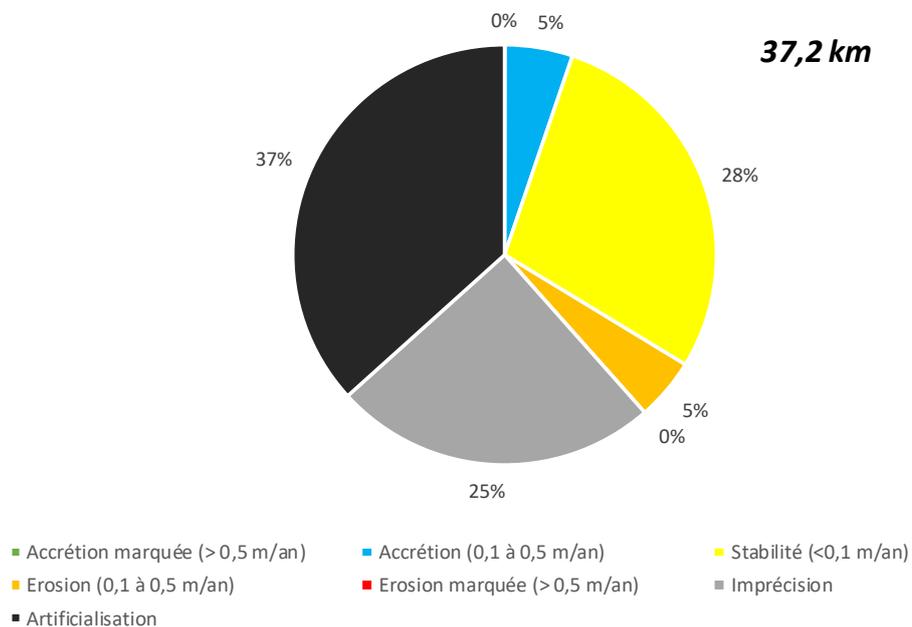


Illustration 114 – Répartition des côtes d'accumulation du compartiment C12 selon leur cinématique

La répartition des zones ayant une cinématique marquée dans le compartiment C12 s'avère cependant assez diffuse, mais ces secteurs semblent concerner principalement les différentes îles du Golfe (Illustration 116).

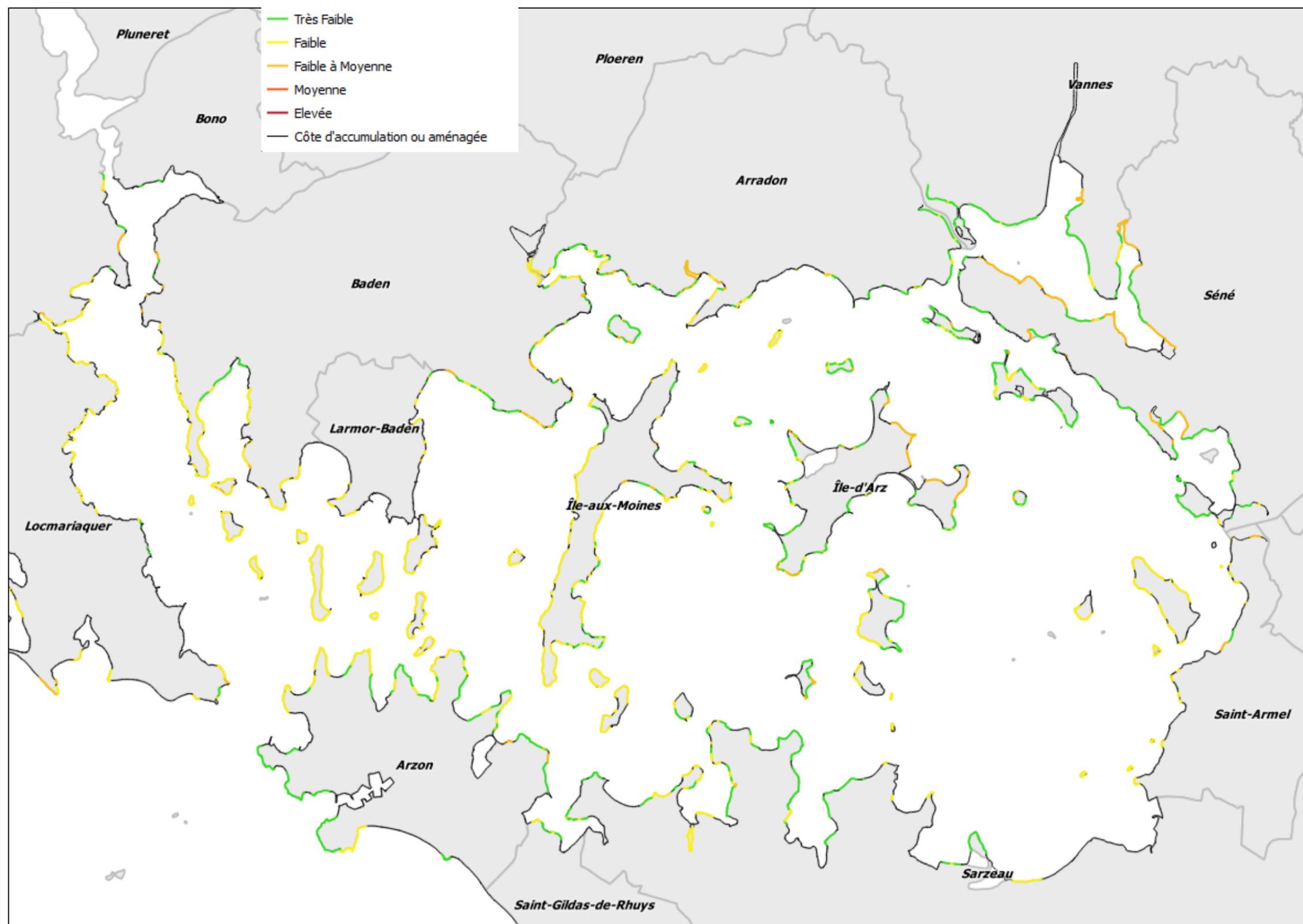


Illustration 115 – Prédiction à l'érosion des côtes à falaises du compartiment C12

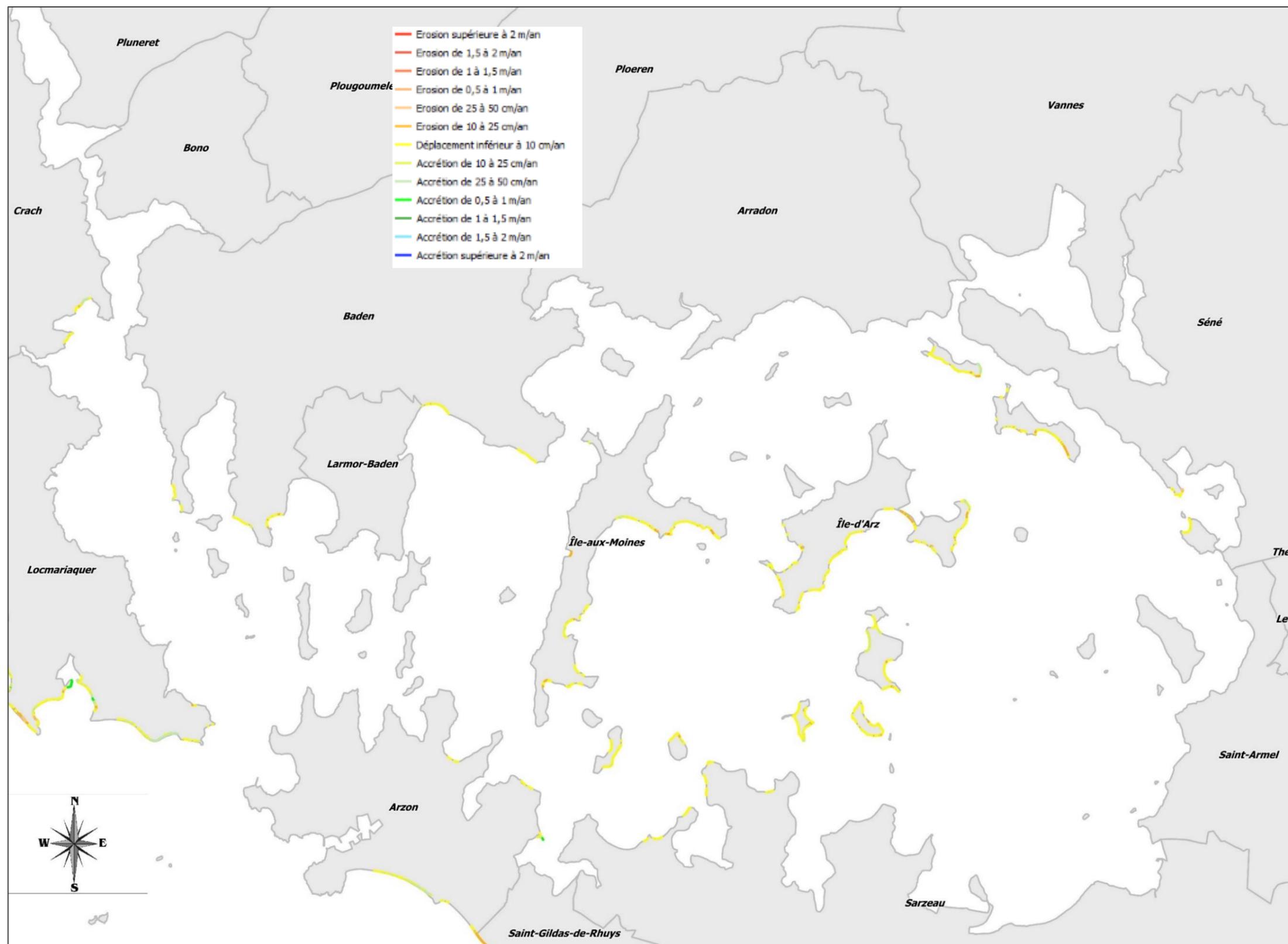


Illustration 116 – Cinématique des côtes d'accumulation du compartiment C12

8.2. EVENEMENTS TEMPETUEUX SUR LE COMPARTIMENT C12

217 points d'impacts directs ont été recensés sur le compartiment C12, correspondant à 40 événements de tempête bien datés (Illustration 117) et 8 événements mal datés (au mois ou à l'année). Les 3 tempêtes qui semblent avoir causé le plus d'impacts au compartiment C12 sont celles du 10/03/2008 (Johanna), du 28/02/2010 (Xynthia) et du 01/01/1877. On peut par ailleurs noter que les phénomènes d'érosion semblent beaucoup moins courants que dans les autres départements, ce qui pourrait s'expliquer d'une part par le caractère assez protégé du Golfe (peu de vagues pénètrent ou sont générées dans le Golfe, qui est donc surtout exposé à des submersions marines quand le niveau marin monte anormalement haut), et d'autre part par la géomorphologie (surtout des côtes à falaises).

La répartition des points d'impacts directs est présentée sommairement à l'illustration 118, mais il convient de se référer au SIG et/ou aux fiches tempêtes pour consulter plus d'informations sur la nature des impacts.

16 communes littorales du compartiment (soit la quasi-totalité des communes littorales) ont subi des impacts. Les communes de Vannes et d'Auray se distinguent très nettement du fait des épisodes récurrents de submersion, souvent en conjonction avec une crue, qui conduisent à des inondations répétées (27 événements de tempête sur Vannes, affectant le plus souvent le secteur de la Place de la Poissonnerie et les abords du port, et parfois l'île de Conleau ; 16 événements de tempête à Auray, généralement du fait des interactions entre la rivière et le niveau marin, affectant essentiellement le secteur de Saint-Goustan). Suivent ensuite les communes de Séné (8 événements de tempête), l'île d'Arz (7 événements de tempête) et Sarzeau (6 événements de tempête).

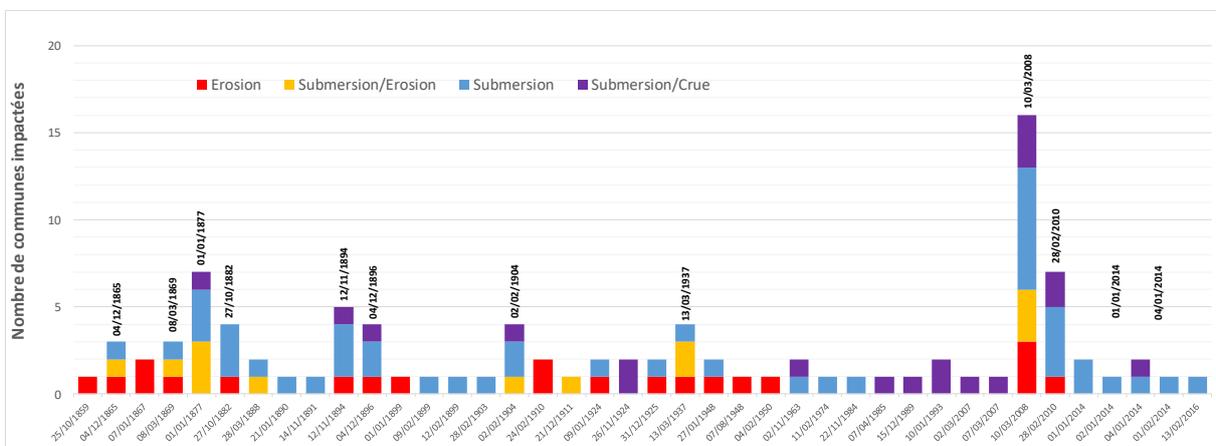


Illustration 117 - Répartition temporelle des tempêtes ayant causé des impacts directs sur le compartiment C12

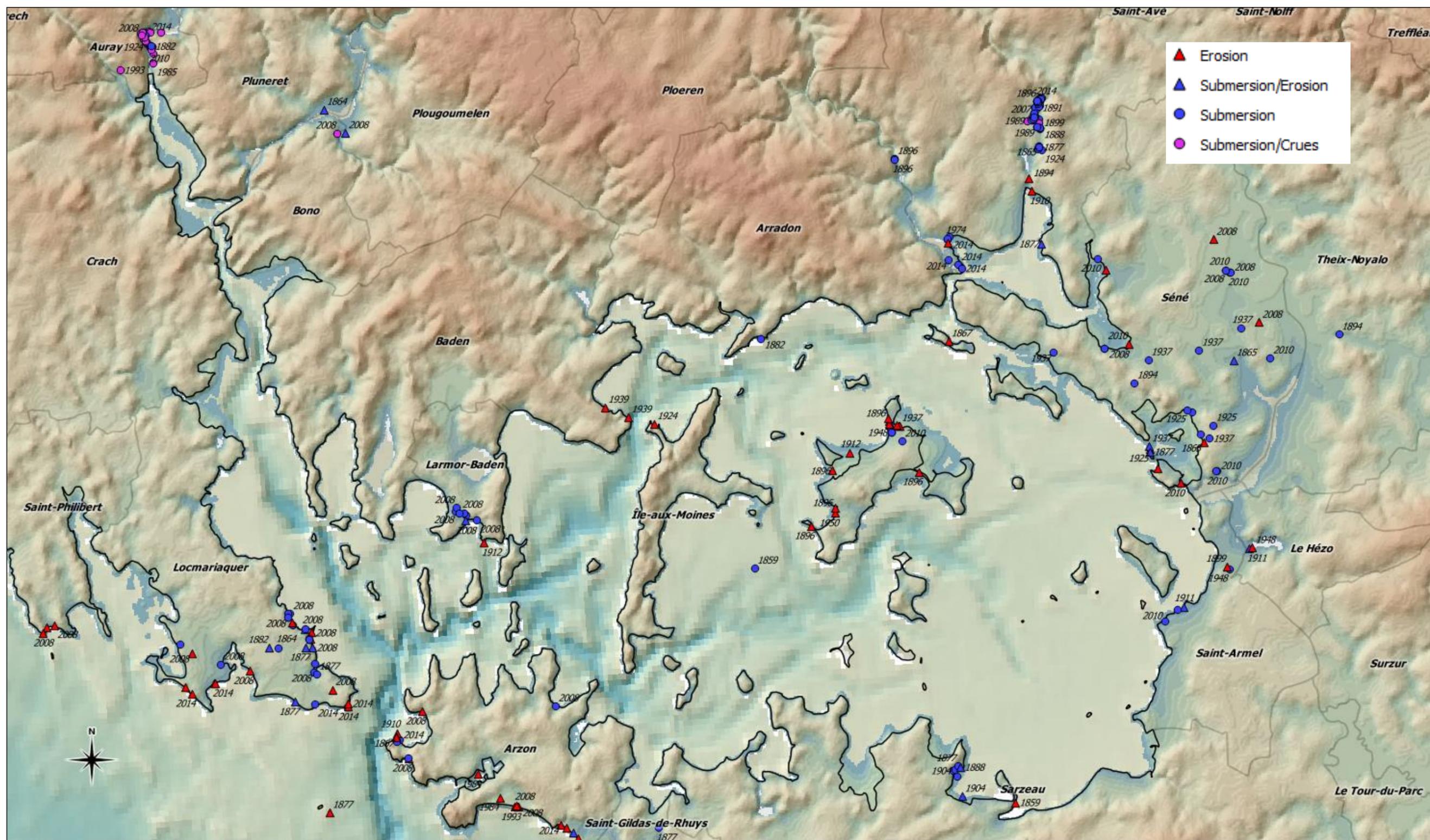


Illustration 118 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C12

9. Résultats sur le compartiment C13 : Belle-Ile-en-Mer, Houat et Hoëdic

9.1. GEOMORPHOLOGIE DU TRAIT DE COTE

9.1.1. Géomorphologie du trait de côte

La géomorphologie détaillée du trait de côte, présentée à l'illustration 70, n'est pas reprise de façon détaillée pour le compartiment C13 (on se réfèrera au SIG pour plus d'informations). On peut toutefois noter que pour ce compartiment C13 (Illustration 119) :

- Les côtes à falaises sont largement dominées (près des deux tiers) par des roches volcano-sédimentaires (correspondant à la géologie dominante à Belle-Ile), souvent associées à des roches volcaniques et métavolcaniques acides, et dans une moindre mesure (près d'un tiers) par des roches granitiques (îles d'Houat et d'Hoëdic) ;
- Les côtes d'accumulation non artificialisées ne représentent qu'un linéaire limité, et sont quant à elles largement dominées (près des deux tiers) par des plages de sables adossées (surtout à Hoëdic, mais aussi de manière plus diffuse sur Houat et Belle-Ile), et dans une moindre mesure (plus d'un quart) par des cordons dunaires sableux (correspondant essentiellement au massif dunaire de Houat).

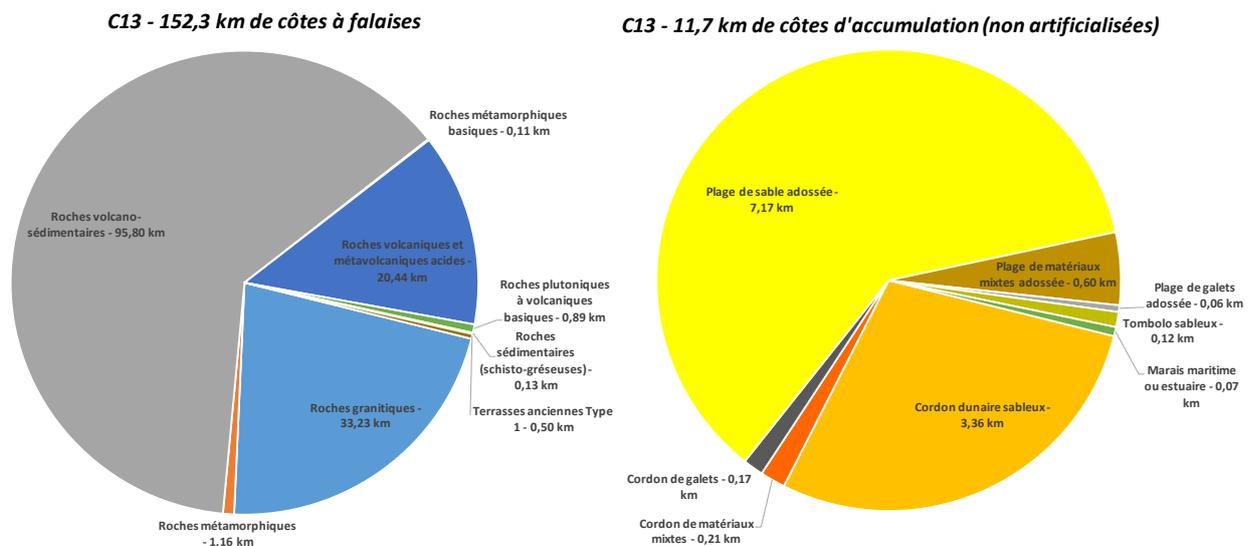


Illustration 119 – Répartition de la géomorphologie du trait de côte pour le compartiment C13 (côtes à falaises à gauche, côtes d'accumulation à droite, hors côtes artificialisées)

9.1.2. Géomorphologie simplifiée du trait de côte

La géomorphologie simplifiée du trait de côte du compartiment C13 est représentée à l'illustration 121.

Comme présenté à l'illustration 126, la configuration des îles (et notamment Belle-Ile) conduit à identifier les côtes du compartiment C13 comme les moins artificialisées du département (5 % seulement, correspondant essentiellement aux différents ports des îles). Les côtes naturelles des îles sont très largement dominées par des falaises, puisque les côtes à falaises représentent

88 % du linéaire côtier (dont 52 % ont été jugés en érosion, notamment du fait de leur exposition aux fortes houles du large) contre 7 % seulement du linéaire côtier classés en côtes d'accumulation (dont 3 % ont été jugées en érosion lors des visites). Outre quelques plages de Belle-Ile, ces côtes d'accumulation correspondent essentiellement au massif dunaire au Sud-Ouest de Houat et aux plages d'Hoëdic.

Compartiment C13

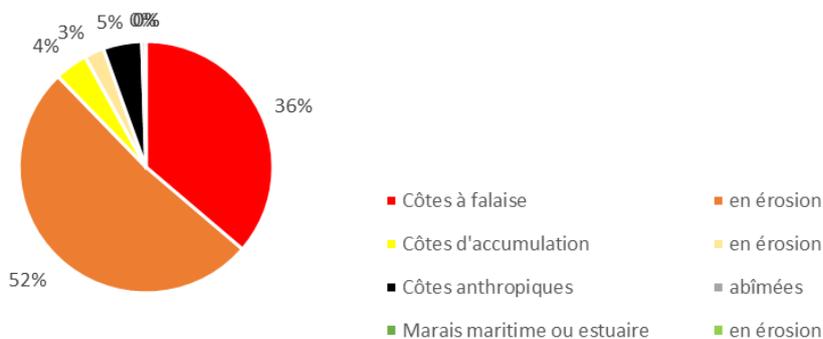


Illustration 120 – Répartition des côtes du compartiment C13 selon leur géomorphologie

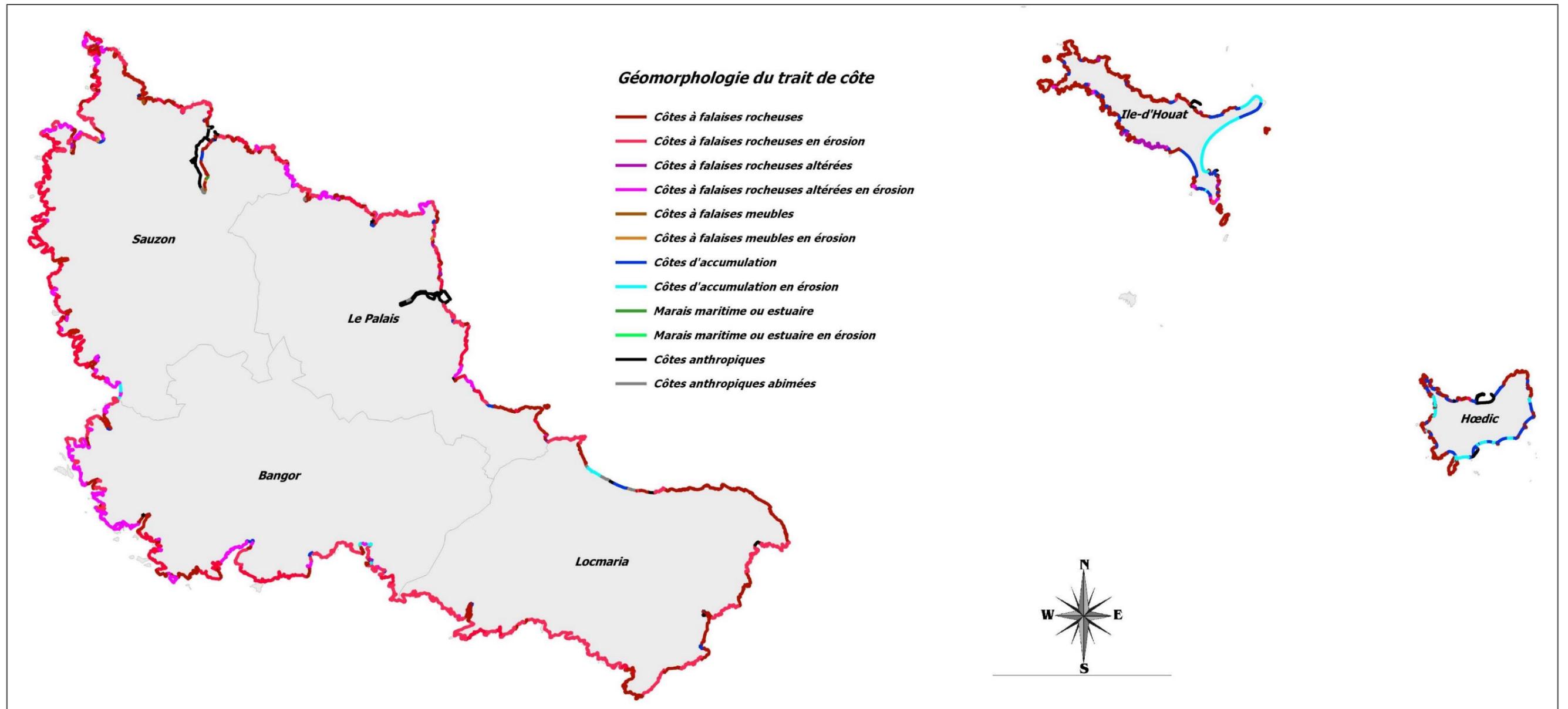


Illustration 121 – Géomorphologie simplifiée du compartiment C13

9.1.3. Analyses complémentaires sur l'érosion des côtes naturelles

Prédisposition à l'érosion des côtes à falaises

La prédisposition à l'érosion des côtes à falaises découle directement de la géomorphologie illustrée à l'illustration 70 et commentée au paragraphe 9.1.1, via les résultats obtenus au paragraphe 5.7.1.

Sur le compartiment C13 (Illustration 123 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), il en résulte une prédisposition globalement faible (roches volcano-sédimentaires de Belle-Ile et roches granitiques d'Houat et Hoëdic), voire faible à moyenne sur Belle-Ile dans les secteurs de roches volcaniques et métavolcaniques acides, ou encore très localement moyenne dans certaines anses de Belle-Ile (roches plutoniques à volcaniques acides).

Cinématique des côtes d'accumulation

Comme déjà évoqué, le compartiment C13 comporte peu de côtes d'accumulation (17,7 km étudiés seulement), sur lesquelles 53 % ont pu être caractérisés en termes de cinématique. Les résultats obtenus montrent une répartition assez équilibrée de la cinématique des côtes d'accumulation, avec 21 % de linéaire stable et 16 % apparaissant respectivement comme en érosion ou en accrétion (Illustration 122).

Dynamique des Côtes d'accumulation du C13

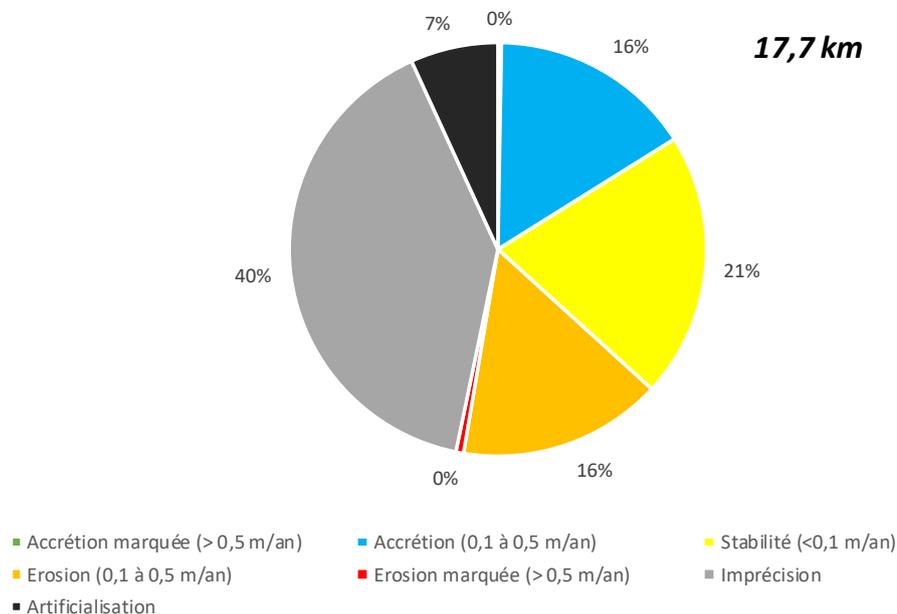


Illustration 122 – Répartition des côtes d'accumulation du compartiment C13 selon leur cinématique

Si la répartition des zones ayant une cinématique sur Belle-Ile s'avère assez diffuse, on peut noter que les secteurs marquant de nets reculs correspondent essentiellement aux plages au Sud de l'île d'Hoëdic et à la pointe d'En Tal à Houat. En contrepartie, à Houat, le massif dunaire plus au Sud, à Tréac'h er Gourèd, montre plutôt des signes d'accrétion, de même que les plages au Nord-Est d'Hoëdic (Illustration 124).

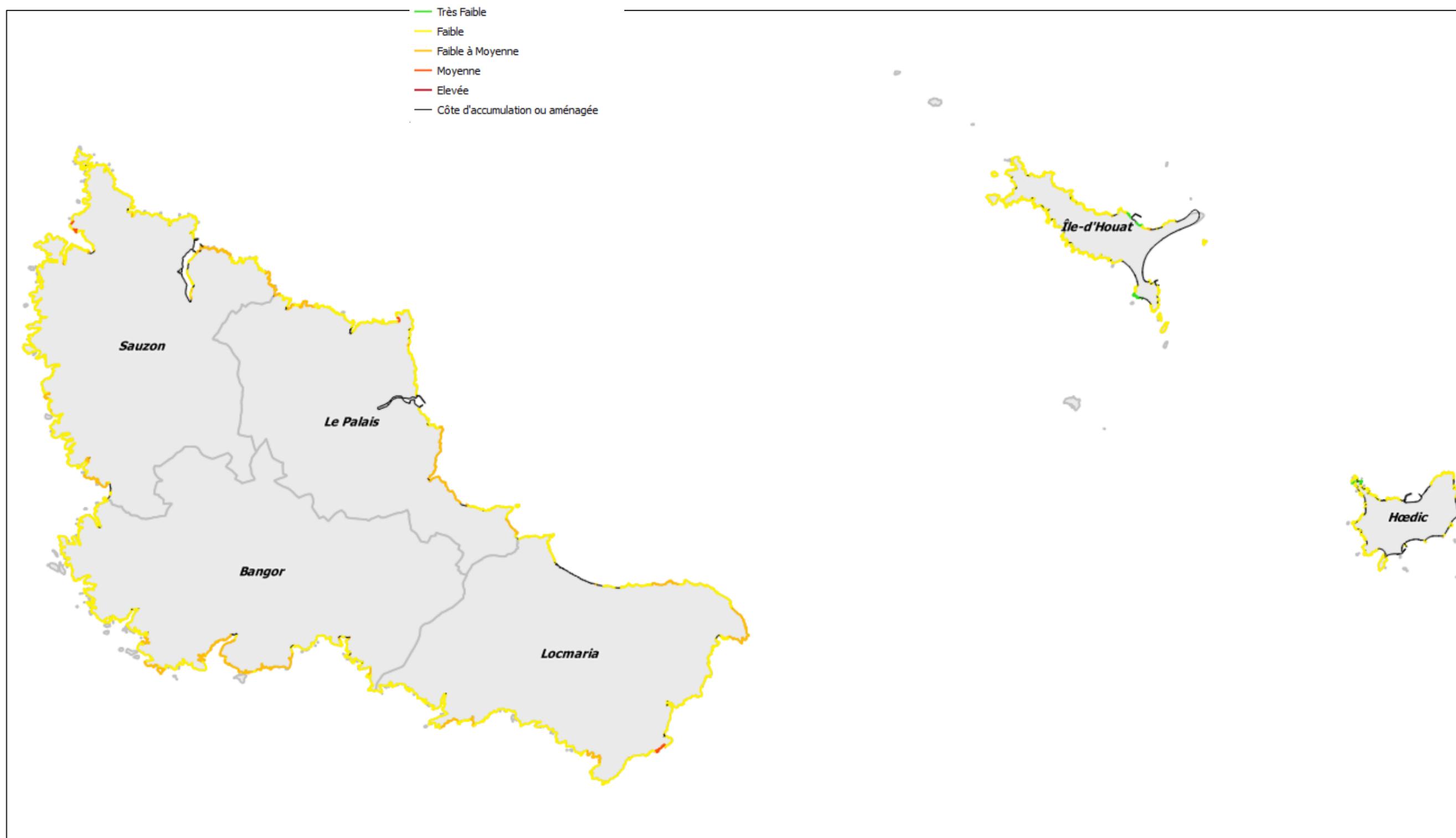


Illustration 123 – Prédiction à l'érosion des côtes à falaises du compartiment C13

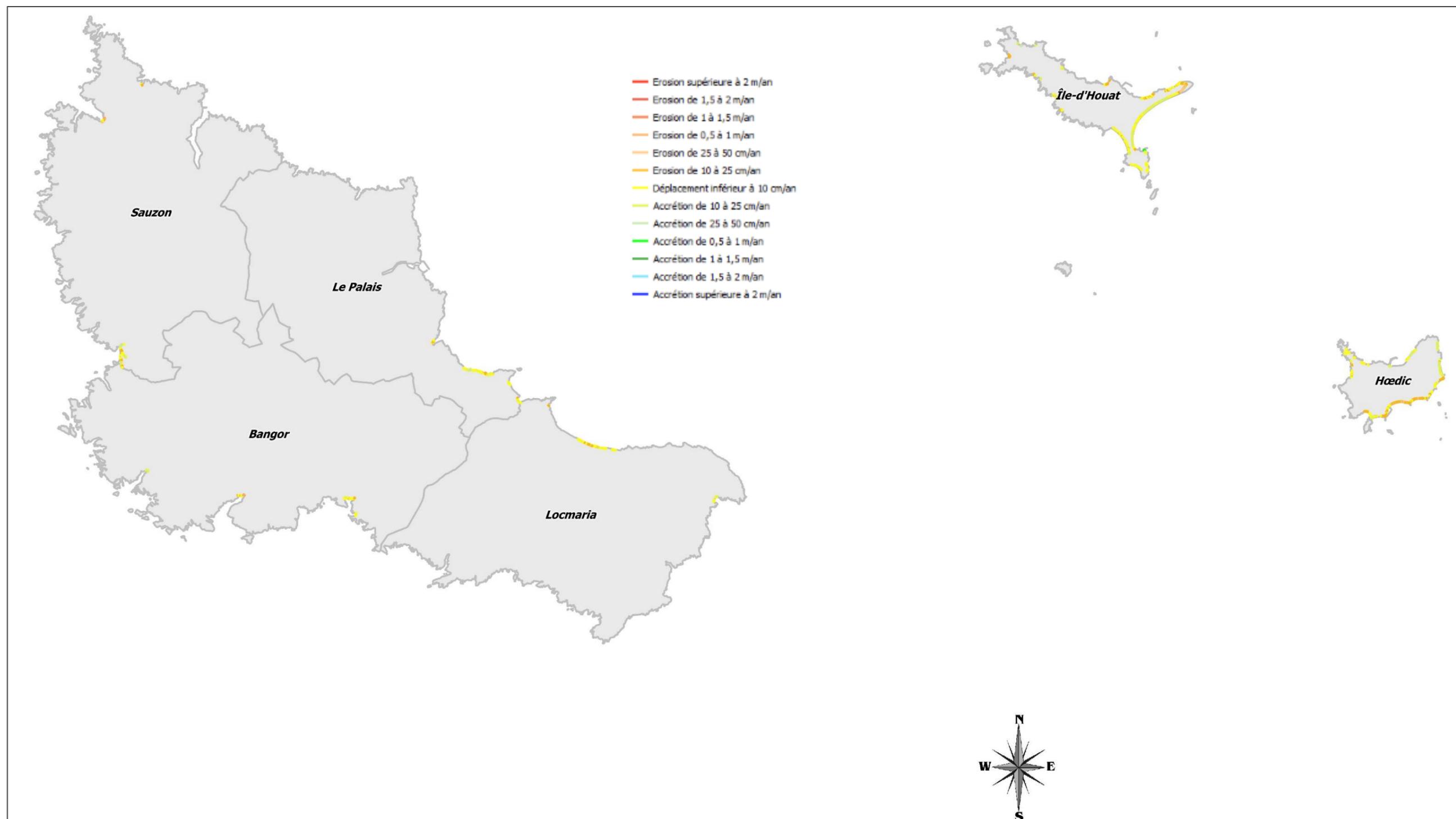


Illustration 124 – Cinématique des côtes d'accumulation du compartiment C13

9.2. EVENEMENTS TEMPETUEUX SUR LE COMPARTIMENT C13

106 points d'impacts directs ont été recensés sur le compartiment C13, correspondant à 39 événements de tempête bien datés (Illustration 125) et 11 événements mal datés (au mois ou à l'année).

La répartition des points d'impacts directs est présentée sommairement aux illustrations 126 et 127, mais il convient de se référer au SIG et/ou aux fiches tempêtes pour consulter plus d'informations sur la nature des impacts.

L'intégralité des communes du compartiment (soit 6 communes seulement) ont subi des impacts, mais la commune du Palais à Belle-Ile se distingue nettement par le nombre d'impacts recensés, en raison de dommages répétés aux ouvrages portuaires et de submersions récurrentes des quais du port.

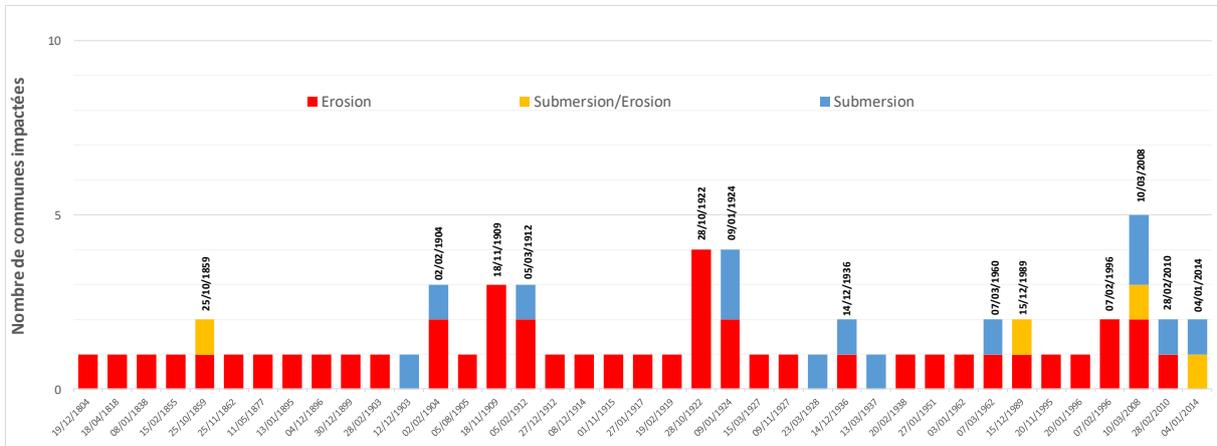


Illustration 125 - Répartition temporelle des tempêtes ayant causé des impacts directs sur le compartiment C13

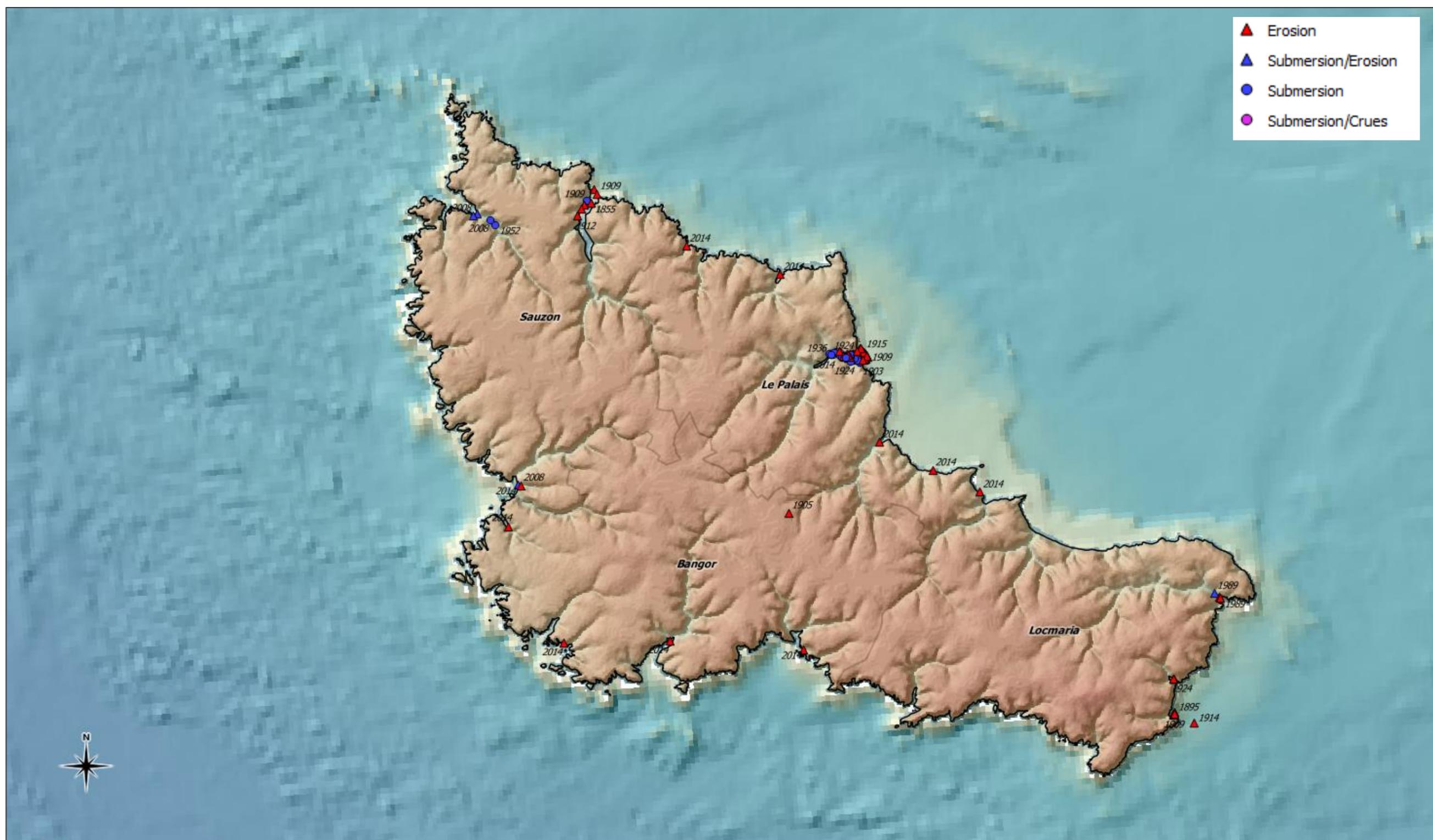


Illustration 126 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C13 (partie Ouest)



Illustration 127 – Aperçu des dommages de tempêtes recensés (dommages directs uniquement) sur le compartiment C13 (partie Est)

10. La plateforme NEMESIS-BZH

Toujours dans l'optique de disposer d'une vision régionale des risques côtiers en Bretagne, la DREAL Bretagne souhaitait disposer d'un outil régional permettant une première appréhension, simple et pédagogique, des conséquences sur les risques côtiers de l'élévation du niveau de la mer sous l'effet du changement climatique. En effet, sous l'effet de la montée du niveau de la mer du fait du changement climatique, les risques côtiers actuels pourraient être amplifiés selon les secteurs : les submersions des zones basses devraient devenir plus sévères et plus fréquentes, et si les conséquences vis-à-vis de l'érosion sont plus délicates à appréhender, les phénomènes érosifs et les défaillances d'ouvrages de protection (naturels ou artificiels) pourraient s'ils s'intensifient également s'accompagner également de submersions plus ou moins pérennes des zones basses.

Le BRGM a donc adapté un outil initialement développé en interne pour la réalisation de calculs à la volée (NEMESIS : Tellez-Arenas et al., 2018) sous forme d'une plateforme web dédiée. Cette plateforme, accessible sur dreal-bretagne-cc.brgm.fr/mapClient/, reste réservée à l'usage des services de l'Etat en Bretagne et à certains partenaires identifiés : l'accès en est donc sécurisé par un système d'identification.

Cette adaptation régionale s'appuie sur une analyse pré-calculée de la topographie pour identifier, à très haute résolution, les zones qui pourraient être soumises à la submersion marine sous l'effet de l'élévation du niveau de la mer.

Cette approche s'avère donc complémentaire des autres données produites dans l'atlas, qui correspondent à des données factuelles observées (nature du trait de côte, érosion et prédisposition à l'érosion, érosion sur le long terme, impacts connus de tempêtes...): cette cartographie interactive des zones potentiellement submergée permet, selon les hypothèses retenues, d'identifier les zones déjà exposées aux submersions marines et celles qui pourraient le devenir avec la montée du niveau de la mer.

10.1. PRINCIPE DE L'ANALYSE

L'outil NEMESIS-BZH permet de visualiser l'identification pré-calculée des zones exposées à la submersion marine pour un niveau marin donné, et ce pour l'ensemble de la région Bretagne.

10.1.1. Niveaux marins considérés

Deux modes de calcul sont disponibles :

Par rapport à la plus haute mer astronomique (PHMA) :

Les calculs ont été réalisés en considérant par défaut la plus haute marée astronomique (PHMA, pleine mer de coefficient 120), elle-même déterminée par une interpolation entre les ports où les caractéristiques de la marée sont connues (Références Altimétriques Maritimes du SHOM, édition 2016).

A ce niveau de marée peut alors être ajouté par l'utilisateur une élévation du niveau de la mer sous l'effet du changement climatique (pouvant aller jusqu'à 10 m), ainsi qu'une valeur de surcote (pouvant aller jusqu'à 2 m). Il convient de noter qu'à grande échelle, la valeur de surcote choisie

par l'utilisateur peut ne pas avoir de réalité physique (effets locaux pouvant générer une importante hétérogénéité spatiale de la surcote dans la réalité).

Par rapport au niveau NGF :

En complément, l'utilisateur peut également choisir de travailler directement en niveau NGF (option réglable dans la liste des couches) : il choisit alors directement l'altitude NGF à laquelle il souhaite positionner le plan d'eau, et peut alors éventuellement y cumuler une surcote, comme pour le mode précédent.

10.1.2. Topographie considérée

La topographie utilisée par NEMESIS-BZH correspond aux données à très haute résolution acquises par LiDAR (laser aéroporté) sur les zones basses et côtières (RGE-ALTI@IGN). Ces données, qui correspondent à la partie terrestre du programme LITTO3D (réalisé conjointement par le SHOM et l'IGN) n'intègrent donc pas la bathymétrie, qui n'est à ce jour pas disponible pour l'ensemble de la Bretagne. Ceci n'a cependant pas de conséquences car NEMESIS-BZH n'effectue pas de simulations hydrodynamiques.

La réalisation de simulations hydrodynamiques, telles qu'elles sont réalisées par exemple pour la réalisation de PPRL, pour des études de caractérisation de l'aléa Submersion marine ou pour l'étude de la propagation des vagues, nécessiterait par contre la prise en compte de la bathymétrie et des effets hydrauliques induits.

10.1.3. Principe du calcul

A partir du niveau marin défini par l'utilisateur (pleine-mer de coefficient 120 + Elévation du niveau de la mer + Surcote, voire directement la cote NGF si ce mode de fonctionnement est choisi), NEMESIS-BZH effectue une simple projection statique du niveau marin sur la topographie. La méthode est donc similaire à celle utilisée pour établir les cartes informatives basées sur la méthode de superposition topographie/niveau marin de référence dans le cadre des PPR Submersion marine.

Dans l'analyse réalisée par NEMESIS-BZH, les protections côtières (naturelles et artificielles) sont considérées comme transparentes à l'écoulement : ces zones, situées sous le niveau marin considéré, ne peuvent en effet pas être considérées comme à l'abri des submersions marines, suivant les processus considérés (franchissements par paquets de mer, défaillance des protections...).

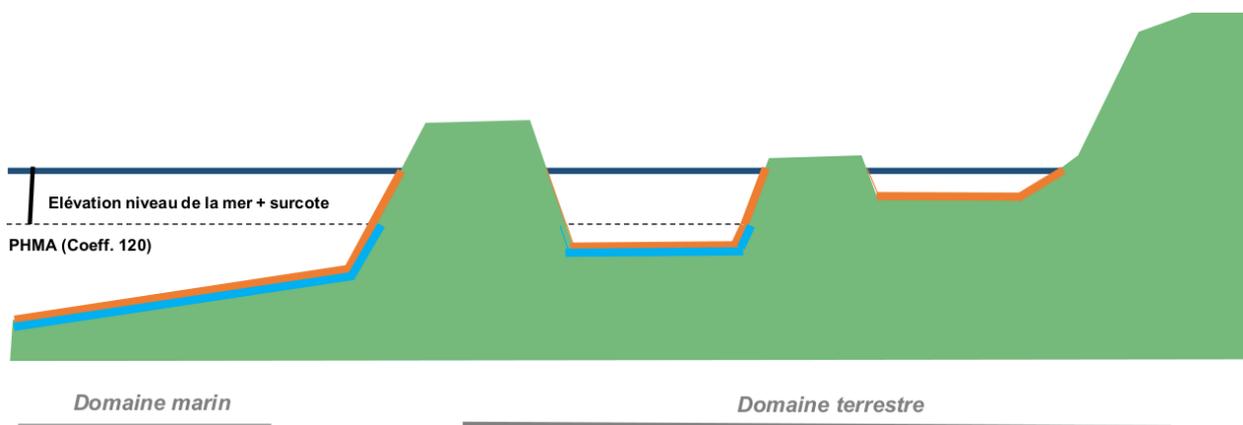


Illustration 128 - Aperçu sur un profil de la cartographie « statique » réalisée par NEMESIS-BZH (surfaces en bleu = couche « Zones sous PHMA », situées sous le niveau des plus hautes-mers astronomiques ; surfaces en orange = couche « Carte d'inondation », situées sous le niveau marin considéré

Les calculs et la visualisation sont disponibles à une résolution de 25 m sur de grandes emprises (échelles inférieures à 1/20 000^{ème}) et à une résolution de 1 m en zoomant (échelles entre 1/20 000^{ème} et 1/1 000^{ème}).

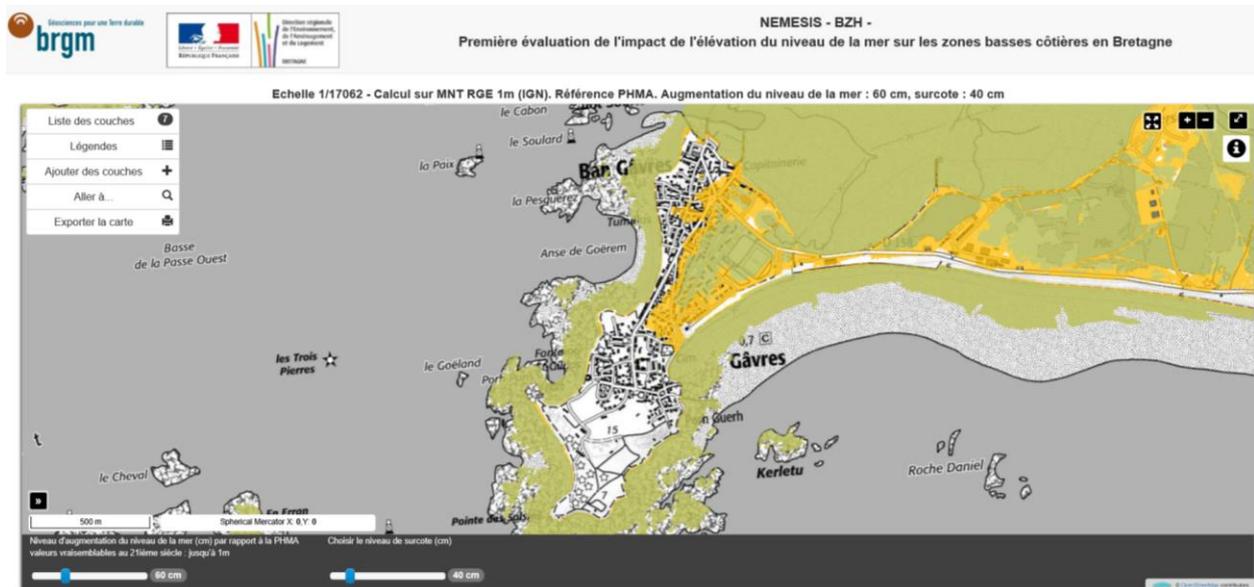


Illustration 129 – Aperçu de la cartographie offerte par le portail NEMESIS-BZH sur Gâvres (56) pour un niveau marin situé 1 m au dessus du niveau de la PHMA (60 cm liés à l'élévation du niveau de la mer et 40 cm de surcote) ; les zones potentiellement inondées sont en orange, tandis que les zones vertes (en réalité bleu et orange mélangés par transparence) sont déjà situées sous le niveau de la PHMA.

10.2. LIMITES DE L'APPROCHE

10.2.1. Limites liées à la méthode

Plusieurs limites liées à cette approche doivent être gardées en mémoire pour toute utilisation de ces données :

- Projection « statique » du niveau marin sur la topographie sans considérations sur la dynamique des phénomènes :
 - o Dans la réalité, le niveau marin suit une certaine chronologie, imposée essentiellement par la marée, mais aussi par la surcote.
 - o La durée du débordement est donc limitée dans le temps, et le volume d'eau susceptible de se déverser à terre n'est donc pas infini ;
 - o Ceci peut conduire à une surestimation significative des zones potentiellement submersibles (d'autant plus importante que les zones basses sont étendues) ;
 - o La prise en compte de la dynamique des phénomènes et des processus nécessiterait une modélisation dynamique de la submersion marine qui ne peut à l'heure actuelle être réalisée à l'échelle de la région.
- Pas de prise en compte des franchissements par paquets de mer :
 - o La prise en compte des franchissements nécessite d'une part la caractérisation des vagues au large en relation avec les niveaux d'eau considérés, et d'autre part

- l'utilisation soit de modèles numériques complexes soit de formules empiriques couplées par ailleurs à un modèle hydrodynamique ;
- Une telle approche ne peut à l'heure actuelle être mise en œuvre de manière automatique à l'échelle de la région.
- Pas de prise en compte des rivières :
 - Les débits des rivières peuvent être perturbés par une élévation du niveau de la mer au niveau de l'estuaire, ce qui peut conduire à des débordements de la rivière dans l'estuaire, voire en amont.
 - La prise en compte de ces phénomènes nécessiterait un certain nombre d'hypothèses sur les débits amont des rivières, la connaissance de leurs bathymétries et la modélisation dynamique de l'interaction rivière-niveau marin, ce qui ne peut à l'heure actuelle être réalisé à l'échelle de la région.

10.2.2. Limites liées aux données

Les données topographiques utilisées par NEMESIS-BZH proviennent du RGE-ALTI (©IGN) et n'ont pas subi de traitements spécifiques, ce qui peut conduire à un certain nombre de limites :

- Ouvrages de protection lors d'une dégradation de l'échelle :
 - Lors de la visualisation des cartes sur de grandes emprises (échelles inférieures à 1/20 000^{ème}), NEMESIS-BZH utilise un MNT dégradé à une résolution de 25 m ; il est alors possible que certaines protections (naturelles ou artificielles) de largeur limitée n'apparaissent pas ou de manière dégradée sur les cartes, du fait de la résolution ;
 - Un contrôle à un zoom plus fin permet alors de mieux comprendre la configuration du secteur et la présence éventuelle d'une protection ;
 - Le fait que NEMESIS-BZH considère les ouvrages comme transparents limite toutefois les conséquences de cette limite.
- Les connexions hydrauliques :
 - L'expérience montre que la présence de connexions hydrauliques (par exemple réseau d'eaux pluviales, buses sous des remblais routiers ou ferroviaires...) peut conditionner significativement la répartition de l'inondation lors d'une submersion marine, notamment dans les zones de marais aménagés ;
 - La présence éventuelle de connexions hydrauliques qui pourraient relier le domaine marin à une zone basse, ou deux zones basses entre elles, ne peut être détectée sur la seule base de la topographie par NEMESIS-BZH ;
 - Le fait que NEMESIS-BZH considère les ouvrages et protections comme transparents limite toutefois la majeure partie des conséquences de cette limite ;
 - A noter toutefois que les ouvrages d'art franchissant les rivières sont normalement effacés par l'IGN lors de la réalisation des MNT RGE-ALTI©IGN.
- Défauts éventuels dans la topographie :
 - Le MNT du RGE-ALTI©IGN a fait l'objet d'un certain nombre de traitements semi-automatiques par l'IGN pour aboutir à un produit fini ; ainsi, par exemple, les bâtiments et la végétation ont été effacés, ou encore les surfaces en eau (qui ne peuvent être levées par LiDAR topographique) ont été traitées ;
 - Dans certains secteurs, ces traitements aboutissent à représenter une zone par l'interpolation des données disponibles sur ses contours ; si cela est généralement assez représentatif de la réalité (cas des bâtiments par exemple), des artefacts peuvent subsister localement (par exemple le MNT dans une rivière n'est pas représentatif de sa bathymétrie mais de ses rives ; idem dans la Petite Mer de Gâvres), se traduisant par des formes géométriques sans réalité physique ;

- Les zones problématiques correspondant généralement à des zones très basses et déjà en eau, l'impact devrait rester limité (voire invisible) dans NEMESIS-BZH, sauf en remontant en amont des vallées et pour quelques cas limites.

10.3. ENVIRONNEMENT DE L'OUTIL

En complément de l'outil cartographique à proprement parler, la plateforme propose un certain nombre d'éléments et de possibilités complémentaires :

- Des éléments cartographiques complémentaires sont proposés (trait de côte HISTOLITT du SHOM et données simplifiées issues de l'atlas de la géomorphologie du trait de côte) ;
- Un service OGC WMS permettant soit d'afficher des cartes extérieures sur la plateforme, soit d'exporter les cartes disponibles (submersion, données de l'atlas) sous d'autres supports ;
- Des onglets explicatifs :
 - Un onglet « NEMESIS-BZH » décrivant le principe de l'outil et les limites de l'analyse ;
 - Un onglet « Submersion marine » rappelant les différents paramètres physiques à l'origine des submersions et les différents processus des submersions marines ;
 - Un onglet « Changement climatique » fournissant quelques éléments généraux sur le changement climatique et ses conséquences en termes de risques côtiers ;
 - Un onglet « Données », proposant une brève description des données de l'atlas disponibles sur la plateforme ;
 - Un onglet « Aide » précisant l'utilisation des différentes fonctions et les adresses des services OGC WMS.

11. Synthèse et conclusions

La méthodologie définie par Schroëtter et Blaise (2015) pour les départements de l'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère a donc été appliquée au département du Morbihan :

- Segmentation du littoral morbihannais en quatre compartiments ;
- Caractérisation de la géomorphologie du trait de côte, à une échelle du 1/15 000 et en utilisant comme support le trait de côte Histolitt du SHOM :
 - o Type de côtes (Côtes à falaises, Côtes d'accumulation, Côtes anthropiques) ;
 - o Nature du trait de côte (géologie pour les côtes à falaises, typologie adaptée pour les côtes d'accumulation) ;
 - o Qualification du caractère « en érosion » lors des visites de terrain, et du caractère « altéré » pour les côtes rocheuses ;
 - o Caractérisation de l'avant trait de côte (nature de l'estran) et de l'arrière trait de côte (identification des zones basses et des zones meubles) ;
- Qualification de la prédisposition à l'érosion des côtes à falaises par croisement de différents critères (géologie, érosion, altération, mouvements de terrain, cavités) ;
- Caractérisation de la dynamique des côtes d'accumulation sur le long terme, par analyse diachronique semi-séculaire ;
- Extension de la base de données des impacts de tempêtes au département du Morbihan, et actualisation de cette base sur toute la Bretagne.

Les résultats obtenus montrent que le trait de côte du Morbihan est **majoritairement représenté par des côtes à falaises** (47,8 %, correspondant essentiellement à des roches granitiques, métamorphiques et volcano-sédimentaires), les côtes d'accumulation ne représentant que 23 % du littoral départemental (essentiellement des cordons dunaires sableux, notamment de Gâvres à Quiberon, et des marais maritimes, notamment à l'Est du département). Comparativement aux trois autres départements bretons, **les côtes anthropiques représentent un linéaire important** (29,1 %).

Les côtes à falaises du département ont été reconnues comme altérées sur près de 16 % de leur linéaire, et en érosion sur environ 35,5 %. La prédisposition des côtes à falaises à l'érosion a été qualifiée par le croisement de différents critères (géologie, érosion, altération, mouvements de terrain, cavités). Le résultat indique une prédisposition très faible sur près de 97,5 km, faible sur près de 246,6 km, faible à moyenne sur plus de 63,8 km, et enfin moyenne et élevée sur 0,89 km chacune.

En ce qui concerne les côtes d'accumulation, seuls 7,4 % ont été reconnus comme étant en érosion. Cependant, l'analyse diachronique issue de la digitalisation de 297 plages en 1952 et en 2010 montre qu'à plus long terme **18 % des côtes d'accumulation sont stables, tandis que 21 % ont une tendance à l'accrétion et 13 % à l'érosion**, les résultats sur le reste des côtes d'accumulation n'étant pas significatifs du fait de l'imprécision de la méthode ou de l'artificialisation.

La mise à jour de la base de données des impacts de tempêtes sur toute la Bretagne a permis d'atteindre les 6012 points d'impacts recensés, dont plus de 75 % correspondent à des impacts directs (érosion et dommages aux ouvrages, submersions...), en intégrant notamment 1182 points issus de l'inventaire de Le Cornec *et al.* (2012), 731 points correspondant à des impacts récents sur les 4 départements et de nombreux ajouts et corrections sur les 4 départements. L'analyse des résultats a permis d'identifier **546 événements de tempêtes** dont l'année est comprise entre 1081 et 2019 (d'autres impacts n'ayant pu être rattachés à des dates

précises). Parmi les tempêtes les plus dommageables, on peut retenir les dates du 01/01/1877, du 04/12/1896, du 02/02/1904, du 05/03/1912, du 09/01/1924, du 15/12/1989, du 19/02/1996, du 10/03/2008, du 28/02/2010, du 04/01/2014 et du 02/02/2014. La répartition géographique et la fréquence des impacts montre que les communes de Bretagne Sud (Morbihan et Finistère Sud) sont les plus couramment concernées, ce qui peut s'expliquer d'une part par leur exposition particulière aux tempêtes venant de l'Atlantique et du Golfe de Gascogne, et d'autre part par une configuration particulière liée à la géologie qui les rend plus vulnérables aux tempêtes (côtes basses et tendance à la subsidence de certains secteurs).

Dans le détail, on peut retenir que :

- Le **compartiment C10** (de Guidel à la pointe de Quiberon, chapitre 6) est caractérisé par une **prédominance des côtes à falaises** (roches granitiques et métamorphiques essentiellement) sur les côtes d'accumulation (principalement le cordon dunaire de Gâvres à Quiberon) ; les **côtes anthropiques sont assez importantes** (34 % du linéaire). L'analyse de la dynamique sur le long terme des côtes d'accumulation montre plutôt une **tendance à l'accrétion**, bien qu'il soit nécessaire de distinguer cette tendance selon les sites (par exemple fort recul sur la plage de la Falaise à Guidel, forte accrétion autour de la barre d'Etel, caractère artificiel de la plage des kaolins à Ploemeur...). Du point de vue des impacts de tempêtes, **la commune de Gâvres se distingue nettement par le nombre d'impacts recensés** (ce qui s'explique d'une part par sa situation à l'extrémité d'un tombolo sableux, mais aussi par les nombreuses archives de la Marine disponibles), suivie par **Larmor-Plage** (régulièrement impactée notamment par des phénomènes d'érosion et/ou de submersion au niveau de la dune artificielle de Kerguelen et par des dommages à la digue de la Nourriguel) et **Lorient** (régulièrement inondée aux alentours du port et plus en amont sur le Scorff).
- Le **compartiment C11** (de la pointe de Quiberon à Pénestin, chapitre 7) se caractérise par une **large prédominance des côtes d'accumulation** sur les côtes à falaises (roches métamorphiques et granitiques essentiellement), laquelle s'explique surtout par la présence de nombreux marais maritimes à l'Est du département et par la présence de nombreux petits cordons dunaires. Cette prédominance des côtes d'accumulation et des zones basses se traduit par un **taux d'artificialisation particulièrement important** (37 %). L'analyse de la dynamique sur le long terme des côtes d'accumulation montre une **situation assez équilibrée**, avec 18 % de linéaire assez stable et une même proportion de 16 % jugée en érosion ou en accrétion. Du point de vue des impacts de tempêtes, **la commune de Sarzeau se détache nettement** des autres en raison des très nombreux phénomènes d'érosion et de submersion recensés, notamment sur les secteurs de Suscinio, Penvins et Banastère. Suivent ensuite les communes de **Damgan, Carnac et le Tour-du-Parc**, toutes exposées à des phénomènes de submersion marine en cas de dommages aux protections naturelles et anthropiques.
- Le **compartiment C12** (Golfe du Morbihan, chapitre 8) se caractérise par une **large prédominance des côtes à falaises** (roches granitiques et métamorphiques essentiellement) sur les côtes d'accumulation (lesquelles sont surtout représentées par des marais maritimes, mais aussi par des plages de sable adossées et des cordons de matériaux mixtes). **L'artificialisation du trait de côte reste importante** dans le Golfe (34 %). L'analyse de la dynamique sur le long terme des côtes d'accumulation montre que ces dernières sont **majoritairement stables** (28 %), les zones en érosion ou en accrétion ne représentant que 5 % chacune, ce qui peut s'expliquer par la situation relativement fermée et abritée du Golfe. Du point de vue des impacts de tempêtes, **les communes de Vannes et d'Auray se distinguent très nettement** du fait des épisodes récurrents de submersion, souvent en conjonction avec une crue, qui conduisent à des inondations répétées. Suivent ensuite les communes de **Séné, l'île d'Arz et Sarzeau**, toutes

exposées à des phénomènes de submersion marine du fait de la présence de zones basses.

- Le **compartiment C13** (Belle-Ile-en-Mer, Houat, Hoëdic, chapitre 9) se distingue quant à lui par une **très large prédominance des côtes à falaises** (roches volcano-sédimentaires souvent associées à des roches volcaniques et métavolcaniques acides à Belle-Ile, et roches granitiques à Houat et Hoëdic) sur les côtes d'accumulation (représentées principalement par des plages de sable adossées, surtout à Hoëdic et de manière plus diffuse sur Houat et Belle-Ile, et par des cordons dunaires sableux, essentiellement à Houat). L'importance des côtes à falaises explique la **très faible artificialisation du trait de côte** (5 % seulement, correspondant essentiellement aux différents ports des îles). L'analyse de la dynamique sur le long terme des côtes d'accumulation montre une **répartition assez équilibrée** avec 21 % jugés stables et respectivement 16 % jugés en érosion ou en accrétion. Si cette cinématique comme assez diffuse à Belle-Ile, on peut noter qu'à Houat et Hoëdic les reculs les plus nets apparaissent dans les zones les plus exposées (plages du Sud d'Hoëdic, pointe d'En Tal à Houat), tandis que les avancées les plus marquées se produisent dans les zones plus abritées des agents météo-marins (Sud du massif dunaire à Houat et plages Nord-Est d'Hoëdic). Du point de vue des impacts de tempêtes, **la commune du Palais à Belle-Ile se distingue nettement** par le nombre d'impacts recensés, en raison de dommages répétés aux ouvrages portuaires et de submersions récurrentes des quais du port.

Cette étude, réalisée sur le Morbihan suivant la même méthodologie que celle utilisée sur les autres départements, a ainsi permis de couvrir ainsi l'ensemble de la région Bretagne de manière homogène. Le résultat obtenu correspond à un état des lieux de référence du trait de côte breton. A l'échelle de la région (soit près de 2 930 km de trait de côte caractérisés), les côtes à falaises représentent 55,6 % du littoral (soit 1 629 km), les côtes artificielles représentent 26,8 % (soit 784 km) et les côtes d'accumulation ne représentent que 17,6 % (soit 516 km) :

- Concernant les côtes à falaises, les roches granitiques dominant largement (609,9 km), devant les roches métamorphiques (358,6 km), les falaises meubles (constituées de dépôts de pente et de terrasses anciennes, 190,8 km) et les roches volcano-sédimentaires (110,4 km), les autres formations représentant moins de 100 km. Sur les 1 629 km de côtes à falaises reconnus, 315,3 km ont été jugés en érosion et 177,5 km ont été jugés altérés.
- Concernant les côtes d'accumulation, les cordons dunaires sableux (187,7 km) et les marais maritimes ou estuaires (140,79 km) dominant les autres typologies, qui correspondent toutes à des longueurs inférieures à 100 km. On peut par ailleurs noter que les cordons dunaires et les marais maritimes sont surtout rencontrés en Bretagne Sud, du Pays Bigouden au Morbihan, ce qui confirme l'importance des zones basses sur cette façade comparativement à la côte Nord.

Les cartes en annexe présentent une vision globale de cette géomorphologie à l'échelle de la région, avec une symbologie très simplifiée du fait de l'écart entre l'échelle des données et l'échelle de représentation.

12. 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.

13. Bibliographie & webographie

- Baillifard F., Jaboyedoff M. and Sartori M. (2003) – Rockfall hazard mapping along a mountainous road in Switzerland using a GIS-based parameter rating approach. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, pp. 431-438.
- Ballèvre M., Bosse V., Dabard M.-P., Ducassou C., Fourcade S., Paquette J.-L., Peucat J.-J., Pitra P. (2013) - Histoire géologique du Massif armoricain : actualité de la recherche. *Bulletin de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne (SGMB)*, 2012-2013, (D), 10-11, 5-96.
- Battiau-Queney Y., Billet J.-F., Chaverot S., Lanoy-Ratel P. (2003) – Recent shoreline mobility and geomorphologic evolution of macrotidal sandy beaches in the north of France. *Marine Geology*, 194, pp. 31-45.
- Bauer H., Wyns R., Leclercq M., Palvadeau E., Guillocheau F. (2010) – CINERGY : un forage profond dans le bassin de Rennes. *Bull Inf. Geol. Bass. Paris*, 47, pp. 3-6.
- Berthé D., Choukroune P. et Jegouzo P. (1979) - Orthogneiss, mylonite and non-coaxial deformation of granites : the example of the south Armorican shear zone. *J. Struct. Geol.*, 1, pp. 31-42.
- Blaise E. (2017) - Etude des dynamiques du trait de côte de la région Bretagne à différentes échelles spatio-temporelles. Mémoire de thèse de l'Université de Bretagne occidentale - Brest.
- Boak E.H., Turner I.L. (2005) - Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, vol. 2, n°14, p. 688–703.
- Bos P. et Quélenec R.E. (1988) – Etude de l'évolution du littoral nord-ouest du Morbihan entre Guidel et la Trinité sur Mer : Eléments pour une politique de protection côtière. Rapport BRGM 88 SGN 294 BRE. 89 p., 5 tableaux en annexes, 16 planches photographiques hors-texte.
- Bouroullec I. et Lambert M. (2018) - Inventaire départemental des mouvements de terrain du Morbihan, BRGM/RP-67916-FR, 83 p., 48 ill., 3 ann. Dont 1 carte h.t.
- Boutin A. (1995), Le Golfe du Morbihan, entre abri et exposition, Mémoire de Maîtrise, Université de Nantes, 123p.
- Bouysse P. et Horn R. (1968) - Nouvelles données sur la structure du plateau continental sud-armoricain, C.R. Académie des Sciences de Paris, 267, pp.690-693.
- Brown M. et Dallmeyer D. (1996) - Rapid Variscan exhumation and the role of magma in core complex formation: southern Brittany metamorphic belt, France. *Journal of Metamorphic Geology*, Volume14, Issue3, May 1996, pp. 361-379.
- Bulteau T., Nicolae-Lerma A. et Lecacheux S. (2013) - Projet Climats de houle – Phase 2 : Analyse des valeurs extrêmes de vagues le long de la côte Atlantique et en Manche, Rapport BRGM/RP-62730-FR, 49 p., 26 fig., 3 ann.
- Cagnard F. (2009) – Carte géologique harmonisée du département du Morbihan. Rapport BRGM/RP-56656-FR, 297 p., 12 fig., 3 tab., 3 pl. hors-texte.
- Cagnard F., Gapais D., Brun J.-P. (2004) – Late pervasive crustal-scale extension in the South Armorican Hercynian belt (Vendée, France). *J. Struct. Geol.*, 26, pp. 435-449.
- Caroff M. & Cotten J. (2004) - Geochemical evolution of a 10m-thick-intrusive body: the South Breterc'h diabase dyke, Western Armorican Massif, France. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 41 (7), pp. 775-784.

- Caroff V. (1998) - Contribution à l'étude de l'évolution de la bathymétrie dans le golfe du Morbihan : exploitation de données historiques disponibles, MST Aménagement, Université Nantes, 104 p.
- Caroff M. (1995) - Open system crystallization and mixing in two-layer magma chambers. *Lithos* 36 (2): 85-102.
- Charles E., Idier D., Thiébot J., Le Cozannet G., Pedreros R., Arduin F. et Planton S. (2012) – Present wave climate in Bay of Biscay : Spatiotemporal variability and trends from 1958 to 2001. *Journal of Climate*, 25 (6), 2020-2039, doi : 10.1175/JCLI-D-11-00086.1.
- Crowell M., Leatherman S.P., Buckley M.K. (1991) - Historical Shoreline Change Error Analysis & mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, vol. 7, n°3, p. 839–852.
- Crowell M., Douglas B.C., Leatherman S.P. (1997) - On Forecasting Future U.S. Shoreline Positions: a test of algorithms. *Journal of Coastal Research*, vol. 13, n°4, p. 1245–1255.
- Delanoë Y. et Pinot J.-P. (1977) - Littoraux et vallées holocènes submergés en Baie de Concarneau (Bretagne Méridionale), *Bulletin de l'association française pour l'étude du Quaternaire*, pp.27-38.
- DHI (2015) – Atlas départemental des risques littoraux : Phénomènes d'érosion sur le littoral morbihannais – Estimation du taux d'érosion par analyse de photographies historiques et modélisation hydrosédimentaire. Rapport DHI, 02 Mars 2015.
- Dolan R., Hayden B., Heywood J. (1978) - A new photogrammetric method for determining shoreline erosion. *Coastal Engineering*, vol. 2, p. 21–39.
- Dubois A. (2007) - Cartographie morpho-sédimentaire du Golfe du Morbihan (France) : Héritage quaternaire et dynamique sédimentaire actuelle, Mémoire de Master, Université Rennes 1, 25 p.
- Dugué O., Lautridou J.-P., Quesnel F., Poupinet N., Clet M., Camuzard J.P., Coutard S., Bourdillon C., Freslon M., Auffret J.P., Laville E., Gain O. (2005) – Le Cotentin du Mésozoïque au Cénozoïque. *Bull Inf. Geol. Bass. Paris*, 42, pp. 6-68.
- Ferronière G. (1921) - Notes de géologie marine, *Bulletin de la société de Géologie Minière de Bretagne*, volume II, pp.187-211.
- Gapais D., Lagarde J.L., Le Corre C., Audren C., Jégouzo P., Casas Sainz A. et Van Den Driessche J. (1993) - La zone de cisaillement de Quiberon : témoin d'extension de la chaîne varisque en Bretagne méridionale au Carbonifère. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, II (316), 1123-1129.
- George P. et Verger F. (2009) – Dictionnaire de la géographie. Presses Universitaires Françaises, Edition 2009.
- Gicquel J. (2005) - Erosion côtière : impacts des aménagements et de la fréquentation du littoral du Golfe du Morbihan, Mémoire de travail de fin d'études diplôme d'Ingénieur de l'ESGT, Le Mans, 72 p.
- Goldich S.S. (1938) - A Study in Rock Weathering. *Journal of Geology*, 46, pp. 17-58.
- Guilcher A. (1948) - Le relief de la Bretagne méridionale de la baie de Douarnenez à la Vilaine, Poitiers, thèse de doctorat, 682 p.
- Guillocheau F., Brault N., Thomas E., Barbarand J., Bonnet S., Bourquin S., Estéoule-Choux J., Guennoc P., Menier D., Néraudeau D., Proust J.N., Wyns R. (2003) – Histoire géologique du Massif Armoricaïn depuis 140 Ma (Crétacé-Actuel). *Bull Inf. Geol. Bass. Paris*, 40, pp. 13-28.
- Hédou F., Roche A., Trmal C., Moraud S., Deniaud Y. (2018) - Élaboration de l'indicateur national de l'érosion côtière. XV^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, La Rochelle, 29 au 31 mai 2018, Editions Paralia. DOI:10.5150/jngcgc.2018.07.

- Hénaff, A., Bodéré, J.-C., Lageat, Y. (2006) - Erosion côtière et vulnérabilité du trait de côte en Bretagne (EROCOVUL) - 3^e partie : 2003-2004 + Conclusion (Rapport d'activité n°3). UMR6554 LETG Brest-Géomer CNRS (IUEM), 130 p.
- Jegouzo P. (1980) – The South Armorican Shear Zone. *J. Struct. Geol.*, 2, pp. 39-47.
- Jussy M. et Guilcher A. (1962) - Les cordons littoraux entre la Presqu'île de Quiberon et l'Estuaire de la Vilaine, *Cahiers Océanographiques*, 8, pp.543-572.
- Lalleron A. (2010) – Inventaire départemental des cavités souterraines hors mines du Morbihan. Rapport final. BRGM/RP-58925-FR, 110 p., 12 fig., 28 photos, 5 ann., 1 carte hors-texte.
- Landreau B. (2018) - Stratégie de gestion du trait de côte dans le Morbihan. Phase 1 : Caractérisation de la vulnérabilité des territoires littoraux. Rapport CEREMA, affaire C17OI0023.
- Lazure P. et Salomon J.-C. (1991) – Etude par modèles numériques de la circulation marine entre Quiberon et Noirmoutier. Colloque international sur l'environnement des mers épicontinentales, Lille, 20-22 mars 1990. *Oceanologica Acta* (2113-9490) (Gauthier-Villars), 1991, Vol. Vol. Sp. , N. 11 , P. 93-99.
- Le Cornec E., Le Bris F. et Van Lierde M. (2012) – Atlas des risques littoraux sur le département du Morbihan. Phase 1 : Recensement et conséquences des tempêtes et coups de vent majeurs.
- Marcos F., Janin J.-M., Le Saux J.-M. (1996) – Modélisation hydrodynamique du Golfe du Morbihan. EDF (Laboratoire National d'Hydraulique), Conseil Général du Morbihan, 47 p.
- Marçot N., Schuller L., Mathon C. (2014) – Actualisation des connaissances et cartographie de l'aléa instabilités de falaises côtières sur le littoral des Bouches-du-Rhône. Rapport final BRGM/RP-62643-FR, 72 p., 50 ill., 6 ann., 1 DVD, 1 SIG. <http://infoterre.brgm.fr/rapports//RP-62643-FR.pdf>
- Marçot N. et Mathon C. (2004) – Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire en Provence-Alpes-Côte d'Azur - Année 1 : Bilan des connaissances, définition des instabilités et qualification de l'aléa. Rapport BRGM/RP-52829-FR. 70 p., 24 fig., 6 tab., 4 annexes, 1 pl. hors-texte. <http://infoterre.brgm.fr/rapports//RP-52829-FR.pdf>
- Menier D. (2004) - Morphologie et remplissage des vallées fossiles sud-armoricaines : apport de la stratigraphie sismique, Thèse de Doctorat de l'Université de Bretagne Sud - Mémoire Géosciences Rennes, n°110, 202p.
- Menier D., Reynaud J.-Y., Proust J.-N., Guillocheau F., Guennoc P., Bonnet S., Tessier B. et Goubert E. (2006) - Basement control on shaping and infilling of valleys incised at the southern coast of Brittany, France, *Society for Sedimentary Geology*, 85, pp.37-55.
- Menier D., Augris C., et Briend C. (2014) - Les réseaux fluviaux anciens du plateau continental de Bretagne Sud, Editions Quae, 104 p.
- Mestat P. (1993) - Lois de comportement des géomatériaux et modélisation par la méthode des éléments finis. ERLPC Série géotechnique, ISSN 1157-3910, mars 1993, 193 p.
- Météo France (2013) – VIMERS 0 : Etude des tempêtes menaçant le littoral breton. Rapport et fiches tempêtes, Mars 2013.
- Météo France (2014) – VIMERS 1 : Etude des tempêtes menaçant le littoral breton. Rapport synthétique et 7 annexes techniques, Octobre 2014.
- Meur-Férec C. et Morel V. (2004) - L'érosion sur la frange côtière : un exemple de gestion des risques. *Natures Sciences Sociétés* 12, pp. 263-273.
- Moore L.J. (2000) - Shoreline Mapping Techniques. *Journal of Coastal Research*, vol. 16, n°1, p. 111–124.

- Moore L.J., Benumof B.T., Griggs G.B. (1999) - Coastal Erosion Hazards in Santa Cruz and San Diego Counties, California. *Journal of Coastal Research*, Special Issue n°28, p. 121–139.
- Pérez-Alberti A., Pires A., Freitas L., Rodrigues C. and Chaminé H.I. (2011) - GIS Mapping and Shoreline Change Analysis along the Rocky Coast of Galicia (NW Spain): Preliminary Approach. *Institution of Civil Engineers, Book of Abstracts, 7th Conference on Coastal Management, Innovative Coastal Zone Management: Sustainable Engineering for a Dynamic Coast*, Belfast. ICE Publishing, London, UK (pp. 262-263).
- Pian S. (2010) - Analyse multiscalaire et multifactorielle de l'évolution et du comportement géomorphologique des systèmes côtiers sud bretons. Mémoire de thèse de l'Université de Rennes 2 Haute Bretagne.
- Pinot J.-P. (1974) - Le précontinent breton entre Penmarc'h, Belle-île et l'escarpement continental, thèse de Géomorphologie, 256 p.
- Préfecture du Morbihan (2017) – Projet de classement au titre des sites : Les dunes de Plouharnel et d'Erdeven – Rapport de présentation – Janvier 2017.
- Priest G.R. (1999) - Coastal Shoreline Change Study Northern and Central Lincoln County, Oregon. *Journal of Coastal Research*, Special Issue n°28, p.140–157.
- Probert E. (2000) - Dynamique et gestion du littoral à Pénestin, les plages de la Mine d'Or et du Maresclé, Mémoire de Maîtrise, Université de Nantes, 155 p.
- Proust, J.-N., Menier D., Guillocheau F., Guennoc P., Bonnet S., Rouby D., Le Corre C. (2001) - Les vallées fossiles de la baie de la Vilaine : nature et évolution du prisme sédimentaire côtier du Pléistocène armoricain. *Bulletin de la société de Géologie de France*, 172, pp.737-749.
- Renard P. (2019) – Renforcer la gestion du trait de côte en Bretagne. Quelle place pour un réseau de référence du trait de côte ? Rapport de stage de l'Université de Bretagne Sud – DREAL.
- Schroëtter J.-M. avec la collaboration de Bondis C. et Pillois F. (2013) – Compréhension des mouvements de terrain de la commune de Pénestin, Morbihan (56) : Retrait-gonflement des argiles ou érosion littorale. Rapport BRGM/RP-62681-FR, 83 p., 35 fig., 2 ann.
- 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. Prémallion, B. Gouygou, E. Palvadeau 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 p., 861 ill., 19 annexes, 1 CD.
- SHOM-CETMEF (2012) – Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique). Rapport SHOM. 144 p., 2 ann.
- SHOM (2016) – Références altimétriques maritimes - Ports de France métropolitaine et d'outre-mer : Cotes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée. 120 p. Edition 2016.
- Sichler B. et Perrin M. (1993) - New early Jurassic paleopole from France and Jurassic apparent polar wander. *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 115, Issues 1–4, March 1993, pp. 13-27.
- Stéphan P. (2011) - Les flèches de galets de Bretagne : évolution passée, présente et future. *Collection Milieux naturels et Sociétés*. L'Harmattan, 263 p.
- Stéphan P. (2011) - Quelques données nouvelles sur la mobilité récente (1930-2008) et le bilan sédimentaire des flèches de galets de Bretagne. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n°2, p. 205–232.
- Tellez-Arenas A., Quique R., Boulahya F., Le Cozannet G., Paris F., Le Roy S., Dupros F., Robida F. (2018) - Scalable Interactive Platform for Geographic Evaluation of Sea-Level Rise Impact

Combining High-Performance Computing and WebGIS Client. Communicating Climate Change Information for Decision-Making (Springer Climatebook series), pp 163-175, DOI : 10.1007/978-3-319-74669-2_12.

Tessier C. (2006) - Caractérisation et dynamique des turbidités en zone côtière : l'exemple de la région marine Bretagne sud. Thèse d'Océanographie et Paléo-Océanographie, Université de Bordeaux 1, 428 p.

Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L., Ergul A. (2009) - Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 - An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change. Woods Hole, Massachusetts: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008–1278.

Turrillot P. (2010) - Fusion crustale et évolution tardi-orogénique du Domaine Sud Armoricaïn. Mémoire de thèse de l'Université d'Orléans (Tectonique).

Vanney J.-R. (1977) - Géomorphologie de la marge continentale sud-armoricaine, SEDES, Paris, 473 p.

Wildman G. and Hobbs P.R.N. (2005) - Scoping study for coastal instability hazard susceptibility – Filey Bay, Beachy Head and Lyme Bay. British Geological Survey Internal Report, IR/05/018. 26 pp.

Yoni C., Latteux B. et David L. (2001a) – Etude du comportement du littoral départemental – Evaluation des Risques et des Enjeux. Phase 1 : Recensement documentaire. Rapport d'étude.

Yoni C. Latteux et David L. avec la collaboration de Hallégouët B. et Holvoet M. (2001b) – Etude du comportement du littoral départemental – Evaluation des Risques et des Enjeux. Phase 2 : Synthèse bibliographique et annexe cartographique. Rapport d'étude, Novembre 2001.

Yoni C., Latteux B. et David L. avec les conseils de Holvoet M. et la collaboration de Hallégouët B. (2002a) – Etude du comportement du littoral départemental – Evaluation des Risques et des Enjeux. Phase 3 : Diagnostic du dispositif de protection existant et annexe cartographique. Rapport d'étude, Juin 2002.

Yoni C., Latteux B. et David L. avec les conseils de Holvoet M. et la collaboration de Hallégouët B. (2002b) – Etude du comportement du littoral départemental – Evaluation des Risques et des Enjeux. Phase 4 : Proposition d'un programme de suivi et annexe cartographique. Rapport d'étude, Juin 2002.

Indice National d'Erosion du CEREMA : <http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/indicateur-national-de-l-erosion-cotiere-r473.html>

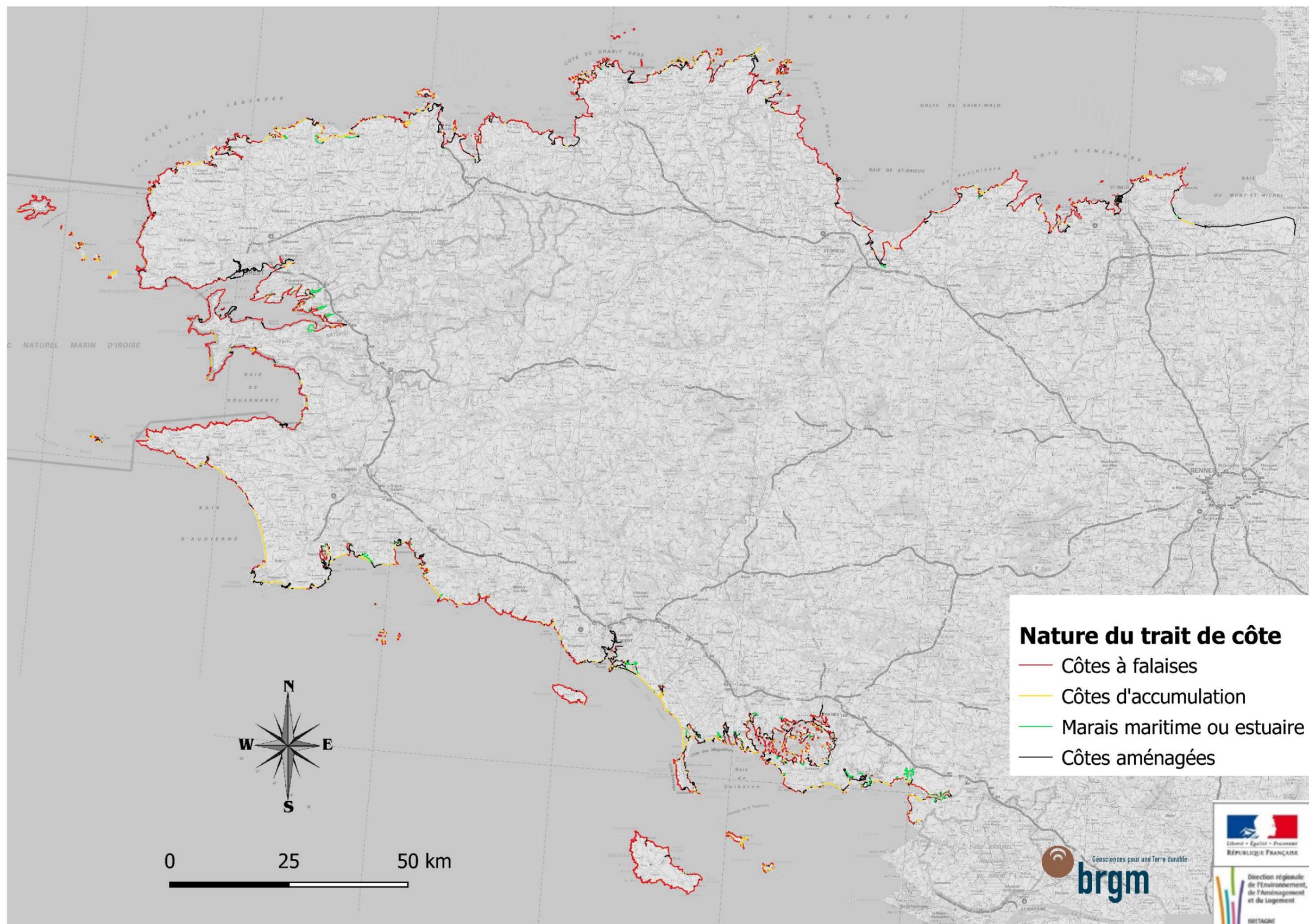
Projet européen EUROSION : <http://www.euroSION.org/>

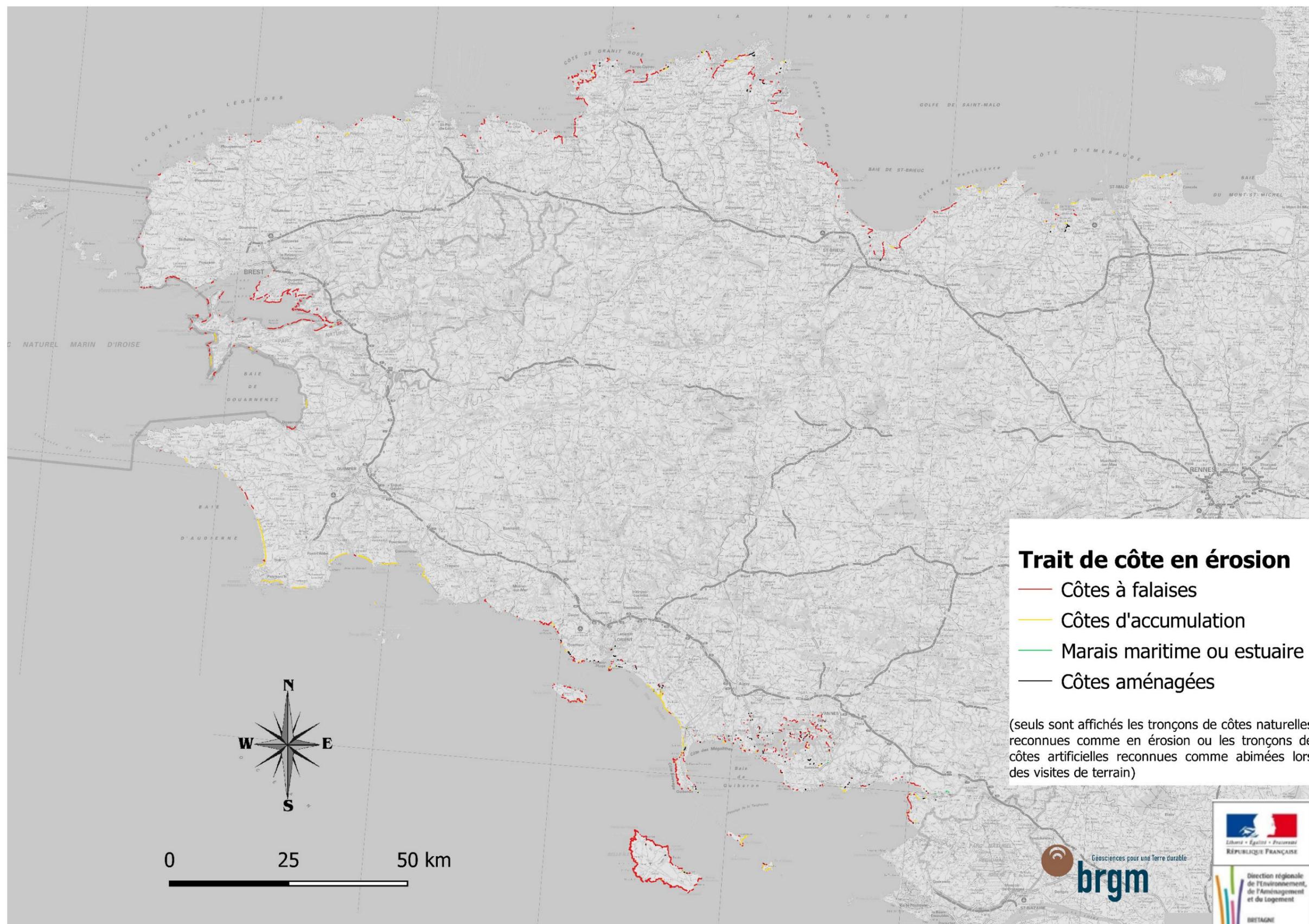
Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) dans le Morbihan : <http://www.morbihan.gouv.fr/Politiques-publiques/Risques-naturels-et-technologiques-majeurs-et-leurs-plans/Reduire-l-exposition-aux-risques/Plan-de-Prevention-des-Risques-Littoraux-PPRL>

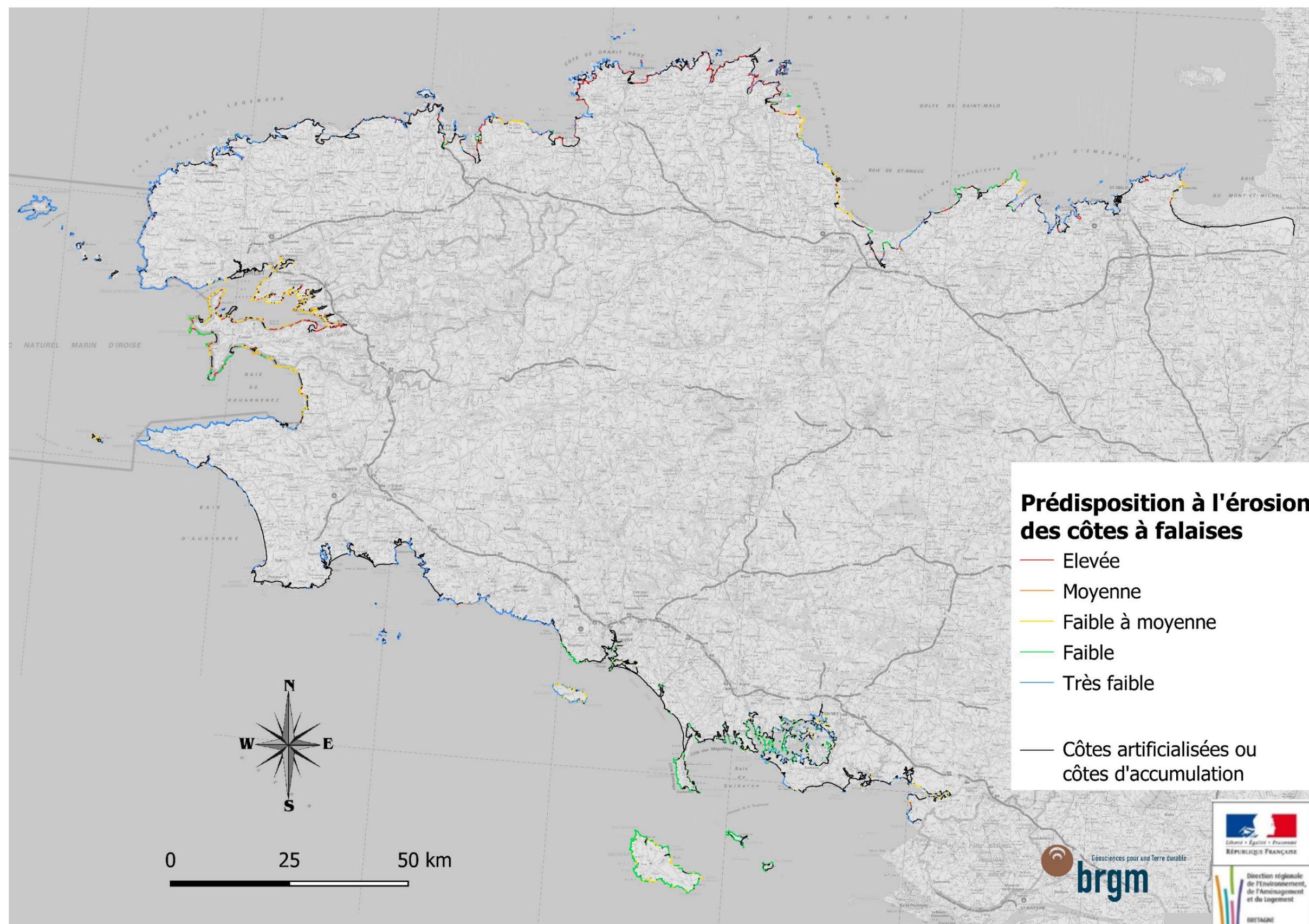
Annexe 1

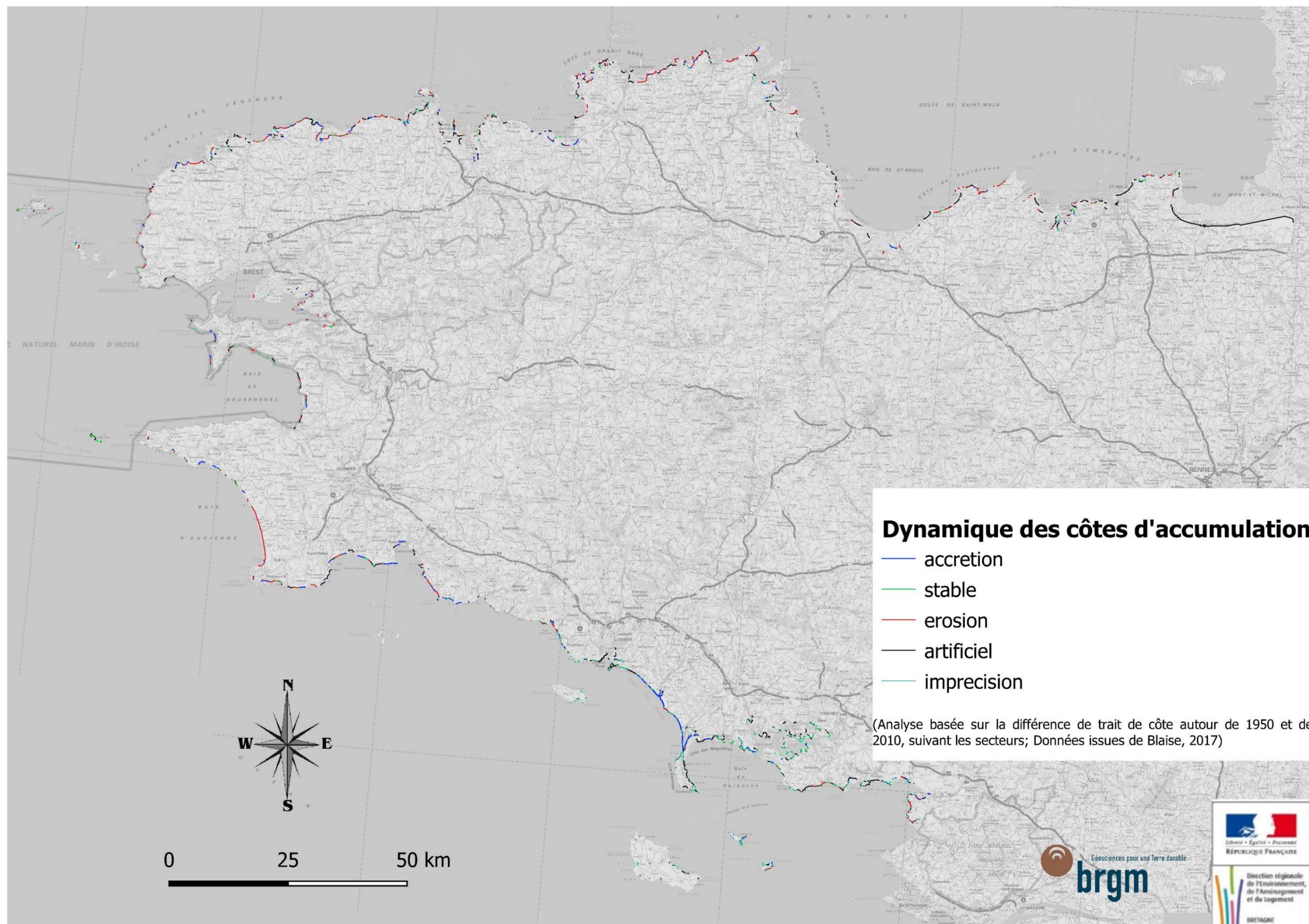
Aperçu des données de l'atlas à l'échelle de la région Bretagne

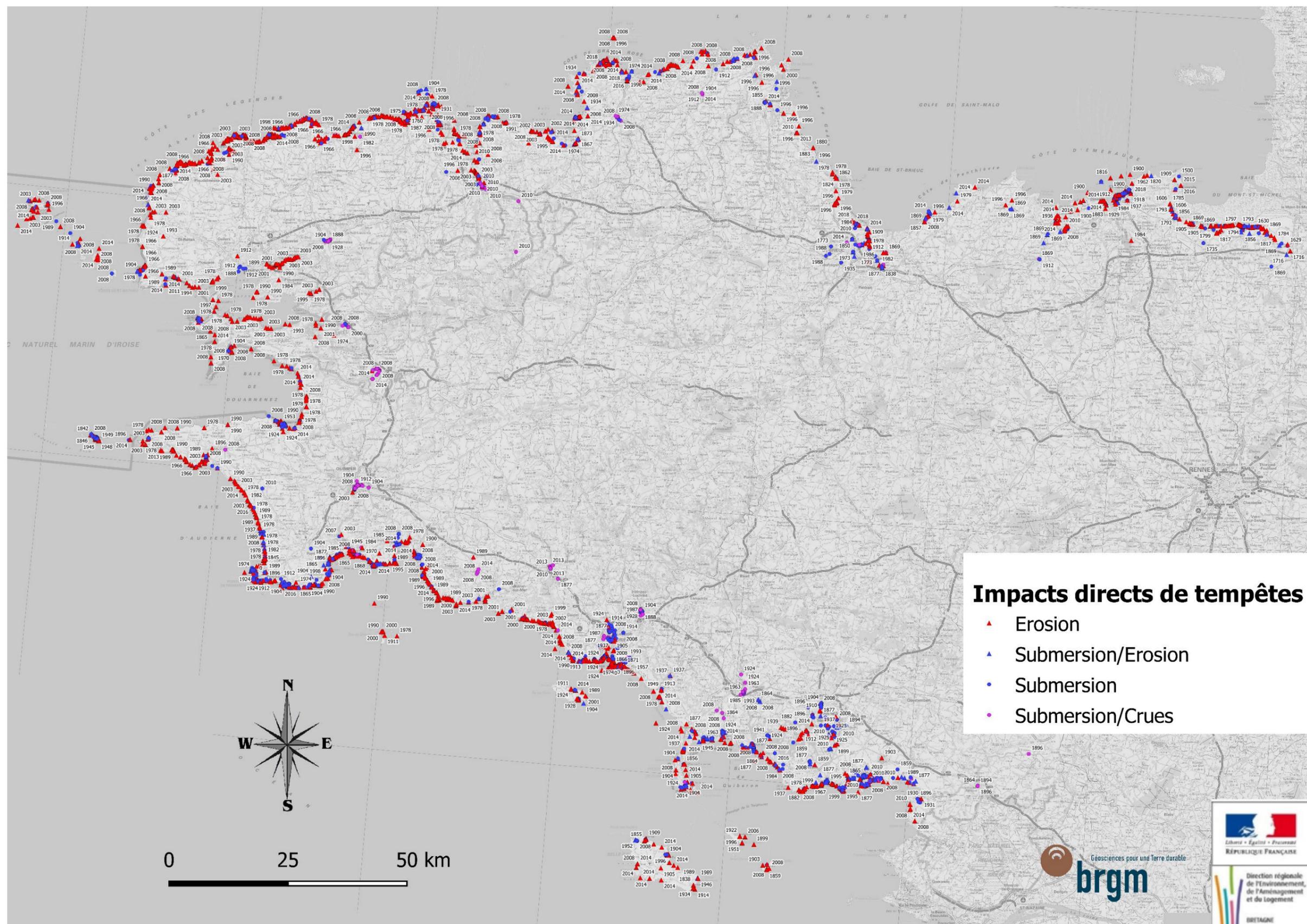
- Nature du trait de côte
- Trait de côte en érosion
- Dynamique des côtes d'accumulation
- Impacts directs de tempêtes













Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Bretagne

2, rue de Jouanet
35700 – Rennes – France

Tél. : 02 99 84 26 70