Étude de l'évolution de la position du trait de côte, approche par segmentation et apport des SIG pour combiner les informations sur le littoral : exemple de deux secteurs du Cotentin aux dynamiques différentes

Pierre Émile

▶ **To cite this version:**

Pierre Émile. Étude de l'évolution de la position du trait de côte, approche par segmentation et apport des SIG pour combiner les informations sur le littoral : exemple de deux secteurs du Cotentin aux dynamiques différentes. Géographie. 2019. dumas-02383152

HAL Id: dumas-02383152

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02383152

Submitted on 27 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EMILE Pierre Année universitaire 2018-2019

Mémoire de Master 1 Géographie,
Aménagement, Environnement et Développement
Parcours Environnement, Diagnostic des Territoires

Encadré par M. Stéphane COSTA, enseignant-chercheur à l'Université de Caen-Normandie

Etude de l'évolution de la position du trait de côte, approche par segmentation et apport des SIG pour combiner les informations sur le littoral :

Exemple de deux secteurs du Cotentin aux dynamiques différentes

Figure 1 : Photographie de maisons en bordure du littoral à Quinéville, protégées par un enrochement, P. EMILE, 4/01/19

Figure 2 : Photographie de l'Anse du Cul de Loup à Quettehou, estran vaseux et végétalisé, P. EMILE, 22/03/19

Figure 3 : Photographie du hameau de La Plage à Surtainville, en arrière d'un cordon dunaire végétalisé, P. EMILE, 4/01/19

Figure 4 : Photographie d'un enrochement écroulé et de séries de ganivelles devant une maison à Sciotot, P. EMILE, 26/02/19

UFR SEGGAT

UNIVERSITÉ CAEN NORMANDIE

U.M.R. 6554 CNRS LETG

Remerciements

Je tiens à remercier M. Stéphane Costa pour son encadrement et ses conseils pour la réalisation de ce dossier de mémoire.

Je remercie le ROL et notamment M. Thulie pour m'avoir fait bénéficier des données LIDAR de 2017 sur les secteurs d'étude.

Merci à ma famille pour le soutien, les conseils, la relecture, … et tout le reste.

Merci également à mes camarades de Master de Géographie pour les moments passés à parler de nos mémoires, … ou d'autres choses !

Merci à mes collègues de club d'athlétisme (et notamment mon entraineur) et ceux rencontrés sur les compétitions pour m'avoir encouragé et fait atteindre d'autres objectifs, … et penser à autre chose pendant cette (longue) période.

Enfin, merci à toutes les personnes qui ont pu me conseiller ou m'encourager.

Sigles utilisés

BD : Base de données

BD TOPO : Base de données Topographique de l'IGN

BRGM : Bureau des Recherches Géologiques et Minières

CAC : Communauté d'Agglomération du Cotentin

CEREMA : Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

CETE : Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement

CETMEF : Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales

CLC : CORINE Land Cover

DDTM : Direction Départementale des Territoires et de la Mer

GPS : Global Positioning System

IFREMER : Institut Français de Recherches pour l'Exploitation de la Mer

IGN : Institut Géographique National

INSEE : Institut National des Statistiques et des Etudes Economiques

LiDAR : Light Detection And Ranging (« *détection et estimation de la distance par la lumière* » (F*utura-sciences*))

MEDDE : Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire depuis 2017)

MOS : Mode d'Occupation du Sol

MNT : Modèle Numérique de Terrain

PPR : Plan de Prévention des Risques

ROL (**ROLNP**) : Réseau d'Observation du Littoral (anciennement : Réseau d'Observation du Littoral Normand-Picard)

SIG : Système d'Information Géographique

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

SyMEL : Syndicat Mixte des Espaces Littoraux de la Manche

Tdc : Trait de côte

Sommaire

Remerciements 3
Sigles utilisés 4
Sommaire 5
Introduction générale : le littoral, les aléas côtiers, la géographie 7
I. Le littoral et les aléas côtiers : des thématiques actuelles 8
II. L'étude du littoral d'un point de vue géographique 23
Partie 1 : Deux secteurs d'étude sur les façades Ouest et Est du Cotentin : contextes géographiques et éléments exposés 25
1.1. Des contextes physiques distincts : le Golfe normand-breton et la Baie de Seine 28
1.2. Des conditions hydrodynamiques et météorologiques plus exigeantes sur la côte Ouest, pour des dynamiques hydrosédimentaires distinctes de la côte Est plus abritée 52
1.3. Des domaines littoraux variés : de l'anse d'accumulation du Cul de Loup au massif dunaire de Baubigny en passant par les perrés de Quinéville 66
1.4. Les enjeux dans la bande littorale : des espaces peu mis en valeur et des zones de concentration de population et d'activités 105
Partie 2 : Apports des SIG pour repérer les rythmes d'évolution du trait de côte et combiner les informations sur le littoral 129
2.1. De nombreuses informations à regrouper, à croiser et à représenter : l'intérêt des SIG pour l'étude des littoraux 130
2.2. La méthode de la segmentation par boîte : utilisation pour l'évolution du trait de côte et la combinaison d'informations sur le littoral 149
2.3. L'intérêt des statistiques dans l'étude du système littoral 158
Partie 3 : Des traits de côte aux rythmes d'évolution non homogènes dans le temps et dans l'espace 163
3.1. L'évolution du littoral de 1947 à 2017 : une érosion globale sur le secteur Ouest-Cotentin et un équilibre dynamique sur le secteur Est-Cotentin 164
3.2. Les éléments exposés de la bordure littorale face aux évolutions de la position du trait de côte 185
3.3. Essai d'interprétation des liens de causalité entre l'évolution du trait de côte et diverses variables du littoral 194
Conclusion 211
I. Résumé du mémoire 211
II. Limites et perspectives d'amélioration du mémoire 213
III. Les littoraux dans le futur et leurs nouvelles gestions 214
Bibliographie et webographie 216
Table des figures 222
Annexes 231
Table des matières 242

Introduction générale : le littoral, les aléas côtiers, la géographie

I. Le littoral et les aléas côtiers : des thématiques actuelles

I.1. Un littoral qui attire des populations et des activités diversifiées

Le littoral est une thématique qui fait aujourd'hui l'objet de **nombreuses études**. Ainsi, les chercheurs, les services de l'Etat ou encore les médias s'intéressent de plus en plus à ce sujet. Les causes sont multiples, mais la principale semble être la prise en compte croissante de l'accentuation depuis quelques années, mais surtout prévue pour les décennies à venir, de ce qu'on appelle les aléas côtiers. Il s'agit à la fois de l'érosion des côtes et la submersion marine.

Après avoir été pendant longtemps des espaces reculés peu mis en valeur, les littoraux sont devenus aujourd'hui des **espaces très attractifs**, tant pour le cadre de vie que pour les activités qui en découlent. En 2013, d'après l'INSEE, 6.2 millions de français vivaient dans une commune littorale (plus de 9 % de la population), c'est-à-dire dans 4 % du territoire français (*INSEE, 2017*).

L'émergence du tourisme balnéaire au XIXème siècle a permis aux espaces littoraux de commencer à se développer. Au départ, seuls « *quelques sections* » étaient concernées (Côte d'Azur, Côte Basque, Côte Fleurie dans le Calvados, …) (*Bavoux, 1997*). Peu à peu, avec la création des congés payés en 1936 et la démocratisation des vacances à l'après-guerre, l'ensemble du littoral s'est vu concerné par le tourisme estival. C'est en effet « *la destination première des estivants* » (*Gervais-Lambony, 1999*). En 2007, la mer représentait en effet « *49.6% des nuitées* » des français en vacances d'été (*SDT–Eté 2007, direction du tourisme, TNS-Sofres, cité dans Dauphin et al, 2008*). Ce tourisme n'est pas sans conséquences sur les localités et sociétés littorales.

Des plans massifs de développement ont vu le jour en France, comme sur la côte languedocienne avec la création en 1963 d'une Mission interministérielle pour l'aménagement du littoral. Ce plan prévoyait la construction d'aménagements permettant d'assurer « *40 millions de nuitées par an réparties en 6 unités touristiques* ». En 1997, le tourisme représentait « *12 % du PIB régional* » du Languedoc-Roussillon (*Bavoux, 1997*).

L'attractivité du littoral comme **cadre de vie** quotidien s'est accrue depuis plusieurs dizaines d'années, notamment en raison de l'héliotropisme, ces migrations de personnes souhaitant s'installer au soleil, et plus précisément près de la mer.

En 2013, la densité de population atteignait 430 habitants/km² dans l'espace situé à moins d'1 km de la côte, c'est-à-dire une densité 4 fois supérieure à la moyenne française. 7.5 millions de lits touristiques sont également disponibles sur ces espaces ce qui permet de plus que doubler la population en saison estivale (*INSEE, 2017*).

En plus de la fonction d'habitation et de toutes les activités de service qui en résultent (commerces, services médicaux, établissements scolaires, …), de **nombreuses activités** prennent place sur l'espace littoral. On retrouve en particulier le tourisme, les activités portuaires (transport de personnes ou de marchandises, navigation de plaisance) et la pêche (pisciculture, conchyliculture).

Il s'agit ainsi d'espaces qui peuvent être très artificialisés avec de nombreux aménagements sur les côtes les plus attractives.

De nombreux acteurs et enjeux prennent donc part sur un espace réduit. Il existe nécessairement des **conflits d'intérêt** entre des aménageurs, des habitants, des organismes de préservation de la nature et du littoral, des élus, des services de l'Etat ou encore des industries portuaires.

L'ensemble de ces **éléments exposés** (population, infrastructures, activités) et l'importance de la surface fixée ou bâtie sont des **enjeux** importants qui accroissent la **vulnérabilité** des littoraux. Cette vulnérabilité augmente car le nombre d'éléments exposés augmente, ceux-ci peuvent se trouver à trop grande proximité de la mer, et ne respectent pas toujours les précautions nécessaires pour la protection ou la limitation des conséquences des événements.

I.2. Des problématiques nombreuses qui s'accentuent : de l'aléa côtier au risque

Depuis quelques années, du fait de plusieurs **catastrophes littorales** (tempête Xynthia en 2010, tsunamis, mouvements de terrain) et des nombreuses études sur les **changements climatiques**, on peut observer une prise en compte croissante par la population des problématiques littorales. Ainsi, les aléas côtiers, à la fois le recul du trait de côte et la submersion marine, sont des phénomènes connus. Cependant, tout n'est pas fait pour les diminuer, et partout on peut observer des aménagements qui ne respectent pas les précautions de base.

Les problématiques littorales sont de plus en plus traitées par les collectivités territoriales (communes, Communautés de Communes et Communauté d'Agglomération) et les services de l'Etat (Pôle gestion du littoral des Directions Départementales des Territoires et de la Mer). D'autres organismes jouent un rôle important dans le domaine du littoral, à la fois pour la compréhension, la prévention et la préservation. On retrouve notamment le Conservatoire du littoral (créé en 1975), qui existe à l'échelle nationale, et le Réseau d'Observation du Littoral de Normandie et des Hauts de France (ROL). Des lois pour la préservation du littoral et pour limiter les aléas côtiers ont été décidées, parmi lesquelles le Rapport Picard de 1973 et la Loi Littoral de 1986. Cette Loi Littoral « *vise à une protection plus globale du littoral grâce à plusieurs moyens* », elle met en place « *un certain nombre de contraintes dans l'élaboration des Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) des communes littorales* » (*Baud et al, 2013*). Les Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) sont réalisés par la Préfecture et entrent en vigueur dans les communes les plus soumises aux aléas côtiers.

Avant de vouloir lutter à tout prix contre ces phénomènes, il est nécessaire de **comprendre les processus** qui régissent le littoral. C'est là le travail des chercheurs, des organismes et des services en charge du littoral. Il importe que les décideurs aient les meilleures clés en main pour avoir la meilleure gestion possible. En effet, l'incertitude scientifique provoque l'incertitude politique.

I.2.1. Les aléas côtiers

Les **aléas côtiers** sont des éléments incontournables des études sur les littoraux. Ce sont à la fois l'érosion du littoral et la submersion marine.

L'**érosion du littoral** évoque le recul du trait de côte vers l'intérieur des terres. Il y a différentes formes d'érosion, parmi lesquelles on peut distinguer les processus de météorisation mécaniques et physico-chimiques. Cette érosion n'a pas la même forme selon la nature du trait de côte.

Pour une forme d'ablation (falaises), l'érosion se traduit par le recul du front rocheux et souvent par des chutes de blocs.

Pour les formes d'accumulation (plages, dunes), l'érosion fait intervenir la notion de **budget sédimentaire** (ou prisme sédimentaire), c'est-à-dire le volume d'entrées et de sorties de sédiments dans le système hydrosédimentaire local pendant un temps donné (*Paskoff et Clus-Auby, 2007*). Si ce prisme sédimentaire est positif, c'est-à-dire s'il y a plus d'entrées que de sorties, on parle d'accumulation ou d'accrétion. Si le prisme est nul, c'est-à-dire s'il y a autant d'entrées que de sorties, le littoral est stable. Enfin, si le prisme sédimentaire est négatif, c'est-à-dire s'il y a plus de sorties que d'entrées, le littoral est en érosion.

Figure 5 : Photographie d'un trait de côte en érosion à Quettehou, P. EMILE, 4/01/19

Aujourd'hui, on constate qu'en règle générale le littoral est en érosion. Cependant, ce n'est pas le cas partout et il n'y a pas toujours les mêmes rythmes. Comme nous l'avons vu, des différences peuvent exister, à toutes les échelles, du global au local.

Des études menées par le CEREMA ont montré que **20 % du littoral métropolitain français est en recul et 12 % en accrétion**. Le reste du littoral présente une évolution non perceptible (moins de 0.1 m/an) (*CEREMA, 2018*). Pour les côtes basses sableuses, le taux de littoraux en recul est de 36.6 % tandis que le taux en accrétion est de 23.2 %. Dans le département de la Manche, plus de 35 % du littoral est en recul et environ 18 % en accrétion pour une période d'étude de 60 à 70 ans.

Les causes de l'érosion sont multiples, la principale étant l'**élévation actuelle du niveau marin** (transgression marine). Les changements climatiques jouent un rôle important aujourd'hui mais ne sont pas seuls. Il y a ainsi des facteurs naturels qui interviennent sur une échelle de temps très importante. On peut en particulier citer l'effet stérique, c'est-à-dire la dilatation thermique des eaux, la destruction de la calotte glaciaire par fusion, et la variation du volume du bassin océanique par le jeu de la tectonique des plaques (*Paskoff, 2010*).

On constate que l'érosion se fait sur le temps long mais que des évènements climatiques ponctuels peuvent générer des reculs très importants qui équivalent à plusieurs mois d'évolution moyenne.

Le littoral étant un **système en équilibre dynamique**, il y a constamment des évolutions de profil de plage. Des variations saisonnières existent et font alterner engraissement en été et démaigrissement en hiver (*Paskoff, 2010*). Ces variations consistent en des échanges entre le haut de plage (avant-dune) et l'avant plage (barres).

Le **profil transversal d'une plage** est constitué, depuis la bordure littorale vers le large, de l'avant-dune, de la plage subaérienne (aussi appelée estran, séparée en haut et bas de plage), de l'avant-plage (composée de barres et sillons) et de la zone du large (*Paskoff et Clus-Auby, 2007*). De nombreux échanges ont lieu entre ces différentes strates, notamment les variations saisonnières. On observe sur les plages un profil d'hiver et un profil d'été qui sont construits alternativement par les houles de tempête ou de beau-temps.

La **submersion marine** consiste en le franchissement du trait de côte par la mer, sur des espaces habituellement non recouverts. Il y a plusieurs niveaux de submersion qui dépendent de la puissance de la submersion et des dégâts causés.

Figure 6 : Photographie d'une submersion marine à Asnelles (14), Ouest-France, 04/11/13

La submersion marine est souvent causée par une tempête qui provoque des vagues de hauteurs importantes qui déferlent ensuite vers la côte. Souvent, une surcote barométrique est associée, c'est-à-dire que le niveau marin s'élève du fait de la diminution de la pression atmosphérique (+1 cm par -1 hPa). De plus ces tempêtes ayant lieu lors des marées à fort coefficient, le niveau de la mer est plus haut et les vagues déferlent plus près de la côte. Elles ont alors plus de puissance pour détruire les ouvrages de protection et inonder l'espace situé en arrière du littoral, notamment dans les zones basses.

Ces évènements ont des probabilités d'occurrence relativement faibles mais dans un **contexte de changements climatiques**, leur fréquence et leur intensité est en augmentation. Dans certaines zones, des submersions de plus ou moins grande ampleur peuvent avoir lieu plusieurs fois par an. Dans les endroits sans enjeux, ces submersions ne sont pas considérées comme problématiques. Cependant, des habitations et voiries sont souvent exposées et les conséquences des événements peuvent être importantes.

On observe ainsi que, d'une part le littoral a tendance à reculer et la submersion marine tend à devenir plus importante, et d'autre part, de plus en plus de personnes souhaitent s'installer auprès du littoral. Cela nécessite donc des changements de politiques et de visions dans le futur.

I.2.2. Les risques littoraux

La notion de **risque** (naturel, technologique) n'intervient que lorsque que l'**aléa** (inondation, mouvement de terrain) est susceptible d'intervenir sur un espace vulnérable, où sont présents des **éléments** exposés ou des **enjeux** (humains, matériels, économiques). Lorsqu'un risque devient la réalité, on parle alors d'**évènement** ou de catastrophe. Un **risque majeur** se caractérise par une faible occurrence et des conséquences très importantes (*cf. Figure 7 : Courbe de Farmer, 1967 (sur researchgate.*net*).*

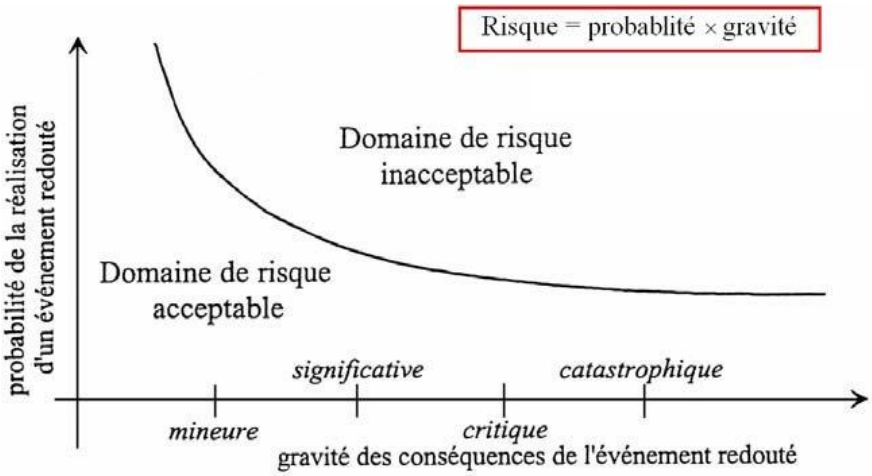


Figure 7 : Courbe de Farmer, 1967 (sur researchgate.net)

Le risque est donc une notion peu quantifiable qui va souvent se traduire par des indices de gravité (faible, moyen, fort) et des probabilités d'occurrence spatiale et temporelle. On parle de multirisque (ou hotspots) lorsque des risques se superposent sur un même espace. Le risque zéro n'existant pas, un des critères peut être le seuil d'acceptabilité du risque par la population ou par la collectivité. Ce seuil dépend de la gravité et de la probabilité de réalisation d'un événement (*cf. Figure 7 : Courbe de Farmer,* 1967 (sur researchgate.net*).*

Ces notions sont étudiées notamment dans les Plans de Prévention des Risques (PPR) réalisés par la Préfecture pour limiter le risque, et non le supprimer, ce qui est utopique ou provoquerait des répercussions ailleurs. Les PPR proposent des mesures pour protéger les enjeux ou faire en sorte qu'il n'y en ait pas dans les zones soumises à l'aléa. Les collectivités prendront ces documents en compte lors de la réalisation des Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) à l'échelle de la commune ou des Plans Locaux d'Urbanisme Intercommunaux (PLUI).

I.3. Des concepts spécifiques à l'étude des littoraux

I.3.1. Le système littoral

Le littoral fonctionne donc comme un système et nécessite d'être approché comme tel. On parle alors de **système littoral** (*Suzanne, 2018*). Il s'agit d'un espace à l'interface des « *influences continentales, marines et atmosphériques* » auxquelles peuvent être ajouter les « *actions humaines* » (*MEDDE, 2016*). Le système littoral comprend le trait de côte mais pas seulement, c'est-à-dire qu'il inclut également les zones maritimes et continentales proches. De nombreux échanges ont lieu et donnent des caractéristiques exceptionnelles. Tous les littoraux ne présentent pas les mêmes caractéristiques qui sont fonctions de la position géographique et de l'exposition aux différents facteurs (hydrographiques, climatiques, géomorphologiques) qui ne peuvent pas être analysés comme des éléments indifférents à l'extérieur. De **nombreuses interactions** intervenant dans le système, les décisions prises en un endroit ont des conséquences sur l'ensemble du voisinage.

Le système littoral étant avant tout un **système**, il se compose de caractéristiques indissociables qui tendent à l'équilibre dynamique de l'ensemble. En effet, on retrouve le phénomène de seuil, les effets cumulatifs, l'effet de saturation, l'autorenforcement, l'interrelation compétitive, les modes d'ajustements multiples, l'auto-organisation et le phénomène d'hystérésis. La notion de résilience, proche de celle d'équilibre dynamique, est donc caractéristique des littoraux. D'après la définition souvent retenue de Holing, il s'agit de la « *capacité d'un système à pouvoir intégrer dans son fonctionnement une perturbation, sans pour autant changer de structure qualitative* » (Holing, 1973). Il ne faut pas confondre l'équilibre dynamique et la stabilité qui sous-entend un état figé, ce qui n'est pas le cas d'un système.

Le littoral est à étudier comme un **géosystème** (*Bertrand, 1968*). Cette notion permet une analyse des « *interactions entre données géomorphologiques, climatologiques, hydrologiques, biogéographiques et pédologiques* » (*Bertrand, 1968*). La différence par rapport à l'écosystème est la reconnaissance du rôle et de l'action de l'Homme.

Pour analyser ce système littoral, il ne faut pas se contenter des limites administratives mais plutôt avoir une approche par **cellules hydrosédimentaires**. Ce sont des sections à l'intérieur desquelles ont lieu de nombreuses interactions, notamment des transferts de sédiments. Cette cellule, aussi appelée compartiment sédimentaire, unité physiographique ou province sédimentologique, est à concevoir à la fois le long du littoral, mais aussi vers le large, jusqu'à la limite d'action de la houle, c'est-à-dire la limite où l'action des courants marins se fait plus importante. Le sens des échanges peut alors différer et ce ne sont plus les mêmes éléments qui sont en jeu. Elle comprend la source des sédiments (falaises, plages, embouchures fluviales, bancs de sable), la zone de transport, et la zone de dépôt (plages, dunes littorales, barres d'avant-plage, ouvrages transversaux).

La cellule hydrosédimentaire permet « *de bien prendre en compte l'ensemble des facteurs d'évolution du littoral sur un secteur géographique donné* » (*MEDDE, 2016*). Souvent, on considère les « *phénomènes sédimentaires* » qui y ont lieu « *comme indépendants de ceux des unités adjacentes* » (*SOGREAH, 1986, Catalogue sédimentologique des côtes françaises*). Cette indépendance se fait « *du point de vue de la nature, du volume et du mouvement du stock de sable et/ou de galets qui les caractérise* » (*Paskoff et Clus-Auby, 2007*).

I.3.2. Des concepts géomorphologiques et océanographiques spécifiques au littoral

Pour une meilleure gestion, il est indispensable de bénéficier d'éléments de connaissance et de bien appréhender les notions et les termes adéquats.

I.3.2.1 Côtes d'ablation et côtes d'accumulation

Les littoraux ne sont pas des espaces aux morphologies et aux fonctionnements homogènes. Aussi, il importe de différencier les **principaux types de côtes** existants.

Les **côtes d'accumulation** rencontrent à la fois des phases d'érosion (démaigrissement) et d'accrétion (engraissement, accumulation). Ces côtes sont constituées de « *sédiments meubles, de tailles variées qui se répartissent le long des côtes basses longeant des plaines ou s'adossent à des côtes rocheuses* » (*MEDDE, 2010*). Ces sédiments résultent de « *l'abandon, momentané ou définitif, de particules par les agents de transport* » (*MEDDE, 2010*). Parmi les côtes d'accumulation, on retrouve les **plages** et les **dunes**. C'est le type de côte qui sera majoritairement étudié dans ce mémoire.

Les **côtes d'ablation** correspondent aux côtes rocheuses. C'est le cas des **falaises** que Guilcher définit comme « *ressaut non couvert de végétation, en forte pente, de hauteur très variable, au contact de la mer et de la terre et qui est dû à l'action ou à la présence marine* » (*Guilcher, 1954, cité dans MEDDE, 2010*). Ce type de côte ne peut que reculer sous l'effet de **l'érosion** marine (action de la mer), continentale (vent, précipitations), par des processus de météorisation mécaniques (cryoclastie, haloclastie, thermoclastie, hydroclastie, appel au vide), ou des processus physico-chimiques (dissolution, hydrolyse). L'érosion peut se faire par des mouvements particulaires ou de masse.

Les **côtes de constructions organiques** (corail, …) et les marais maritimes sont d'autres types de côte et ne seront pas étudiés ici.

I.3.2.2 Les plages

Une **plage** peut se définir comme une « *accumulation littorale de sédiments, des sables fins aux blocs* », dont les « *caractéristiques morphologiques dépendent de l'exposition aux houles et des caractéristiques de l'arrière-pays* » (*MEDDE, 2010*). Ainsi, les sédiments peuvent avoir pour origine l'érosion des côtes rocheuses situées à proximité, les alluvions transportées par les cours d'eau, ou encore des origines sous-marines. La granulométrie (taille des grains) est variée, et, selon les zones, « *des sables fins à grossiers (0,2 à 2 mm), des granules et graviers (2 mm à 2 cm), et des galets (2 cm à 20 cm)* » peuvent coexister. Cette taille variée dépend de « *la source des sédiments, de l'énergie des vagues et des caractéristiques de la plate-forme où la plage s'est constituée* » (*Paskoff et Clus-Auby, 2007*).

Une plage se forme lorsque le « *volume de sédiments disponibles est supérieur au volume transporté par les vagues et courants littoraux* » (*MEDDE, 2010*). C'est là qu'intervient la notion de **budget sédimentaire** (*cf. I.2.1. Les aléas côtiers, p 9*)**.** Ce budget correspond au rapport entre les apports et pertes en sédiments dans un espace donné, et définit selon qu'il est positif, nul, ou négatif, s'il y a accrétion, équilibre dynamique, ou érosion.

Les plages présentent des **profils transversaux** composés de plusieurs parties. Les trois principales zones sont « *l'avant-plage, l'estran (ou plage subaérienne) et l'avant-dune* », de *nombreux échanges* ont lieu entre eux. Ils appartiennent à « *un même système et il convient de ne pas les dissocier* » (*Paskoff et Clus-Auby, 2007*).

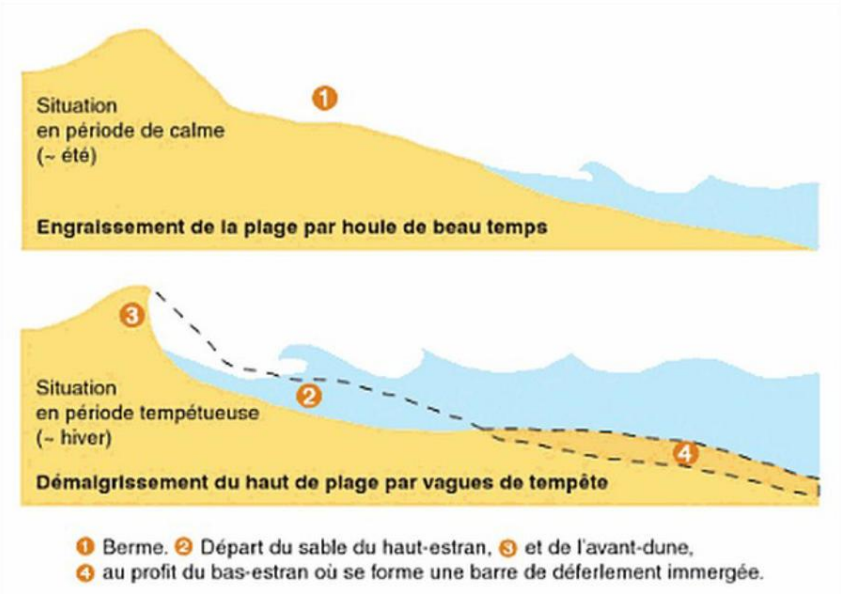
Le système en question est le **système-plage** (*cf. Figure 8 : Tableau schématique du système-plage et de ses composants principaux, d'après S. Costa in MEDDE, 2010,* P. EMILE, 2019).

<table>
<tr><td rowspan="5">Zone du large</td><td colspan="6">Système-plage</td><td></td></tr>
<tr><td>Zone infralittorale</td><td colspan="5">Plage subaérienne et arrière-plage</td><td rowspan="2">Espace continental</td></tr>
<tr><td>Plage sous-marine</td><td colspan="4">Plage subaérienne / Estran</td><td>Arrière-plage</td></tr>
<tr><td>Avant-plage</td><td>Bas de plage</td><td>Moyenne-plage</td><td rowspan="3">Ligne de flexion</td><td>Haut de plage</td><td>Avant-dune</td></tr>
<tr><td>Crêtes et sillons pré-littoraux</td><td>Barres, bâches</td><td>Barre</td><td></td><td>Berme</td><td>Dunes, marais, zones basses</td></tr>
<tr><td>Zone de gonflement des vagues (shoaling)</td><td>Zone de déferlement</td><td>Zone des brisants (surf)</td><td>Zone du jet de rive / retrait (swash)</td><td></td><td></td></tr>
</table>

Figure 8 : Tableau schématique du système-plage et de ses composants principaux, d'après S. Costa in MEDDE, 2010, P. EMILE, 2019

Plusieurs distinctions existent selon les auteurs, à la fois en termes de vocabulaire ou de limites physiques entre les éléments des plages mais il importe de comprendre que les sédiments sont susceptibles d'aller successivement dans ces trois parties en fonction des processus hydrologiques et éoliens. Ainsi, lorsque le haut de plage et l'avant-dune connaissent un démaigrissement l'hiver en raison des **variations saisonnières**, la majorité des sédiments qui la composaient se retrouve dans l'avant-plage. A contrario, l'été, le mouvement inverse se produit (*cf. Figure 9 : Schéma des variations saisonnières du profil de plage, Paskoff, 1998 (sur www.oceanmaraisdemonts.fr)*).

Le rôle de l'avant-dune est prépondérant pour les échanges entre la plage et la dune, c'est pourquoi il a sa place dans les systèmes-plage. En effet, elle permet à la dune de se développer et de se stabiliser (végétation) en faisant office de première protection et de « réserve de sable ».



Variations saisonnières du profil de plage (Paskoff, 1998)

Figure 9 : Schéma des variations saisonnières du profil de plage, Paskoff, 1998 (sur www.oceanmaraisdemonts.fr)

Il existe plusieurs **types de plages**, qui peuvent se distinguer selon les sédiments rencontrés (plages de sable, de galets), par leurs marnages (différence de hauteur entre la basse-mer et la pleine-mer : plages microtidale, mésotidale et macrotidale), ou par leurs formes en plan ou leur exposition.

Ainsi, on distingue les plages rectilignes (ou arquées) entre deux points rocheux, les plages de fond de baie, les plages à pointe libre (flèches littorales), les tombolos, ou encore les iles-barrières ou les côtes à lido (devant des lagunes ou des marais maritimes) (*MEDDE, 2010*).

I.3.2.3 Les dunes

Les **dunes** sont le deuxième type de côtes d'accumulation. Ce sont des formes d'origine éolienne, c'est-à-dire qu'elles sont construites par le souffle du vent sur les stocks sableux de la plage vers l'espace continental. Elles se retrouvent principalement en arrière de plages à large estran pour que le sable puisse y être mobilisé.

La **végétation** présente un double-rôle, un rôle de « *brise-vent pour le dépôt des sédiments* » et de « *racine pour stabiliser le sable* » (*MEDDE, 2010*).

Plusieurs types de dunes existent et peuvent se succéder, spatialement et temporellement. Là-aussi, le vocabulaire et les caractéristiques peuvent différer selon les auteurs (*cf. Figure 10 : Schéma des composantes d'une dune littorale, Natura 2000, Site du Marais breton, baie du Bourgneuf, Ile de Noirmoutier et Forêt des Monts, 2019 (in www.baie-bourgneuf.com)*).

Trois principaux types de dunes sont retenus par le MEDDE dans l'ouvrage *Gestion du trait de côte* (*MEDDE, 2010*).

Les **dunes de première ligne**, aussi appelées dunes vives ou dunes blanches sont « *très dynamiques* », « *peu végétalisées* » et sont en « *interrelation directe avec la plage* ». Elles regroupent les dunes embryonnaires (nebkas), les dunes libres (barkhanoïdes) et les dunes bordières.

Les **dunes secondaires** sont *« issues du remaniement éolien de dunes primaires après dégradation du couvert végétal* ». Des formes de déflation se créent alors (siffles-vent) et entaillent la dune bordière. Les principales formes de dunes secondaires sont les pourrières et les dunes paraboliques.

Les **dunes résiduelles**, aussi appelées dunes fixées ou dunes grises, sont « *fixées par une végétation dense et recouvertes d'un sol* ». Il s'agit de dunes dont les sables ne sont plus autant mobilisés et la végétation peut plus facilement se développer.

En arrière d'un cordon dunaire, se retrouvent quelques fois des zones humides dans les zones basses ou bien des zones de végétation qui profitent de la position d'abri.

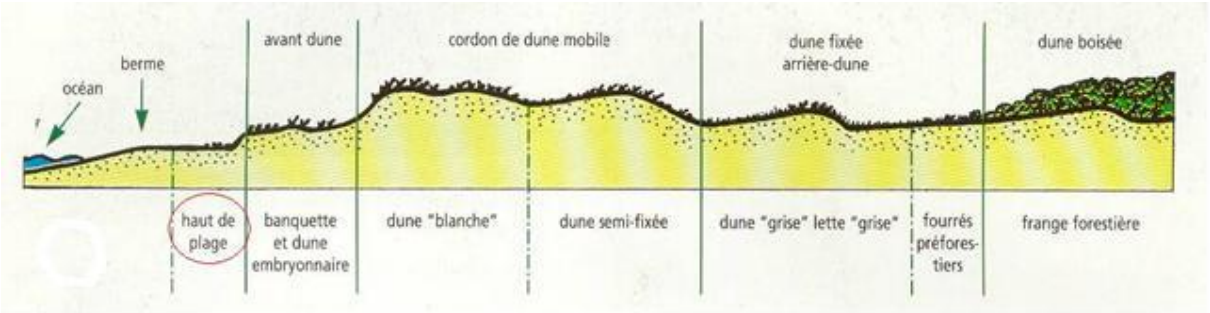


Figure 10 : Schéma des composantes d'une dune littorale, Natura 2000, Site du Marais breton, baie du Bourgneuf, Ile de Noirmoutier et Forêt des Monts, 2019 (in www.baie-bourgneuf.com)

I.3.2.4 Le trait de côte

Le trait de côte est une notion centrale pour l'étude des littoraux, cependant il s'agit d'un terme imprécis, parfois controversé et qui fait l'objet de nombreuses définitions.

Sa définition principale est qu'il s'agit de la « ***limite entre la mer et la terre*** » (*MEDDE*). Plus précisément, il s'agit de la « li*gne d'intersection de la surface topographique avec le niveau des plus hautes mers astronomiques* » (*SHOM*). Il correspond à la « *laisse des plus hautes mers dans le cas d'une marée astronomique de coefficient 120 et dans des conditions météorologiques normales* » (*SHOM*). Ces deux définitions émanent de points de vue océanographiques et ne correspondent pas forcément au point de vue de tous, le littoral étant à l'interface des sphères.

Ainsi, de nombreux **indicateurs** peuvent exister, à partir de la limite de végétation, de différences d'altitude ou encore des limites de sables, de galets ou de falaises. Cependant, comme évoqué précédemment, les littoraux sont très variables et il est difficile, voire impossible, de trouver un trait de côte universel qui pourrait correspondre à tous les types de côte.

Cette notion de trait de côte fera l'objet d'une partie spécifique (*cf. 1.3.1 Les traits de côte : des longs cordons dunaires, des tronçons végétalisés et des traits de côte artificialisés, p. 66*) où la variabilité des natures de traits de côte et des indicateurs sera abordée.

D'autres notions existent et sont parfois préférées à la notion de trait de côte qui apporte l'idée d'un trait fixe.

Pour le BRGM, « *il convient d'aborder la notion plus générale de frange ou de* ***bande côtière*** *qui s'étend du domaine marin au domaine continental, au sein de laquelle un ou plusieurs indicateurs géomorphologiques sont définis selon les types de côte* » (*BRGM, 2012*).

En fonction de l'emprise spatiale (largeur et partie terrestre et/ou maritime) et l'intégration de plus ou moins d'éléments, les notions sont nombreuses. On peut par exemple parler de côte, de rivage, de domaine côtier, de trait de côte, de bande côtière, de littoral ou encore d'espace littoral, arrière-littoral et d'hinterland. Selon les acteurs et les informations étudiées, les termes diffèrent. C'est pourquoi il est nécessaire de bien les définir au préalable.

I.3.2.5 La marée astronomique

Le phénomène de la **marée astronomique** est un aspect incontournable des littoraux. Il s'agit d'un « *mouvement périodique* » des masses d'eau, dû à « *l'attraction par les astres (lune et soleil) sur la mer* », à « *l'inertie générée par le mouvement de la Terre* » et qui est influencé par « *la forme des bassins océaniques et le tracé des rivages* » (*MEDDE, 2010*). A nos latitudes, les marées sont de type semi-diurne, c'est-à-dire qu'il y a 2 marées hautes et 2 marées basses par jour, avec un décalage de 50 minutes/jour.

Les marées n'ont pas le même coefficient à chaque fois selon l'alignement des astres. Ainsi, plus les astres sont alignés, plus l'attraction sera importante. Plus le **coefficient de marée** est fort (proche de 120), plus le **marnage** (différence d'altitude entre une pleine-mer et une basse-mer consécutives) sera important et l'**estran**, ou espace intertidal (la partie successivement recouverte et découverte par la marée), sera large.

On parle de marée de **vive-eau** quand le soleil, la lune et la Terre sont alignés (syzygie), c'est-à-dire au moment de la pleine-lune et de la nouvelle-lune. L'attraction est alors plus importante, ce qui implique un coefficient élevé. La marée de **morte-eau** intervient quand le soleil, la Terre et la lune

forment un angle droit (quadrature) au moment des quartiers de lune. L'attraction est plus faible et les coefficients peu élevés.

D'autres conditions particulières existent et influencent l'attraction sur la mer. Il s'agit des marées d'équinoxe où les marées de vive-eau sont encore plus importantes, et des marées de solstices où les marées de morte-eau ont des coefficients encore plus faibles. Tous les 18 ans, les marées les plus fortes sont atteintes lorsqu'une marée de vive-eau se conjugue avec un équinoxe, c'est ce qui est communément appelé « marée du siècle » (*www.shom.fr*).

Les coefficients et surtout le marnage ne sont pas les mêmes le long de toutes les côtes. Ainsi, la **morphologie des bassins océaniques** joue un rôle important. Un bassin en forme d'entonnoir, et une faible pente, comme c'est le cas du Golfe normand-breton au niveau du Mont-Saint-Michel, va favoriser les marnages importants (plus fortes marées d'Europe avec parfois plus de 14 m (en « marée du siècle »).

Selon le marnage et la largeur de l'estran, on parle de **côtes macrotidales** (marnage supérieur à 4 m), de **côtes mésotidales** ou de **côtes microtidales** (marnage inférieur à 2 m).

I.3.2.6 Les courants de marée

Les **courants de marée** sont induits par le mouvement périodique de la marée astronomique. Ils se caractérisent par un **flot** (marée montante) et un **jusant** (marée descendante). Souvent, le « *jusant dure plus longtemps que le flot qui est plus puissant* ». Le mouvement peut être réversible-alternatif, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un phénomène d'aller-retour, ou réversible-rotationnel, c'est-à-dire qu'il y a un mouvement giratoire (dans le « *sens horaire dans l'Hémisphère-Nord* »), quand le courant est « *non-contraint par les côtes* » (*MEDDE, 2010*).

Ces courants de marée génèrent des **mouvements sédimentaires** importants au large car il s'agit de courants « *puissants et efficaces sur une grande partie de la colonne d'eau* » (*MEDDE, 2010*). La mise en mouvement et le dépôt dépendent de la vitesse des courants (et donc de la forme du bassin océanique).

Il existe un autre grand type de courant, les **courants océaniques de surface**. Ils sont générés par les grands gyres et sont dirigés vers l'Est dans l'Hémisphère Nord en lien avec la force de Coriolis. Ils sont indispensables à l'équilibre thermique sur Terre en raison de leur importante capacité calorique. Ces courants sont considérés comme sans « *rôle direct sur la morphogenèse des littoraux » (MEDDE, 2010*).

I.3.2.7 Les houles

Le second type de courant ayant une incidence sur les mouvements sédimentaires est le courant induit par la houle. La **houle** est constituée d'une **succession de vagues** provoquées par le vent (*cf. Figure 11 : Schéma de la formation de la houle jusqu'au déferlement, SHOM (sur www.shom.fr)*). Ainsi, le vent souffle sur une certaine surface océanique (le fetch) et des rides se forment jusqu'à devenir des vagues.

Les vagues et houles répondent à plusieurs caractéristiques. La **hauteur de vague** (mètres) correspond à la différence verticale entre une crête et un creux consécutifs. La **hauteur significative** (mètres) qui en découle, comprend la « *moyenne du tiers des vagues les plus hautes pendant 20 mn* » (*Paskoff et Clus-Auby, 2007*). La **longueur d'onde** (mètres) correspond à la « *distance qui sépare deux*

crêtes ou deux creux consécutifs ». La **période** (secondes) correspond au temps entre ces deux crêtes ou deux creux. La **fréquence** (Hertz) est le nombre d'oscillations par seconde (*MEDDE, 2010*). La **célérité de la houle** (m/s), la **cambrure** de la vague (%) et la **direction de propagation** sont des paramètres spécifiques.

Ces paramètres dépendent notamment de la surface sur laquelle souffle le vent, de sa puissance, et de la hauteur d'eau.

A partir du moment où il y a **influence des fonds marins**, c'est-à-dire que la hauteur d'eau est inférieure à la moitié de la longueur d'onde de la vague, celle-ci se cambre et la houle « gonfle » (shoaling) jusqu'au **déferlement** sur la côte (*cf. Figure 11 : Schéma de la formation de la houle jusqu'au déferlement, SHOM (sur www.shom.fr)*. De plus, par l'effet de la réfraction, la direction de propagation tend à devenir perpendiculaire aux isobathes.

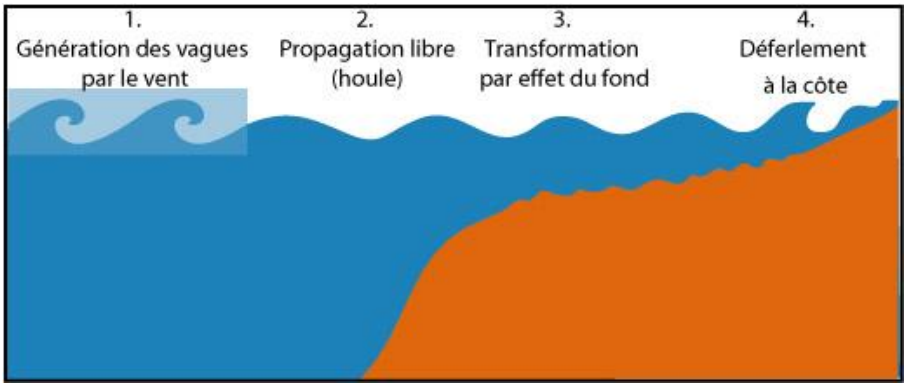


Figure 11 : Schéma de la formation de la houle jusqu'au déferlement, SHOM (sur www.shom.fr)

Avec le déferlement, quand la vague bascule sous l'effet de son poids et de sa cambrure, les sédiments sont mis en mouvement et mobilisés par les courants alternatifs de **jet de rive** (vers la côte) et de **retrait** (retour vers le large). Entre le point de déferlement de la vague et la côte, deux zones existent, la **zone du surf** qui est « *l'espace parcouru en direction du rivage par la vague qui a déferlé* » (*Paskoff et Clus-Auby, 2007*) et la **zone du swash** qui est celle où il y a le courant alternatif de jet de rive et de retrait. C'est dans cette dernière zone que les mobilisations de sédiments seront importantes.

A proximité des côtes, jusqu'à la **limite d'action des houles** (environ « *7 à 10 m de profondeur dans la Manche* »), ce sont les houles qui jouent un rôle prédominant dans le transport de sédiments (*MEDDE, 2010*).

En période de beau-temps, le jet de rive est plus fort que le retrait, en période de tempête c'est l'inverse. Il s'agit donc d'un facteur expliquant les variations saisonnières des plages.

I.3.2.8 La dérive littorale d'estran

La **dérive littorale d'estran** est un phénomène bien visible sur de nombreux littoraux (*cf. Figure 12 : Schéma de la dérive littoral d'estran, Aquaportail, 2018 (sur www.aquaportail.com)*.

Ce phénomène s'explique par **l'angle d'incidence de la houle** par rapport au rivage. Les vagues, et ainsi le jet de rive, arrivent de manière légèrement oblique, tandis que le courant de retrait se fait perpendiculairement au rivage, en suivant la pente la plus forte. Le transport des sédiments se fait donc parallèlement au trait de côte et en « **dents de scie** ».

Un courant se crée alors le long du rivage et les sédiments qui sont mobilisés sont déplacés plus en aval.

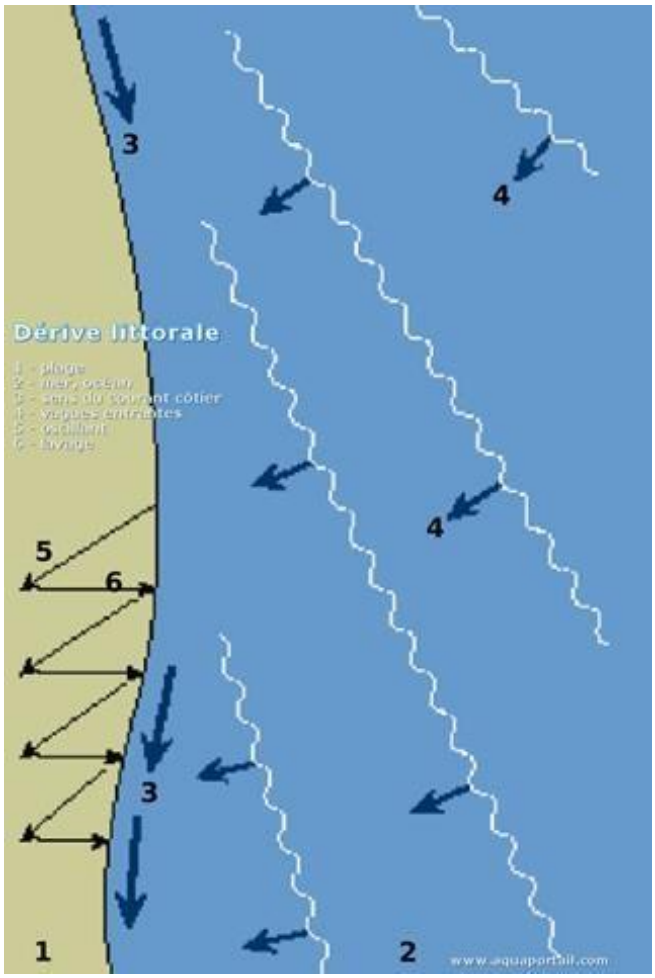


Figure 12 : Schéma de la dérive littoral d'estran, Aquaportail, 2018 (sur www.aquaportail.com)

La dérive littorale est plus ou moins importante sur les différents littoraux et permet de se rendre compte de la quantité de sédiments qui parcourent le trait de côte. Les ouvrages transversaux au rivage viennent interrompre cette dérive. De fait, du côté amont il y a accumulation, tandis qu'à l'aval les sédiments ne peuvent plus arriver et il y a érosion.

C'est dans ce cas qu'une gestion globale et une prise en compte des limites hydrosédimentaires sont nécessaires.

I.4. Une gestion globale du trait de côte indispensable

I.4.1. Plusieurs options face aux aléas côtiers

Face aux aléas côtiers, plusieurs options sont envisageables, les collectivités peuvent décider de **lutter** à l'aide d'ouvrages de protection, d'**accepter** les dommages et s'adapter petit à petit (« politique de rustine ») ou de **relocaliser** des personnes et des biens.

Depuis de nombreuses années, **beaucoup d'ouvrages** sont construits pour limiter les aléas côtiers. Souvent ces ouvrages ont pour vocation la protection contre les deux types d'aléas (érosion et submersion). Parmi ces ouvrages, on peut distinguer les ouvrages du génie civil et ceux du génie biologique (ou environnemental).

Parmi les ouvrages du **génie civil**, on retrouve les ouvrages parallèles au rivage, qui vont chercher à diminuer la puissance de la houle et stopper les sédiments pour qu'ils n'aillent pas trop en arrière du littoral, il s'agit des brise-lames, des digues, des enrochements ou des perrés. On retrouve aussi des ouvrages transversaux qui vont chercher à diminuer le transit des sédiments parallèlement au rivage pour que ceux-ci s'accumulent et permettent la construction, ou la non-érosion d'une plage.

Tous ces ouvrages ont des **incidences sur le système** et en particulier sur la morphologie du reste du système hydrosédimentaire, « *leurs effets sont souvent néfastes* » (*Paskoff, 2010*). De plus, leur coût est important et leur durée dans le temps non-garantie. Il convient donc de limiter ces méthodes, dites lourdes, qui ont des impacts importants et sont à terme vouées à être remplacées. Cependant, ces ouvrages sont souvent perçus par les élus locaux comme la seule solution pour continuer à avoir un développement économique, la morphologie imposante de ces ouvrages pouvant inspirer confiance (*Juan, 2011*).

Parmi les **mesures biologiques et environnementales**, les plantations (oyats, tamaris) sont fréquemment utilisées, et souvent associées à la mise en place de ganivelles qui ont pour vocation de fixer les sédiments et notamment de faire s'implanter des dunes littorales qui protégeront à la fois de l'érosion et de la submersion.

Il existe également des mesures visant à **prélever du sable au large** pour recharger les plages, ou encore des mesures de drainage des plages (*Paskoff et Clus-Auby, 2007*). Ces mesures de prélèvement sont controversées car il s'agit de prélèvements d'éléments qui proviennent de l'extérieur du secteur, et les conséquences sont encore peu mesurables, notamment sur le long terme en cas de multiplication de l'usage de cette méthode.

Parfois, la solution choisie par les décideurs est le **déplacement des biens et des personnes** en arrière du littoral, avant qu'il ne soit trop tard. Cette relocalisation est encore difficile à accepter et à imposer à la population. Elle peut être décidée lorsqu'il y a une menace directe pour la population et que le coût de la défense se révèle plus important que la valeur des biens (*Loi Barnier, 1995*). Dans le cas d'une catastrophe naturelle, selon certaines conditions, des indemnisations peuvent être versées.

Parallèlement à tous ces aléas côtiers, comme nous l'avons vu, les littoraux sont **de plus en plus prisés et artificialisés**. Cela accentue les aléas puisqu'en de nombreux endroits, le littoral étant figé il ne peut plus suivre son évolution naturelle et des dommages sont provoqués sur les infrastructures. Aussi, de plus en plus d'enjeux étant présents, le risque s'accroît puisque des évènements à l'intensité moyenne peuvent occasionner des dommages importants, en termes humains, matériels et financiers.

Il faut cependant veiller à **ne pas tomber dans le pessimisme ni dans l'alarmisme**. En effet, le littoral ne recule pas partout et ne connait pas partout les mêmes rythmes d'évolution. Dans de nombreux cas, il reste encore du temps pour ne pas trop subir le recul **à condition de prendre les bonnes décisions rapidement**. Cependant, dans certaines autres zones, il est urgent de prendre des mesures sous peine de se soumettre à des événements aux conséquences importantes.

I.4.2. Le concept de Gestion Intégrée des Zones Côtières

Le domaine littoral importe d'être étudié et géré de façon globale. C'est dans ce cadre qu'est apparu le concept de **Gestion Intégrée des Zones Côtières** (GIZC). Ce concept apparu en 1972 aux Etats-Unis s'est « *développé en Europe à la fin des années 1990* » (*Robin et Gourmelon, 2005*). Cette gestion intégrée nécessite une approche systémique et la prise en compte des différents acteurs et enjeux.

En 2011, le Rapport Cousin a préconisé 6 principes d'une gestion intégrée et durable de la frange côtière. D'après celui-ci, il est nécessaire de « *prendre en compte les trois piliers du développement durable* ». Il faut accepter le fait « *que le trait de côte est naturellement mobile et qu'il ne peut pas et ne doit pas être fixé partout pour des raisons d'impact écologique et de coût* ». Il doit y avoir une « *cohérence entre les options d'urbanisme et d'aménagement du territoire, la politique de gestion des risques et les choix techniques d'aménagement du trait de côte* ». Il faut une « *anticipation de l'évolution des phénomènes physiques d'érosion côtière et de submersion marine, qui passe par une bonne connaissance des écosystèmes côtiers et la prise en compte anticipée de l'impact du changement climatique* ». Une « *prise en compte accrue de l'aléa érosion dans les Plans de Prévention des Risques* » est nécessaire. Enfin, importe la « *planification et la préparation des acteurs à la mise en œuvre de la relocalisation des activités et des biens à long terme* » (*Cousin, 2011*).

L'utilisation des **Systèmes d'Information Géographique** (SIG) entre pleinement dans cette optique d'approche globale. En effet, ils permettent de mieux comprendre les processus et les dynamiques du système côtier et ne pas rester sur « *une approche statique* » (*Robin et Gourmelon, 2005*).

Comme cela sera expliqué par la suite, la **géographie**, par son approche et ses outils, s'avère être bien **adaptée à l'étude des littoraux**. En effet, les approches multiscalaire et systémique permettent de comprendre et prendre en compte l'ensemble des éléments qui rentrent en action, et ainsi de proposer une gestion intégrée.

Pour une gestion plus adaptée, une **importante documentation** existe. Ces documents peuvent être réalisés par des universitaires ou des organismes d'Etat, et sont souvent destinés aux aménageurs et aux décideurs, mais aussi à ceux qui s'intéressent au littoral et à son évolution.

On peut notamment différencier les documents qui traitent du **fonctionnement du littoral** et des aménagements côtiers (*Miossec, 2004 ; Paskoff 2004, 2007, 2010*). Certaines notions telles que l'aménagement du littoral ou le trait de côte peuvent faire l'objet de documents précis (*BRGM, 2012*). D'autres documents sont plus focalisés sur la notion de risque (*Dauphiné et Provitolo, 2013*) ou la dimension sociétale.

Des documents ont une **vocation locale** pour approcher les dynamiques littorales et la géomorphologie régionale (*SOGREAH, 1986, Catalogue sédimentologique des côtes françaises*). Les Services de l'Etat à l'échelle régionale, tels que la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) ont produit des documents sur le climat, les littoraux ou encore l'hydrographie (*DREAL, 2015, Profil environnemental de Basse-Normandie).* Ces documents sont souvent réalisés en interaction avec d'autres acteurs (universitaires, organismes littoraux, …).

Des **organismes spécialisés** sur les questions environnementales et littorales produisent régulièrement des documents ou des atlas traitant des évolutions ou des méthodes à utiliser. C'est le cas du Réseau d'Observation du Littoral de Normandie et des Hauts de France (ROL) ou du Conservatoire du littoral.

L'Etat, par le biais du **Ministère en charge de l'environnement**, a également dirigé de nombreux travaux et projets (*MEDDE, 2016*). Des observatoires sont créés pour le climat ou encore le littoral (Indicateur National de l'Erosion Côtière ; Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC)).

De **nombreux projets** sont en cours de réalisation, ou ont été réalisés, pour expérimenter des modes de gestion ou pour amener de nouveaux éléments de réflexion, nous pouvons notamment retrouver les projets LICCO (Littoraux et Changements Côtiers), COCORISCO (Connaissance, Compréhension et Gestion des Risques Côtiers), RICOCHET, ou encore « Notre littoral pour demain ».

II. L'étude du littoral d'un point de vue géographique

II.1. Approches et démarches adoptées pour la réalisation du mémoire

Pour réaliser ce projet de recherche, une méthode variée sera adoptée et plusieurs outils et techniques seront mobilisés.

L'approche est mixte, à la fois **quantitative et qualitative**. Cette approche s'impose car les données historiques ne sont pas toutes très précises (dépendent de la qualité des photographies, de l'opérateur, …), et il n'est pas possible de prédire le futur mais seulement d'imaginer des modèles qui répondent à des tendances et sont fonction de l'état actuel des choses et des connaissances. Ces modèles évolueront avec les évènements futurs, naturels et anthropiques. L'approche des enjeux humains sera également mixte car même si de nombreuses données existent (nombre de bâtis, voirie), il n'est pas possible de connaître le nombre de personnes qui parcourent ces espaces et les conséquences économiques potentielles. Ainsi, les résultats qui ressortiront de mon travail de recherche seront à la fois qualitatifs (enjeux, impacts, …) et quantitatifs (évolution, mesures, calculs).

Mon travail s'inscrit dans une démarche scientifique et je vais suivre plusieurs méthodes pour avoir des résultats fiables et présentant un intérêt. En premier lieu, j'adopterai une **démarche systémique**, c'est-à-dire que j'aborderai l'objet d'étude comme un ensemble, en intégrant les différentes caractéristiques du système en général, et du géosystème (*Bertrand, 1968*) en particulier. Il convient de prendre en compte les principes particuliers que sont l'interaction, la résilience, les rétroactions, ou encore l'équilibre dynamique. Il s'agit d'une approche holistique (*Palm, 1990, dans Pigeon, 2004*) dans le sens où l'objet est étudié dans sa globalité. Il ne faut pas se contenter d'une approche par l'écosystème. Il s'agit aussi d'avoir une approche multi-scalaire, des points de vue temporels et spatiaux.

Ma démarche est également basée sur **l'observation et l'hypothèse** pour comprendre les processus en jeu, c'est-à-dire que je me baserai sur des observations pour voir si des lois ou des hypothèses sont vérifiées (du général au particulier : démarche inductive, du particulier au général : démarche déductive). Pour ce type de démarche, il faut être attentif à ne pas faire de généralisation trop importante et à prendre en compte les spécificités des zones étudiées.

II.2. Les outils du géographe et l'approche globale au service de l'étude du littoral

Ma posture de recherche appartient avant tout au domaine de la **géographie** comme science de l'organisation de l'espace et des territoires, ainsi que des relations entre nature et société.

La géographie est en lien avec des **champs disciplinaires variés** qui peuvent intervenir dans le cas du littoral, tels que l'océanographie, l'hydrologie, la climatologie, la géologie ou encore les statistiques. Elle fait intervenir des outils et des approches caractéristiques, c'est le cas de **l'approche multiscalaire**, de **l'approche nature-société**, de **l'approche systémique** ou de la **cartographie**.

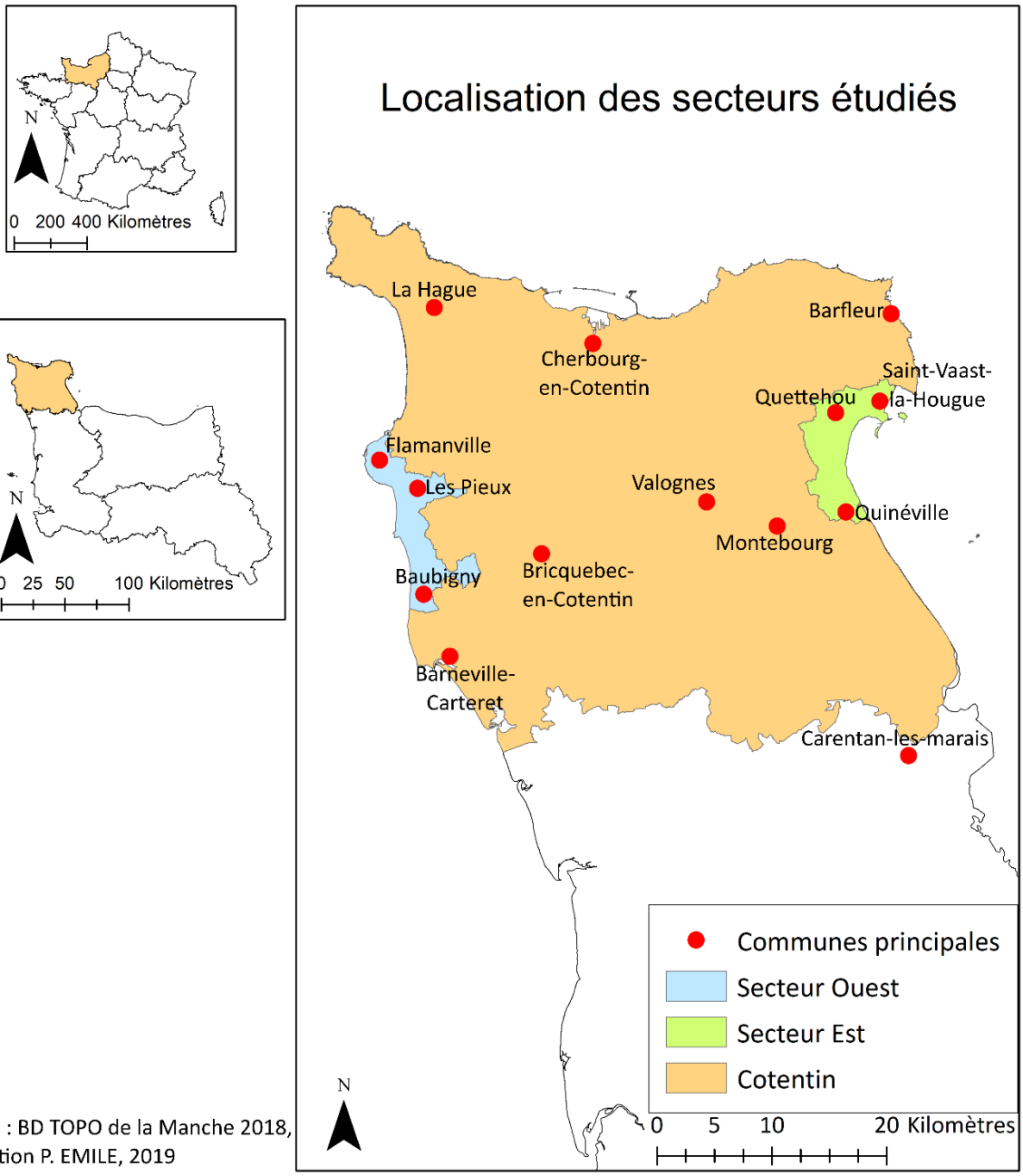
Je m'intègre dans le champ scientifique de la **Géographie de l'environnement** qui a pour objets d'étude la nature, la société et les interactions entre elles. Ce champ est aussi celui affiché par le laboratoire LETG-GEOPHEN (Littoral, Environnement, Télédétection et Géomatique) (*letg.cnrs.fr*) au sein duquel est dispensé le Master Environnement et Diagnostic des Territoires de l'Université de Caen-Normandie.

Ma posture s'attache à comprendre les dynamiques et le fonctionnement du littoral pour comprendre les évolutions. De plus, il me semble nécessaire d'intégrer la place de l'Homme et son rôle dans l'évolution.

Enfin, je souhaite en tant que géographe avoir une information spatialisable pour avoir une approche globale et prendre en compte tous les éléments d'un système. C'est ainsi que la **géomatique**, et plus spécialement les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont des outils nécessaires à mon projet, par leur capacité à combiner des informations localisables, et leurs nombreuses fonctionnalités, notamment statistiques.

Ce dossier de mémoire se divise en **trois parties principales**. La première partie présente les secteurs d'études et leurs principales caractéristiques géographiques. La seconde partie porte sur les méthodes suivies, et les données et outils utilisés. La troisième partie présente les résultats principaux obtenus par rapport à l'évolution du trait de côte entre 1947 et 2017, les éléments exposés, et une approche de la causalité de cette évolution est effectuée.

Partie 1 : Deux secteurs d'étude sur les façades Ouest et Est du Cotentin : contextes géographiques et éléments exposés



Source : BD TOPO de la Manche 2018, réalisation P. EMILE, 2019

Figure 13 : Carte de localisation des secteurs d'étude, P. EMILE, 2019

Deux secteurs du Cotentin, de chaque côté de la Presqu'île, ont été retenus pour ce projet de recherche (*cf. Figure 13 : Carte de localisation des secteurs d'étude, P. EMILE, 2019*). L'idée est d'observer **deux dynamiques différentes** et deux expositions différentes pour montrer que l'évolution n'est pas homogène dans l'espace et dans le temps, au sein d'une même cellule hydrosédimentaire.

1.1. Des contextes physiques distincts : le Golfe normand-breton et la Baie de Seine

1.1.1. Présentation géographique des secteurs d'étude

1.1.1.1. Secteur 1 : la côte Ouest du Cotentin entre Sciotot et Baubigny

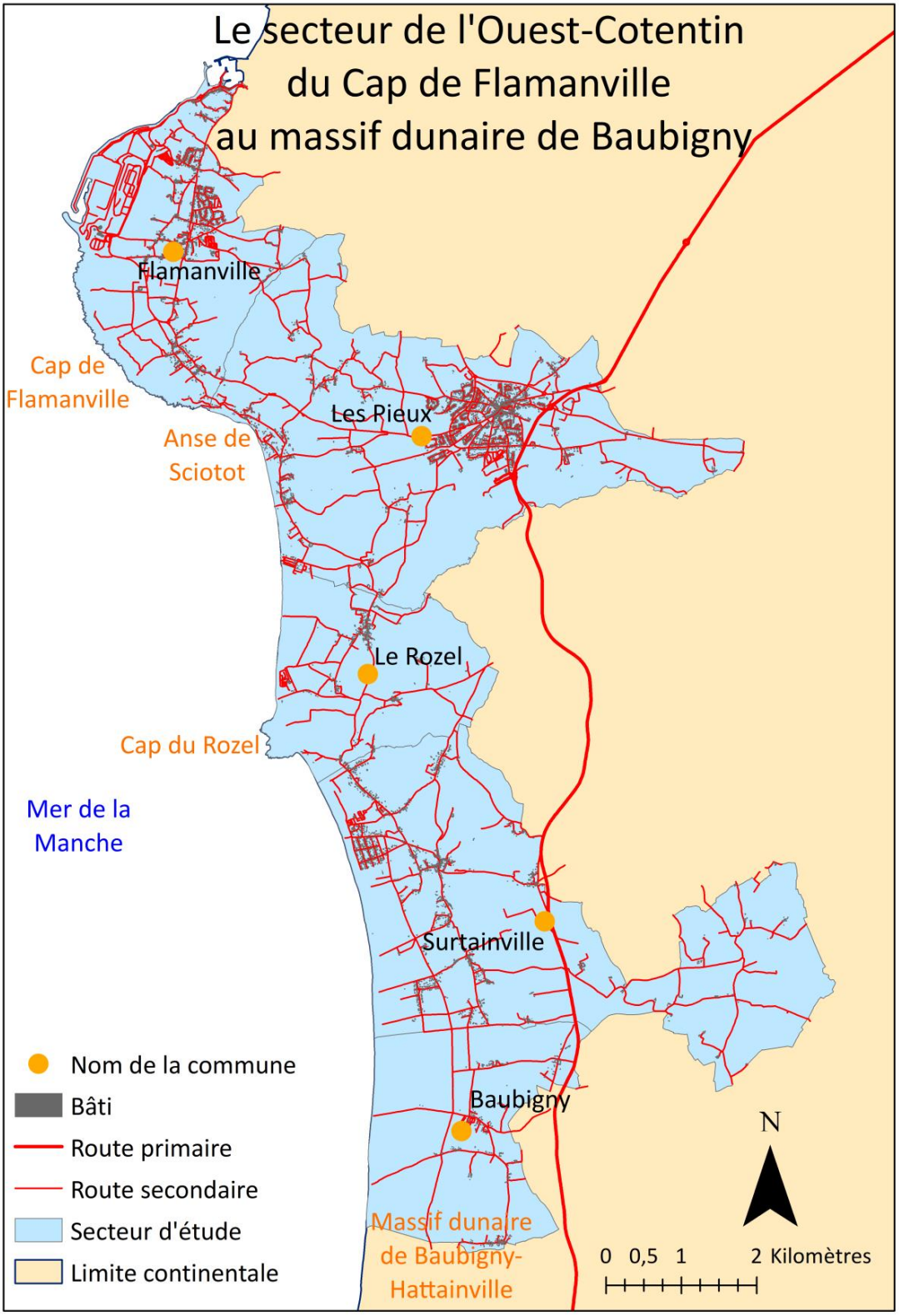


Figure 14 : Carte de présentation du secteur Ouest, d'après la BD TOPO de la Manche de 2018, P. EMILE, 2019

J'ai fait le choix de traiter le Nord de la côte Ouest du Cotentin car il s'agit d'une côte réputée comme soumise aux aléas côtiers. Les autres secteurs de cette côte, notamment au Sud, plus soumis aux aléas côtiers, ont été souvent traités lors d'études antérieures (Barneville-Carteret, Portbail, Agon-Coutainville, Saint-Jean-le-Thomas).

Le littoral au Nord de Carteret a été moins étudié car présente une évolution globale moins importante et des populations moins élevées. Cependant, il s'agit tout de même d'un secteur où le **littoral est globalement en recul** et où on retrouve plusieurs enjeux liés à la présence de nombreuses activités.

Ce secteur a pour étendues les **limites de la sous-cellule hydrosédimentaire de Surtainville**, qui appartient elle-même à la cellule de l'Ouest Cotentin, qui s'étend du Cap de Flamanville à Granville. On considère une sous-cellule sédimentaire comme « *suffisamment indépendante des autres pour considérer qu'une modification dans l'une ne présentera pas d'indices importants sur son voisin* » (*SOGREAH, 1986*). Cette sous-cellule s'étend du cap de Flamanville jusqu'au massif dunaire de Baubigny-Hatainville, situé au Nord du Cap de Carteret.

Le secteur d'étude comprend les communes de Flamanville, Les Pieux, Le Rozel, Surtainville et Baubigny (*cf. Figure 14 : Carte de présentation du secteur Ouest, d'après la BD TOPO de la Manche de 2018, P. EMILE, 2019*). L'ensemble fait partie de l'ancienne Communauté de Communes des Pieux et appartient depuis le 1er janvier 2017 à la Communauté d'Agglomération du Cotentin. Les communes ont une population cumulée de 6479 habitants en 2018 (*BD TOPO de la Manche, 2018*).

Ce secteur est limité par **deux caps rocheux**, les caps de Flamanville et de Carteret. Le Cap du Rozel délimite le secteur en deux parties sableuses plutôt rectilignes. Dans la partie située au Sud de celui-ci, on retrouve majoritairement des **cordons dunaires** en arrière de la plage. Ce cap du Rozel est composé de roches anciennes, à l'instar des deux caps périphériques, et on y retrouve plusieurs zones de mouvements de terrain (chutes de bloc).

Il s'agit d'un espace qui se trouve dans le **massif armoricain**, un massif ancien composé de roches souvent dures et résistantes. Le littoral est situé dans le Golfe normand-breton qui s'étend de St-Brieuc à La Hague.

En arrière du trait de côte actuel, parfois à moins de 1 km de celui-ci, on peut remarquer la présence de **falaises mortes** (anciennes terrasses marines) qui sont des traces de l'ancien littoral lors des dernières transgressions glaciaires. Leur altitude peut atteindre 80 m à 2 km du rivage.

Plusieurs natures de trait de côte coexistent sur ce littoral d'environ 12 km. On retrouve des cordons dunaires, des plages de sable avec parfois un fin cordon de galet, et des caps rocheux.

Une des caractéristiques de la côte Ouest est la présence fréquente de **dunes arrières-littorales** juste derrière les grandes plages à large estran (*cf. Figure 15 : Photographie du cordon dunaire entre Surtainville et le Cap de Carteret, P. EMILE, 4/01/19*). Sur ces dunes, on retrouve de nombreuses brèches créées par le passage, et des ouvertures pour les véhicules et pêcheurs. Dans la toponymie locale, on retrouve souvent le terme de « mielle » pour évoquer ces dunes et « terres sableuses situées au bord de mer » (*Pégorier, 2006*).

Figure 15 : Photographie du cordon dunaire entre Surtainville et le Cap de Carteret, P. EMILE, 4/01/19

Sur l'extrême-Sud du secteur, le **massif dunaire de Baubigny-Hatainville** occupe un espace important, de 900 hectares. Les dunes vont parfois à plus d'1 km en arrière des terres et peuvent être qualifiées de dunes perchées car elles atteignent 80 m d'altitude (*Conservatoire du littoral, 2013 sur conservatoire-du-littoral.fr*). Il s'agit d'un site protégé par le Conservatoire du littoral depuis 1980 sur une surface de « *près de 550 hectares* » aujourd'hui (cf. *Figure 16 : Photographie du massif de Baubigny-Hatainville, Conservatoire du littoral (sur www.conservatoire-du-littoral.fr)*).

Figure 16 : Photographie du massif de Baubigny-Hatainville, Conservatoire du littoral (sur www.conservatoire-du-littoral.fr)

Contrairement au Sud de Carteret, le tronçon étudié n'est pas marqué par la présence de havres en évolution qui modifient de manière importante la morphologie de ces territoires.

Le littoral de la côte Ouest du Cotentin présente une **position exposée** aux flux d'Ouest en raison de son tracé plutôt rectiligne et de sa situation géographique. Le courant et le transport des sédiments suivent un sens général du Nord vers le Sud. Cependant, le littoral bénéficie de la protection d'îles et îlots (îles anglo-normandes : Jersey, Guernesey, …) qui atténuent la force des courants et modifient leur direction. De plus, on retrouve au large quelques bancs de sables qui modifient les fonds marins.

La présence de caps rocheux sur ce littoral influe également sur la propagation des courants littoraux et induit une position d'abri pour certaines parties (*cf. Figure 17 : Photographie du Cap de Flamanville et de l'Anse de Sciotot, P. EMILE, 26/02/19*).

Figure 17 : Photographie du Cap de Flamanville et de l'Anse de Sciotot, P. EMILE, 26/02/19

Dans un contexte d'**urbanisation croissante** du littoral, on retrouve depuis quelques dizaines d'années de plus en plus d'habitations, d'infrastructures et d'activités situées à proximité du trait de côte. C'est particulièrement le cas à Sciotot (commune de Les Pieux) et de Surtainville. On retrouve de nombreuses habitations, campings, ou autres activités touristiques. En s'implantant ici, ceux-ci interviennent dans le système du littoral et peuvent influencer son évolution ou y être soumis. Ainsi, certains bâtis construits il y a quelques années à quelques mètres de la plage peuvent aujourd'hui être soumis à la submersion marine. Par ailleurs, certains aménagements littoraux (enrochements, jetées) peuvent ralentir l'évolution en un secteur et l'exacerber en un autre voisin.

Il y a une **importante population** qui pratique ou habite ces espaces, notamment l'été.

De **nouvelles problématiques** pourraient se poser avec le recul du trait de côte et l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes. Des habitations et des routes pourraient se retrouver en insécurité (érosion, submersion marine), et au niveau des dunes, il y a des possibilités de rupture de brèches. De plus, avec des surfaces artificialisées situées juste derrière et des brèches, il est possible que les dunes aient du mal à se fixer, et il n'y aurait plus de protection naturelle et l'érosion serait exacerbée.

1.1.1.2. Secteur 2 : la côte Est-Cotentin entre Quettehou et Quinéville

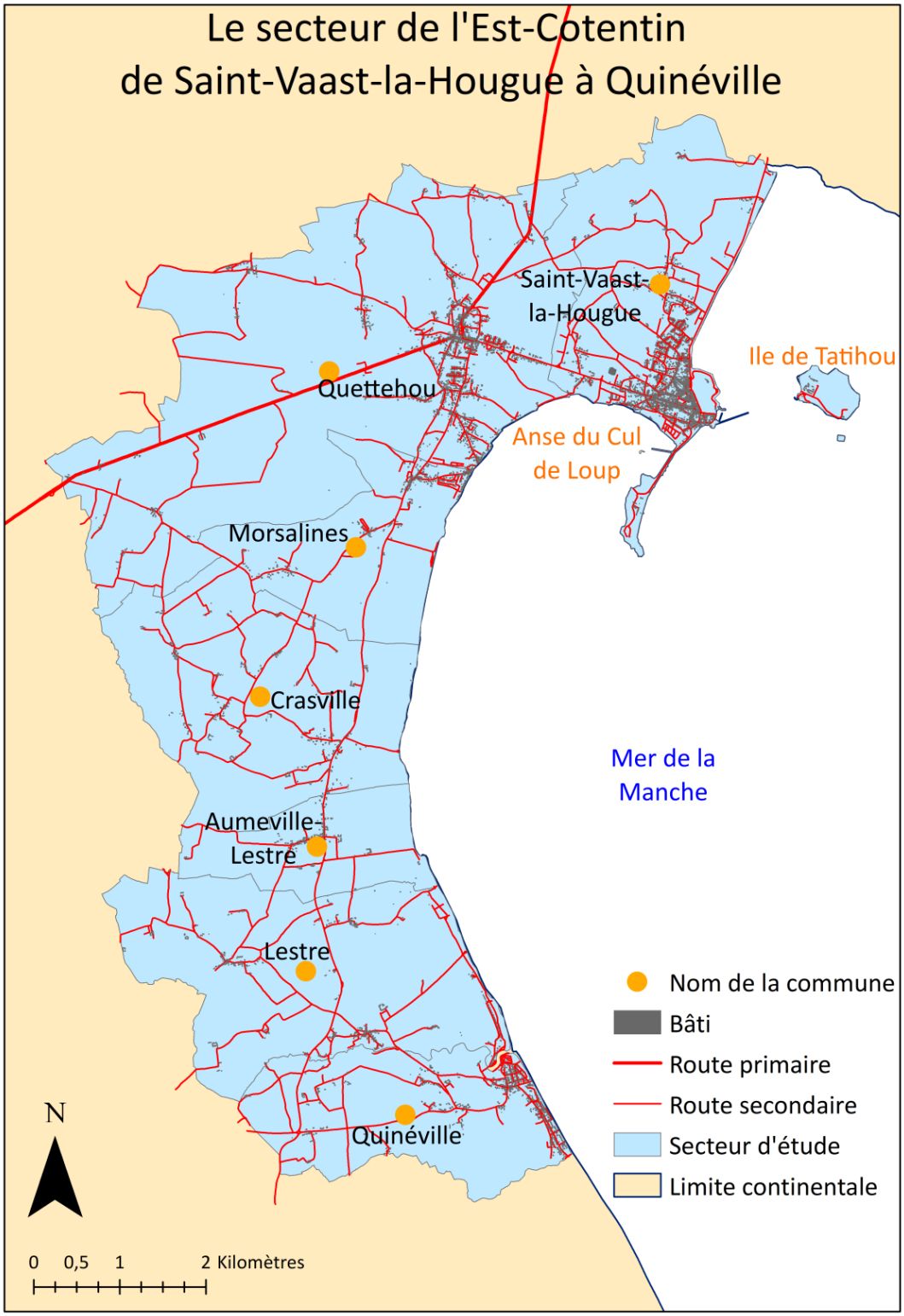


Figure 18 : Carte de présentation du secteur Est, d'après la BD TOPO de la Manche de 2018, P. EMILE, 2019

Ce secteur de l'Est-Cotentin se situe dans la **cellule hydrosédimentaire de Saint-Vaast-la-Hougue à la Baie des Veys** (plus de 30 km). La partie au Nord de Saint-Vaast-la-Hougue (depuis le fort de la Hougue) est exclue car présente un trait de côte majoritairement artificialisé. Le secteur s'étend au Sud jusqu'à la limite de la commune de Quinéville.

Cette limite a été choisie pour avoir une certaine **diversité de paysages, d'occupation du sol et de natures de trait de côte** (plages de sables et débris coquilliers, enrochements, perrés, anses avec accumulation, …). Le secteur ne s'étend donc pas jusqu'à la limite Sud de la cellule (la Baie des Veys) mais préserve une certaine représentativité de ce que l'on peut retrouver sur la Côte Est du Cotentin.

Les communes situées dans ce tronçon littoral sont Saint-Vaast-la-Hougue, Quettehou, Morsalines, Crasville, Aumeville-Lestre, Lestre et Quinéville (*cf. Figure 18 : Carte de présentation du secteur Est, d'après la BD TOPO de la Manche de 2018, P. EMILE, 2019*). Ces communes faisaient partie des Communautés de Communes du Val de Saire et de Montebourg. Depuis le 1er janvier 2017, elles font partie de la Communauté d'Agglomération du Cotentin. Les communes ont une population totale de 4618 habitants en 2018 (*BD TOPO de la Manche, 2018*).

Le secteur d'environ 13 km est délimité au Nord par la Pointe du fort de la Hougue et au Sud par les grandes plages allant jusqu'à la Baie des Veys.

On se trouve ici à la jonction **entre le Massif armoricain et le bassin sédimentaire**. Il y a de nombreux dépôts du Quaternaire dans la zone des marais du Cotentin, autour de la Baie des Veys.

A quelques kilomètres du rivage, dans la partie Nord, la topographie est plus marquée, avec une altitude comprise entre 30 et 80 m.

Au Nord du tronçon, on retrouve une forme en anse depuis le fort de la Hougue jusqu'à Quettehou. Il s'agit de l'Anse du Cul de Loup dans laquelle il y a des vases et de la végétation, traces de faibles mouvements sédimentaires et **zone d'accumulation** (*cf. Figure 19 : Photographie de l'anse du Cul de Loup, P. EMILE, 4/01/19*). On observe ensuite un trait de côte très rectiligne jusqu'au Sud de la Presqu'île du Cotentin avec des **grandes plages** et un large estran. Sur ces plages, on observe une forte présence de coquillages tout du long et de sédiments assez fins. Il n'y a presque pas de galets. Ces plages sont globalement soumises à une **faible érosion**.

Figure 19 : Photographie de l'anse du Cul de Loup, P. EMILE, 4/01/19

On observe, à quelques kilomètres au large, la présence des **bancs de sable** de Saint-Marcouf et du Cardonnet, sur environ 20 km, qui font à la fois office de réserve de sable, de zone de dépôt et de protection naturelle contre la houle. Ils sont placés « *dans le prolongement du relief constitué par la Pointe de Saire et à l'abri des îles St-Marcouf* » (*SOGREAH, 1986, Catalogue sédimentologique des côtes françaises*).

Le sens principal des courants marins et du transit sédimentaire est **du Nord vers le Sud** et le profil du littoral rend l'anse du Cul de Loup protégée des courants principaux et provoque une accumulation dans celle-ci. L'accumulation n'y est pas aussi importante que dans la Baie des Veys mais représente une spécificité. Il y a tout de même quelques secteurs en érosion en raison de la réfraction des vagues contournant la Pointe du fort de la Hougue.

Au Sud de cette Pointe, le trait de côte rectiligne est plus exposé à l'action de la mer. Par endroits, des perrés, des digues, et une jetée portuaire (à Quinéville) ont été implantés et ont une influence sur la dynamique sédimentaire.

Figure 20 : Photographie de l'estran à Quinéville au niveau du Hameau Simon, P. EMILE, 4/01/19

Il y a une importante **activité conchylicole** (élevage de coquillages : huitres, moules, coquilles St-Jacques) sur cet espace. Celle-ci a des incidences avec la barrière que peuvent représenter les parcs et les nombreux débris coquilliers retrouvés sur les plages (*cf. Figure 20 : Photographie de l'estran à Quinéville au niveau du Hameau Simon, P. EMILE, 4/01/19*).

Sur ce secteur Est, on observe **trois zones principales d'enjeux**. Tout d'abord, au Nord de Quettehou, dans l'Anse du Cul de Loup, on observe une présence importante d'entreprises, notamment ostréicoles. Plus au Sud, au niveau du hameau Le rivage à Quettehou, de nombreuses habitations sont situées en limite immédiate du trait de côte et sont parfois protégées par des enrochements et des ganivelles. Enfin, au niveau de Quinéville, de nombreuses autres habitations et voiries sont situées le long du littoral, là-aussi protégées par des aménagements (perrés, enrochements). Sur ces deux derniers espaces, on retrouve une importante présence de population, notamment saisonnière. Le tourisme est ici une activité importante avec la présence de nombreux campings et d'écoles de voile.

1.1.1.3. Pourquoi le choix de ces secteurs en particulier ?

Le choix d'avoir sélectionné deux secteurs se justifie par le fait qu'ils ont **des situations et des expositions différentes** par rapport aux processus hydrographiques et climatologiques.

Il s'agit de deux cas différents, aux situations géographiques différentes. Ils sont situés des deux côtés de la Presqu'île du Cotentin. Le secteur Ouest est situé dans le Golfe normand-breton, continuité océanographique du Massif Armoricain, qui s'étend de l'Ouest de la Baie de St-Brieuc au Cap de la Hague. Le secteur Est se situe dans la grande unité de la baie de Seine qui s'étend de la Pointe de Barfleur jusqu'au Nord de Le Havre.

De plus, les mesures de protection ne sont pas identiques partout. Ainsi les **dynamiques d'évolution** ne sont pas les mêmes. Globalement, on observe une évolution plus importante sur le secteur Ouest que sur le secteur Est. L'Anse du Cul de Loup au Nord de cette dernière connaît un processus d'accumulation de sédiments en certaines parties. Il est cependant important de rappeler qu'au sein-même d'un secteur, l'évolution n'est pas homogène, et les rythmes dans le temps non plus.

Sur le terrain, on observe que les **compositions des plages** ne sont pas les mêmes. Sur la côte Ouest, nous retrouvons majoritairement du sable et un fin cordon de galets. En arrière, presque tout du long, est implantée une dune arrière-littorale de largeur variable. Sur la côte Est, il s'agit plutôt d'un mélange de sables et de débris coquilliers. Il n'y a presque pas de sédiments grossiers de type galet. En revanche, on peut observer la présence de vases dans les zones d'accumulation. Par endroits, un fin cordon dunaire est présent.

Ces différentes compositions de plage rappellent que la force du courant influe sur la taille des sédiments qui seront présents (*SOGREAH, 1986, Catalogue sédimentologique des côtes françaises*). Ainsi, les mouvements hydrographiques sont globalement moins importants sur la côte Est que sur la côte Ouest. Les explications sont nombreuses, notamment la position d'abri par rapport aux courants et à la houle avec la pointe du fort de la Hougue, les parcs conchylicoles et les bancs de sable au large qui jouent un rôle de protection contre la houle.

Enfin, les deux secteurs ne présentent **pas les mêmes enjeux**. En effet, à Quettehou on retrouve beaucoup d'activités conchylicoles, tandis que du côté Ouest, la tendance est à l'activité touristique. Sur cette côte Ouest, on constate que les maisons sont rares en front de mer immédiat mais sont souvent en arrière d'un cordon dunaire (Surtainville). Elles sont généralement plus récentes que celles situées en front de mer au hameau Le Rivage à Quettehou et à Quinéville. Des campings sont cependant présents des deux côtés et le tourisme représente une part importante. De nombreuses habitations sont des résidences secondaires. De part et d'autre, on observe une activité agricole à proximité avec notamment de la culture légumière (Surtainville).

Le choix de ces deux secteurs répond à plusieurs aspects. Tout d'abord, il s'agit de **secteurs qui sont moins étudiés** que d'autres situés à proximité (Agon-Coutainville, St-Jean-le-Thomas, Utah-Beach). En effet, les secteurs situés plus au Sud, notamment sur la côte Ouest, ont été plus souvent traités dans le passé en raison des niveaux d'enjeux et d'aléas qui sont ponctuellement plus importants (*Levoy, 1994* ; *Mémoires de Master 1 de Géographie sur la thématique des littoraux*).

Leurs caractéristiques sont intéressantes à étudier. Il s'agit en majorité de côtes d'accumulation (plages sableuses) avec la présence d'un cordon dunaire en arrière. Ce ne sont donc **pas des types de côte spécifiques** à une région et leur étude peut nourrir des comparaisons avec d'autres secteurs. Cependant, ils présentent tout de même **des particularités**, notamment par leurs expositions climatiques et hydrodynamiques.

Comme cela sera expliqué par la suite, ces deux espaces littoraux ne se sont **pas développés aux mêmes périodes** et suivant les mêmes rythmes. Ces deux espaces sont traditionnellement des espaces **entre terre et mer**, c'est-à-dire que l'agriculture et la pêche y ont longtemps été deux activités incontournables. Aujourd'hui cette spécificité n'est plus aussi importante, s'est transformée, mais existe toujours. On en voit encore de nombreuses traces dans le paysage, que ce soit dans la toponymie ou dans l'architecture (corps de ferme, poids des entreprises conchylicoles, connaissances de la population historique sur la mer, …).

La côte Est, notamment Saint-Vaast-la-Hougue et Quinéville, est un **lieu de villégiature** depuis la deuxième moitié du XIXe siècle avec pour preuves les nombreuses villas. Ensuite, les espaces bâtis ont continué à augmenter. Sur le secteur Ouest, la population a vraiment augmenté au XXe siècle, et les espaces situés le long du littoral se sont développés depuis les **années 1970** avec la périurbanisation et l'accession plus importante à la propriété, et s'est traduit par l'émergence de nombreux pavillons. Au Sud de ce secteur, la côte Ouest est également un lieu prisé depuis la fin du XIXe siècle (Barneville-Carteret, Agon-Coutainville). Au sein de ces deux secteurs, des **bâtis de différentes époques** sont donc réunis.

Même si ces espaces ne sont pas autant attractifs que les littoraux méditerranéens ou de la côte Atlantique, ils restent **des espaces qui attirent**. Ainsi, à travers l'observation de photographies aériennes de différentes époques, on constate une augmentation des infrastructures et des résidences (maisons, campings) en bordure du littoral. Ces éléments deviennent alors des éléments potentiellement exposés aux aléas côtiers et des enjeux qu'il faut alors protéger.

L'approche diachronique, à partir de séries de photographies aériennes sur deux espaces, permet de se rendre compte qu'entre 1947 et aujourd'hui, de **nombreux hameaux ont vu le jour** auprès de la mer. De plus, **plusieurs hameaux se sont bien développés** pendant cette période (*cf. Figure 21 et Figure 22*).

Cela révèle bien l'**attrait que la proximité du littoral** exerce pour la population. Dans les faits, il s'avère que parmi ces résidences, il y a une part importante de résidences secondaires. Parallèlement, les bourgs des villages situés plus à l'intérieur des terres ont tendance à perdre de la population, ou tout au moins ne suivent pas une augmentation démographique aussi importante.

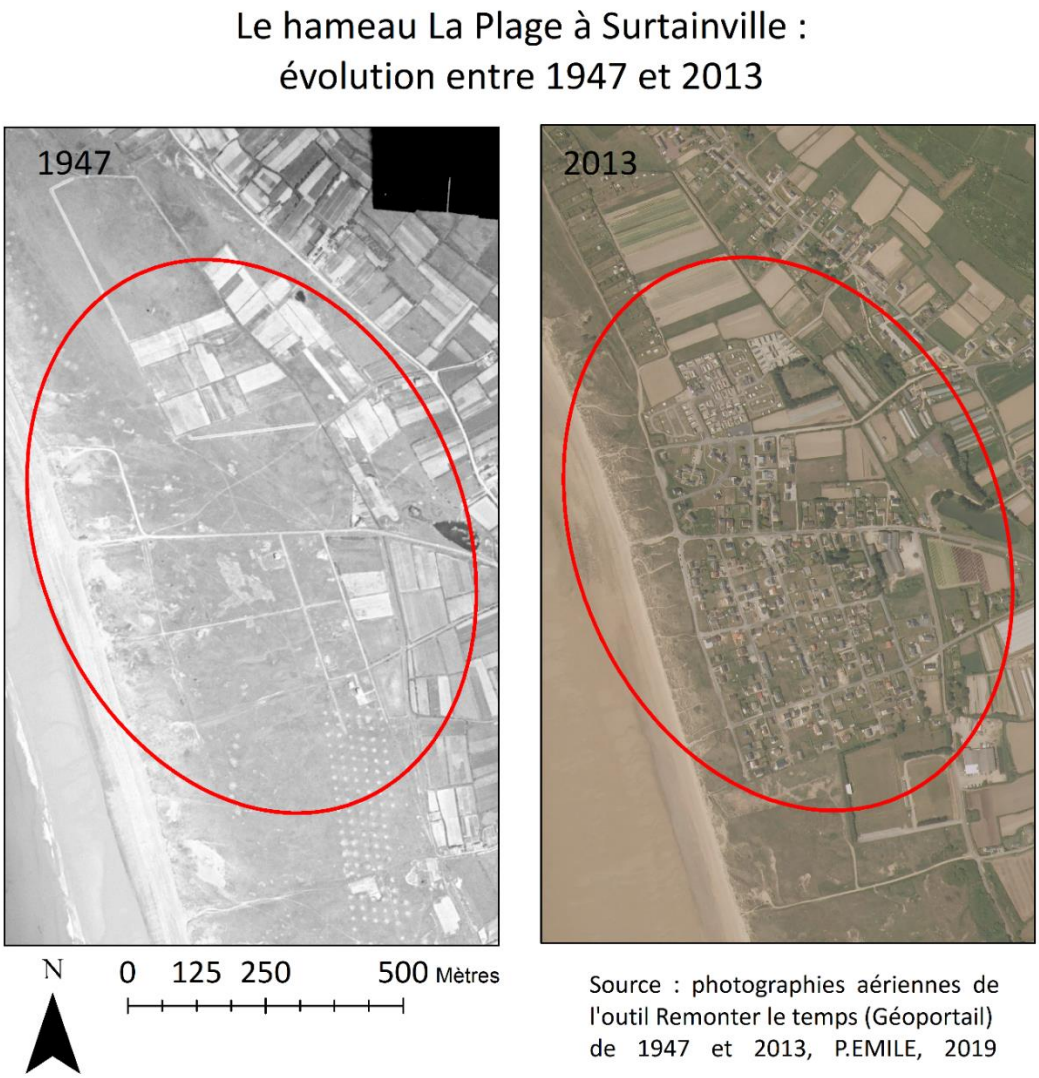


Figure 21 : Photographies montrant l'évolution de l'urbanisation à proximité du littoral à Surtainville, images Géoportail, P. EMILE, 2019

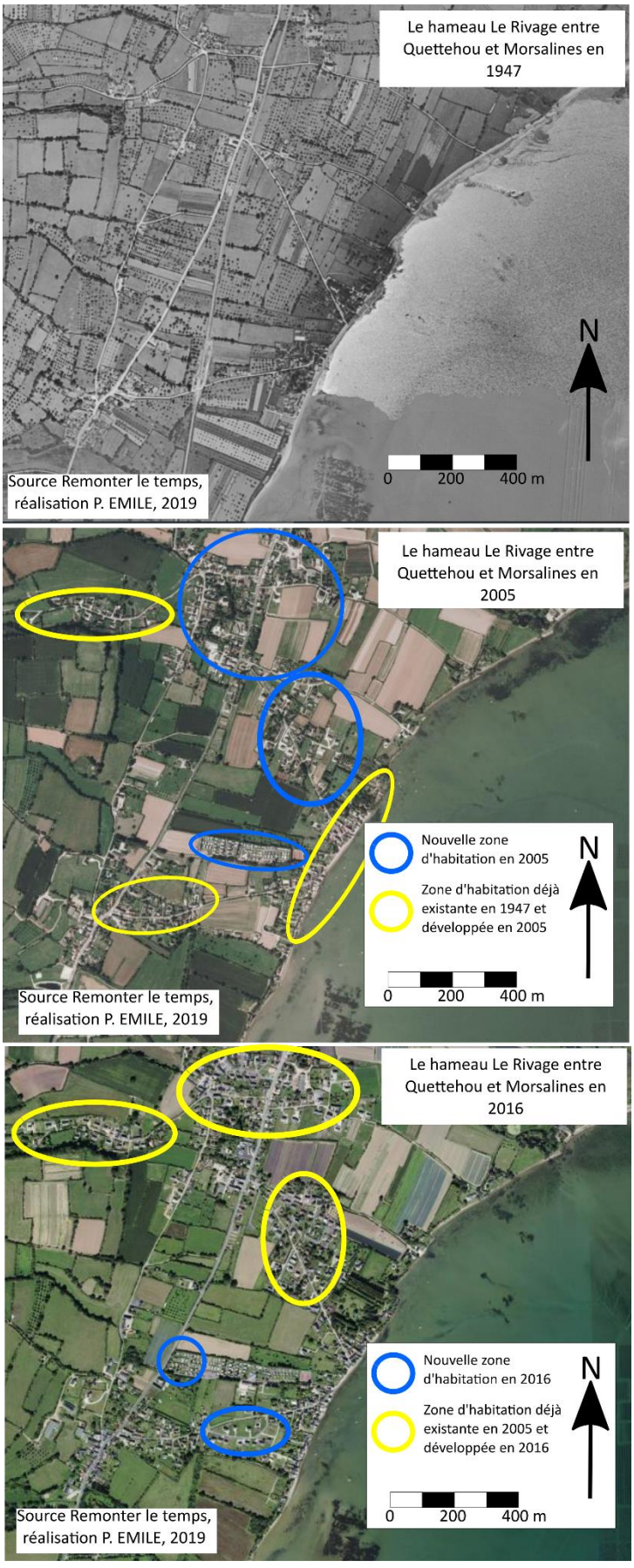


Figure 22 : Photographies du hameau Le Rivage entre Quettehou et Morsalines en 1947, 2005, et 2016, approche diachronique de l'évolution du bâti, images Géoportail, P. EMILE, 2019

Le littoral du Cotentin est dans l'**actualité** puisque la Communauté d'Agglomération du Cotentin (CAC) a maintenant la compétence GEMAPI (Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations) et se pose actuellement des questions par rapport à l'évolution du trait de côte et à la submersion marine (Notre littoral pour demain - Côte Ouest et Est du Cotentin). En dépit du fait que le littoral manchois recule moins que dans d'autres secteurs (côte Atlantique, Seine-Maritime), les évolutions passées et futures ne sont pas anodines. La géographie du Cotentin le rend également sensible à l'évolution du niveau marin en raison des zones basses des marais du Cotentin. A terme, la Presqu'île pourrait devenir une île et de nombreux espaces seraient alors inondés.

1.1.2. Géologie et géomorphologie du Cotentin : le massif armoricain à l'Ouest et l'extrémité du bassin sédimentaire à l'Est

1.1.2.1. Un relief important dans le Nord-Cotentin et des zones basses le long des côtes et au niveau des marais de Carentan

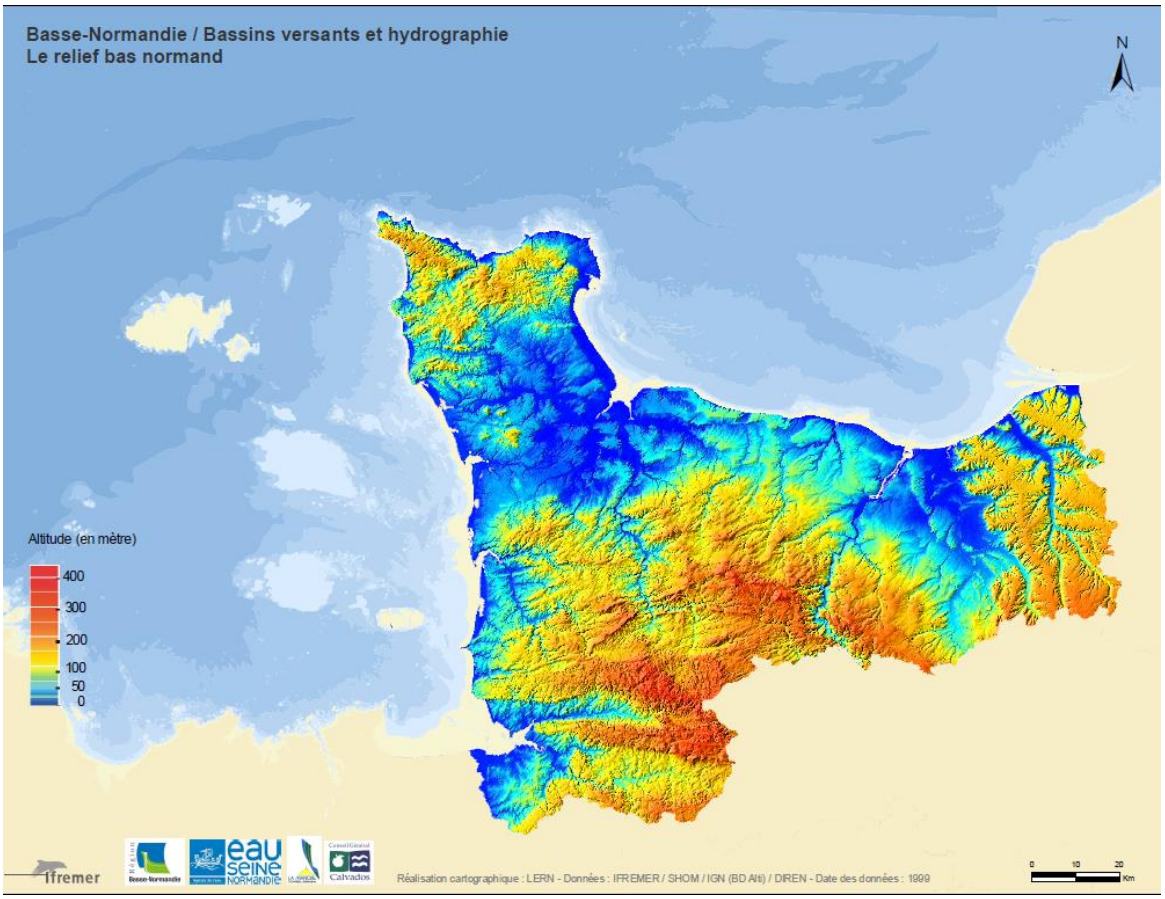


Figure 23 : Carte du relief de la Basse-Normandie, IFREMER, 2008 (sur ifremer.fr)

Par rapport à l'ensemble des côtes bas-normandes, globalement plutôt basses avec un large espace avant une élévation de relief, le Nord-Cotentin présente la particularité d'avoir un **espace arrière-littoral à la topographie marquée**. En effet, à l'intérieur des terres, l'altitude atteint rapidement 100 à 200 m (cf. *Figure 23 : Carte du relief de la Basse-Normandie, IFREMER, 2008 (sur ifremer.fr)).* On repère tout de même que, mis à part le Cap de la Hague, il y a quasiment toujours une **petite bande littorale**, parfois de quelques centaines de mètres, **relativement plane** avant une élévation du relief. Au Sud du Cotentin, au niveau des **marais du Cotentin et du Bessin**, l'altitude est très faible et de nombreux espaces sont inondés en hiver.

Nous verrons que ces variations d'altitudes peuvent s'expliquer par la position de la Basse-Normandie en bordure de Massif armoricain et par les **nombreux événements tectoniques**.

Les deux secteurs d'étude sont marqués par d'**importantes surfaces de zones basses** en arrière du littoral (Mielles de Sciotot, Hameau La Plage à Surtainville, marais d'Aumeville-Lestre, Sud de Quinéville). Ces zones basses sont souvent humides l'hiver et destinées au pâturage. Cependant, de nombreux bâtis y siègent aujourd'hui. Ce sont des zones soumises à **l'aléa inondation**, et d'autant plus lorsqu'il y a **érosion des cordons dunaires** qui les protègent. Dans le cadre des changements climatiques et de la **hausse du niveau marin**, ces zones seront de plus en plus menacées.

Les zones basses du secteur Ouest
entre le Cap de Flamanville et le massif dunaire de Baubigny

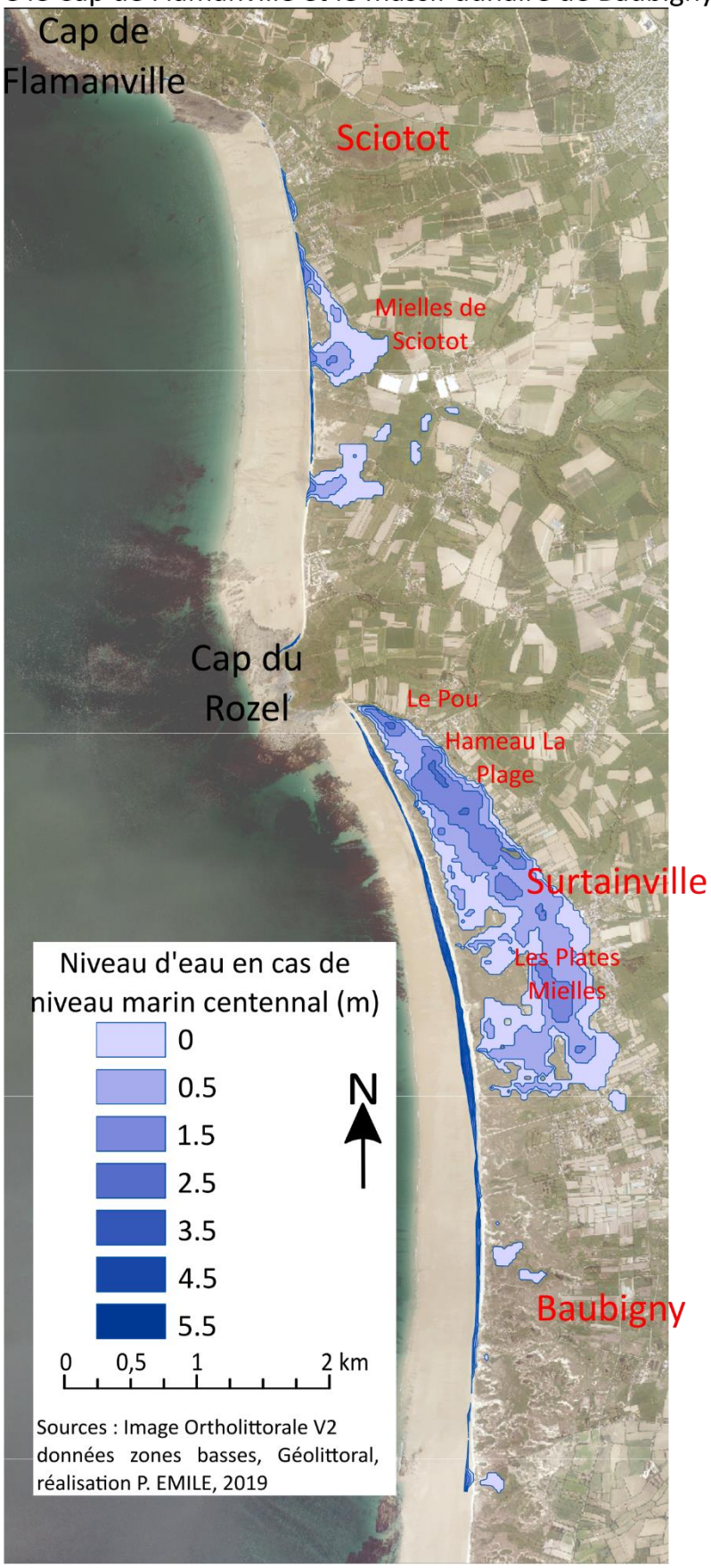


Figure 24 : Image aérienne et niveau des zones basses du secteur Ouest, P. EMILE, 2019

Les zones basses du secteur Est
entre Saint-Vaast-la-Hougue et Quinéville

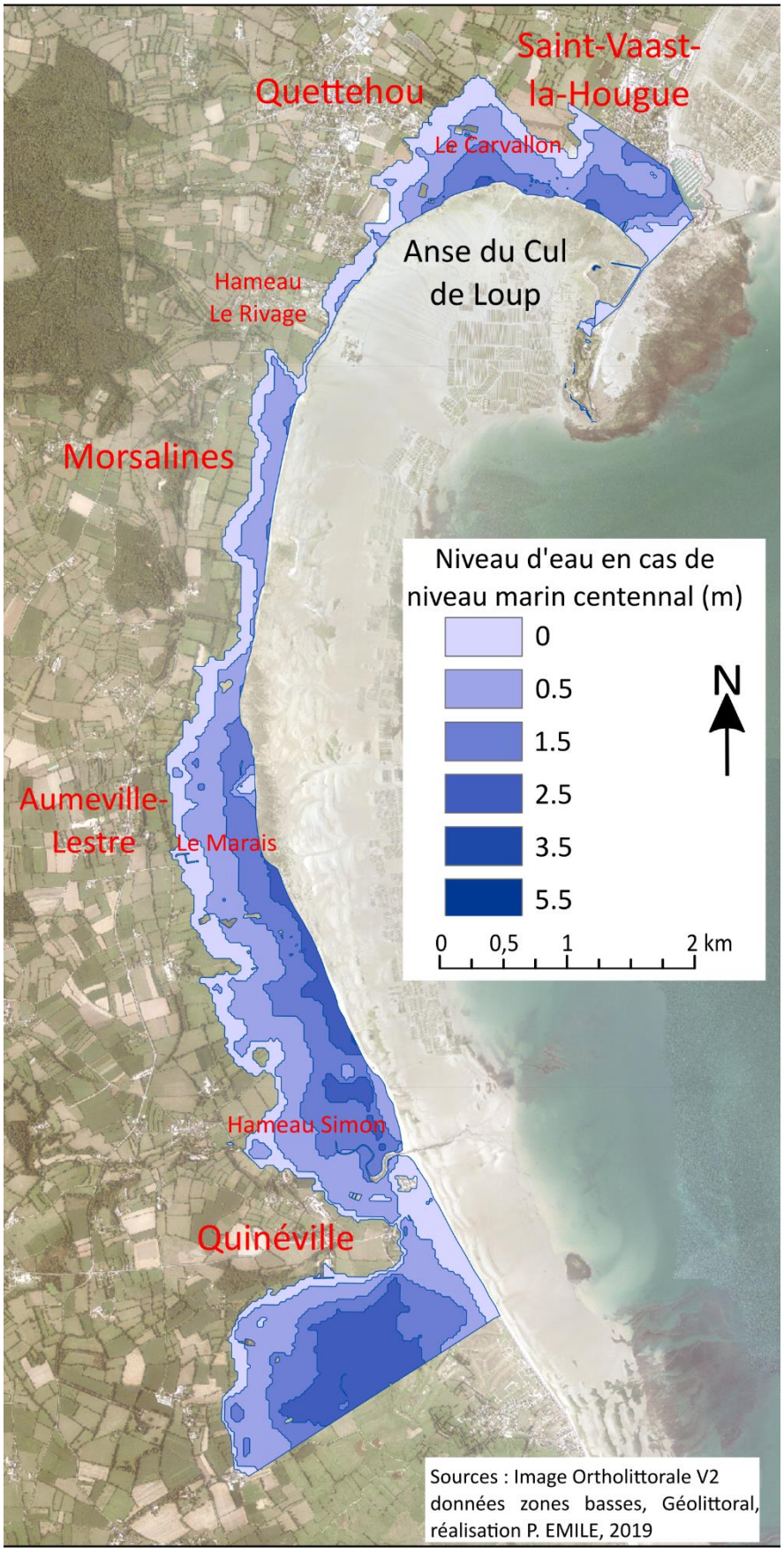


Figure 25 : Image aérienne et niveau des zones basses du secteur Est, P. EMILE, 2019

1.1.2.2. Une forte densité de cours d'eau dans le Cotentin

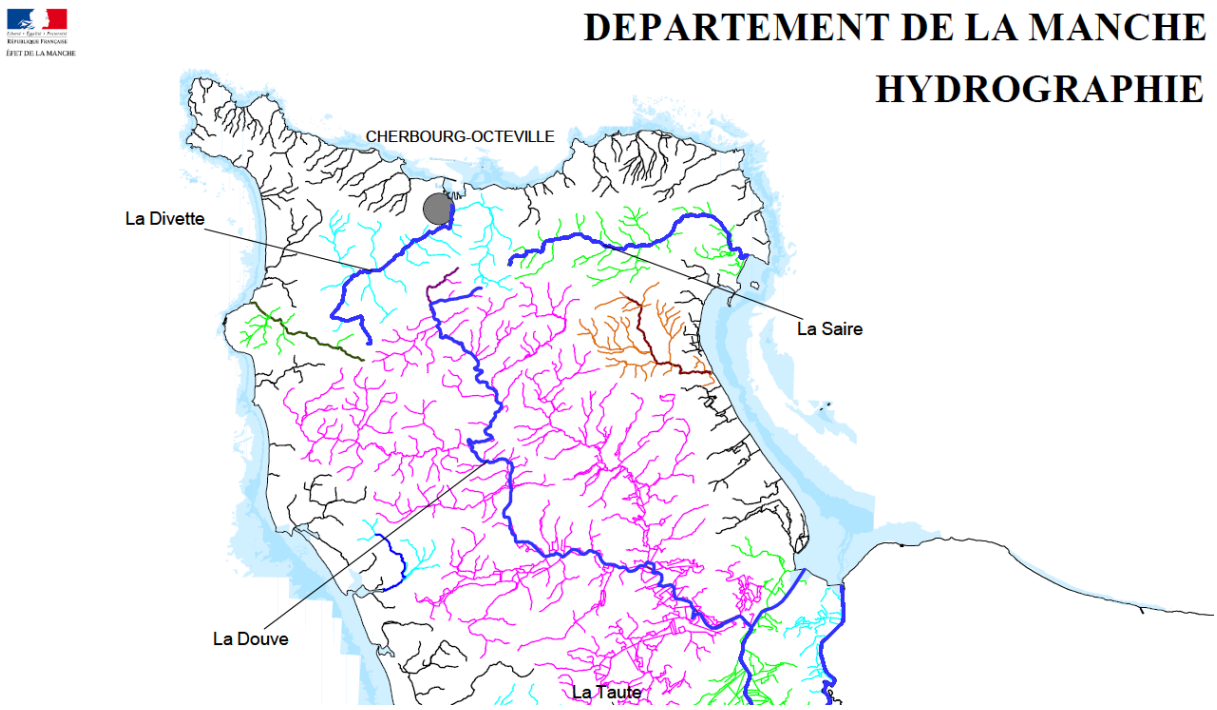


Figure 26 : Carte de l'hydrographie du Cotentin, DDTM de la Manche, 2013 (d'après BD Carto et BD CARTHAGE) (sur manche.gouv.fr)

La **topographie marquée** et le **sous-sol relativement imperméable** expliquent la **forte densité de cours d'eau**. Ainsi, comme nous allons le voir ultérieurement, les roches ne présentent pas toutes la même porosité et favorisent plus ou moins l'infiltration ou l'écoulement.

Dans le Cotentin, l'écoulement est important et on retrouve de nombreux cours d'eau (*cf. Figure 26 : Carte de l'hydrographie du Cotentin, DDTM de la Manche, 2013 (d'après BD Carto et BD CARTHAGE) (sur manche.gouv.fr)*). On peut repérer **trois principaux cours d'eau** aux longueurs et aux surfaces de bassins versants élevées, que sont la Douve, la Divette et la Saire. Ces cours d'eau prennent leurs sources au niveau des altitudes les plus élevées, entre Cherbourg et Valognes, et sont alimentés par de nombreux affluents. Ce sont des exceptions sur le Cotentin car la grande majorité des cours d'eau sont des **petits cours d'eau côtiers** de quelques kilomètres de long.

Sur les deux secteurs d'études, il y a de **nombreuses zones humides** qui peuvent former des marais pendant la période hivernale. Plusieurs fossés ont été creusés pour permettre le drainage. C'est le cas au niveau d'Aumeville-Lestre. Quelques **petits fleuves côtiers** ont leurs embouchures dans les secteurs d'étude, la **Sinope** se jette dans la mer au niveau du port de Quinéville, et le **But** au niveau du Rozel. Ce sont les deux cours d'eau côtiers les plus importants des secteurs. Ailleurs, il s'agit de **petits cours d'eau aux faibles bassins versants**.

1.1.2.3. Le Cotentin : deux façades aux géologies distinctes

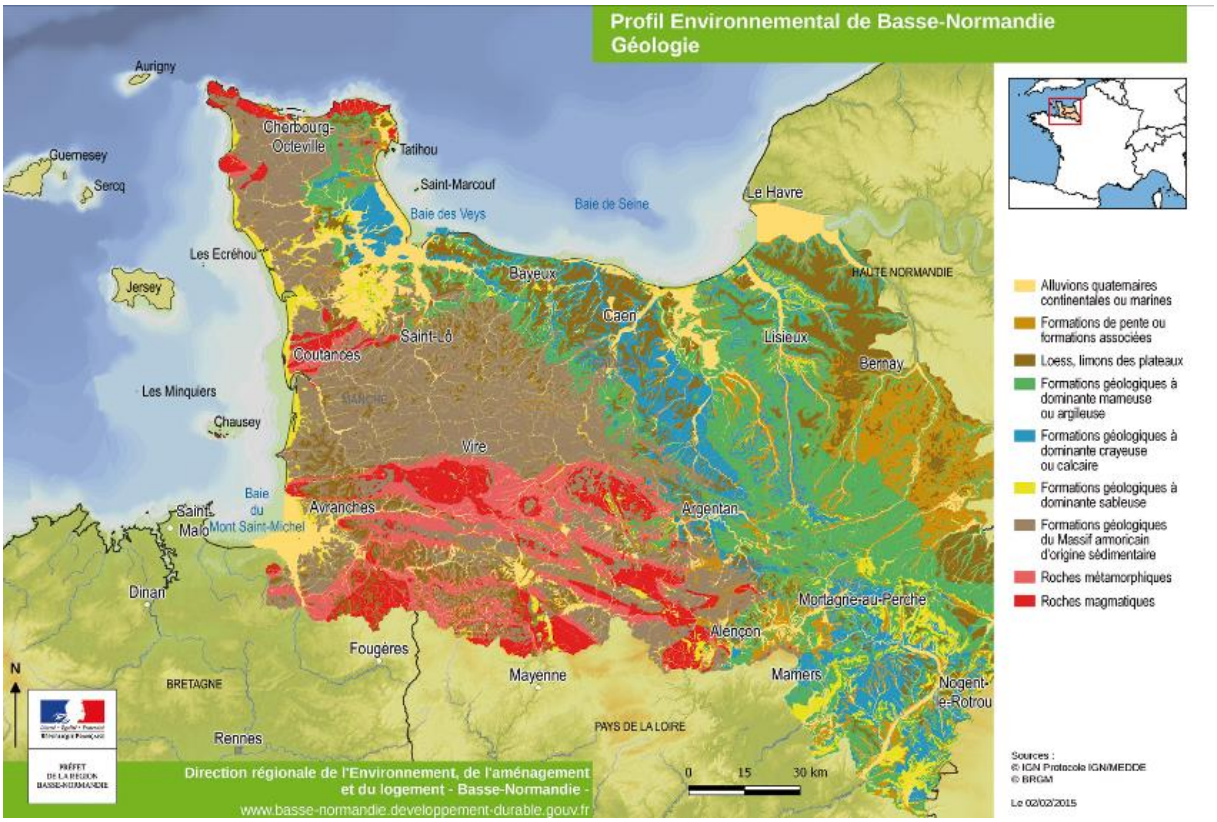


Figure 27 : Carte géologique de la Basse-Normandie, DREAL de Basse-Normandie, 2015 (dans Profil Environnemental de Basse-Normandie, Partie Sous-sols)

La géologie bas-normande présente deux grands ensembles distincts. Dans la partie occidentale se trouve le **Massif armoricain**, jusqu'à une diagonale qui s'étend grossièrement de la baie des Veys à Argentan. A l'Est, c'est la partie occidentale du **Bassin sédimentaire parisien** qui recouvre le Massif armoricain par des éléments des ères secondaires et tertiaires (*cf. Figure 27 : Carte géologique de la Basse-Normandie, DREAL de Basse-Normandie, 2015 (*dans Profil Environnemental de Basse-Normandie, Partie Sous-sols)). « *A l'Ouest, le Massif armoricain, fortement plissé, forme des paysages de collines bocagères, incisées de vallées plus ou moins échancrées et parcourues de zones humides. A l'Est, le Bassin parisien propose un relief plus doux de plaines et de plateaux, aux vallées ouvertes ou en auge, et quelques collines* » (*DREAL, 2015*).

La Basse-Normandie a connu de **nombreuses phases** qui expliquent la géologie et la géomorphologie très variées. A l'aide de la partie Sous-sols du Profil environnemental de Basse-Normandie de la DREAL (*DREAL, 2015*) et des guides géologiques régionaux du BRGM, il est possible de repérer les grandes lignes explicatives de la géologie.

Les « *roches les plus anciennes de France* » (2 milliards d'années), les gneiss de l'anse du Cul Rond, dans la Hague se sont formés dans l'écorce terrestre.

Au Néo-Protérozoïque (-640 à -540 millions d'années), il y a eu **l'orogénèse cadomienne**, qui a formé la grande chaine de montagne homonyme selon une ligne directrice Nord-Est à Sud-Ouest. Le volcanisme et les fortes pressions ont contribué à la présence de granodiorites et de roches métamorphisées (schistes, cornéennes). Après cette phase, une période d'érosion a vu le jour avec de nombreux dépôts.

Au Cambrien, une phase de **transgression marine** a débuté (-540 millions d'années) et a amené des dépôts sur les littoraux d'alors (schistes et grès). De nouvelles montées de magma ont lieu. La plaque armoricaine était alors très instable, avec des phases de régressions et transgressions marines jusqu'à -480 millions d'années (Ordovicien). La position a également beaucoup varié, des pôles aux tropiques (« *traces de récifs coraliens à Baubigny* ») puis vers le Nord.

L'orogénèse varisque (aussi appelée orogénèse hercynienne) s'est produite entre -360 et -320 millions d'années selon une ligne directrice Ouest-Nord-Ouest à Est-Sud-Est. De nombreux plis sont alors apparus car il y a eu double-orogénèse (cadomienne et varisque). Par la fusion de la croute armoricaine, des granites très durs se sont formés (granite de Flamanville).

Depuis -300 millions d'années jusqu'à la fin du Trias (-200 millions d'années), il y a eu une longue phase d'érosion et d'aplanissement de la plaque (**pénéplanation**). De nombreux dépôts « *s'épandent dans les dépressions et bassins continentaux* ».

La **transgression jurassique** a débuté alors, en recouvrant l'ex Basse-Normandie par succession de cycles. Un sillon sous-marin, le « *sillon marneux* » existait alors entre le massif armoricain et le bassin parisien, qui a été le lieu de dépôts argileux.

A la fin du Jurassique (-145 millions d'années), **l'ouverture de l'Atlantique-Nord** par la formation d'un rift a provoqué l'étirement de la plaque et une régression marine.

De -95 à -65 millions d'années, c'était la **transgression crétacée**, qui a permis à la mer d'atteindre un niveau plus élevé que lors de la transgression précédente. De nombreux dépôts de craie ont eu lieu à cette période.

A -65 millions d'années, la formation des Alpes provoque « *un nouveau champ de contraintes* » et des « *bassins d'effondrement* ». Une période de **régression marine** est alors apparue, accompagnée d'une nouvelle **pénéplanation**.

A -2,6 millions d'années, la position de l'ex Basse-Normandie était alors proche de celle d'aujourd'hui, et une **phase de glaciation** a débuté avec une importante **régression marine** amenant le niveau de la mer « *120 mètres sous l'actuel* ». A la fin de cette période, il y a eu une forte érosion et des dépôts de lœss (limons) et une remontée du niveau marin.

Pendant l'Holocène, vers -15 000, il y a eu la dernière phase de **transgression marine**. Pendant le maximum de celle-ci, vers -2 000, les marais du Cotentin ont notamment été recouverts. Il y a eu ensuite évolution du niveau marin jusqu'à l'actuel.

La géologie est donc très dépendante des évolutions de niveau marin et donc des grandes variations de température et de la tectonique des plaques (*DREAL, 2015*).

Cette géologie a des influences sur **l'érosion plus ou moins rapide des côtes** selon la résistance des roches, et sur la **densité ou non de cours d'eau** selon l'imperméabilité et la porosité de ces mêmes roches. Il s'avère que la partie où le massif armoricain est prédominant est celle où il y a le plus de cours d'eau. Le bassin sédimentaire est constitué de roches plus poreuses qui facilitent l'infiltration de l'eau et non l'écoulement.

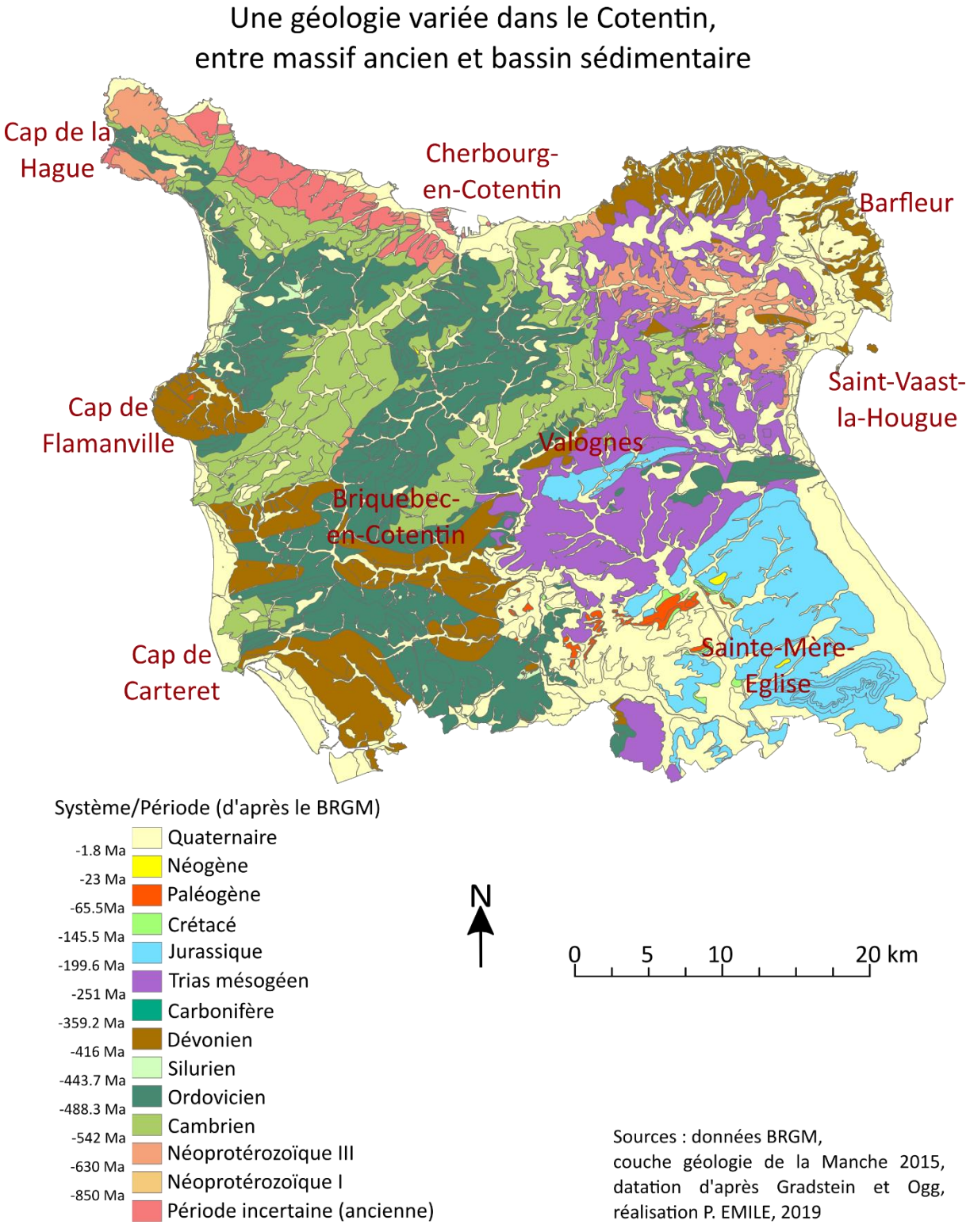


Figure 28 : Carte géologique du Cotentin, P. EMILE, 2019

Le Cotentin se situe dans la partie **Nord-Est du massif armoricain**, en bordure du golfe normand-breton, et à proximité du bassin sédimentaire parisien. Sa géologie se compose donc d'éléments variés, de roches dures très anciennes, de calcaires du Jurassique, ou encore d'alluvions récentes.

A partir des données disponibles sur le site du BRGM (*brgm.fr*) et d'une échelle des temps géologiques (*cf. Annexe 13*), il est possible de reconstituer les âges des roches du Cotentin (*cf. Figure 28 : Carte géologique du Cotentin, P. EMILE, 2019* ; *Gradstein et Ogg, 2004, in Echelle des temps géologiques du BRGM, 2006*).

Sur la plupart des échelles géologiques, on retrouve une différenciation en 6 niveaux : Eonothème / Ere / système (ou période) / âge (ou série ou époque) / étage / sous-étage.

Pour résumer la géologie du Cotentin, j'ai choisi une différenciation selon 3 niveaux :
Eonothème / **Ere** / Période (*cf. Figure 29 : Tableau-résumé de la géologie du Cotentin, P. EMILE, 2019*).

Phanérozoïque	
Cénozoïque	
Quaternaire	0 à -1,806 (en millions d'années Before Present)
Néogène	Débute en -23,03
Paléogène	-65,5 (+/-0,3)
Mésozoïque	
Crétacé	-145,5 (+/-4)
Jurassique	-199,6 (+/- 0,6)
Trias mésogéen	-251 (+/- 0,4)
Paléozoïque	
Permien (pas présent)	*-299 (+/- 0,8)*
Carbonifère	-359.2 (+/-0,5)
Dévonien	-416 (+/-2,8)
Silurien	-443,7 (+/- 1,5)
Ordovicien	-488,3 (+/-1,7
Cambrien	-542 (+/-1)
Précambrien	
Néo-Protérozoïque	
Néoprotérozoïque III	-630
Néoprotérozoïque II (pas présent)	*-850*
Néoprotérozoïque I	-1000

Figure 29 : Tableau-résumé de la géologie du Cotentin, P. EMILE, 2019

Une des caractéristiques des littoraux du Cotentin est la présence de **falaises mortes**, à quelques centaines de mètres du rivage. Il s'agit d'anciennes falaises vives qui ne subissent plus l'action de la mer. Leur position est celle des anciens niveaux marins des précédentes transgressions marines.

Le Cotentin est, à l'image de la Basse-Normandie, formé par le Massif armoricain à l'Ouest, et à l'Est, c'est une **géologie « de transition » entre Massif armoricain et Bassin sédimentaire parisien**.

Au Nord-Ouest, et au Nord-Est du Cotentin, on retrouve les **roches dures** les plus anciennes (essentiellement du Néo-Protérozoïque). Il s'agit majoritairement de gneiss et de granites à l'Ouest, et de siltites, argilites et grès du Briovérien à l'Est (Formations de St-Lô).

Dans la moitié occidentale, on retrouve plutôt des éléments du Cambrien et de l'Ordovicien, en grande partie des **schistes et grès**, qui composent en partie les falaises mortes.

Sur les côtes Ouest et Nord du Cotentin, et notamment sur les **caps rocheux** on retrouve des roches très résistantes du Dévonien, essentiellement des granites et monzogranites (granites de Flamanville, de Barfleur), des grès, des schistes et des calcaires (calcaires de Néhou).

Dans la moitié orientale, mis à part l'espace constitué d'éléments du Briovérien, on retrouve principalement des **éléments du Trias et du Jurassique** composés d'argiles, de sables, de calcaires ou encore de calcaires marneux. Ces éléments moins anciens recouvrent en partie le Massif armoricain.

Sur le reste du Cotentin, dans les zones basses ou près des côtes, il s'agit essentiellement d'éléments du Quaternaire sous forme d'**alluvions récentes** ou de dunes récentes. Les zones littorales d'alluvions récentes sont en partie des « ***anciennes terrasses marines*** *formées à la période interglaciaire Riss-Würm* » (vers -90 000 à -70 000 BP) (SOGREAH, 1986).

1.1.2.3.1. La géologie du secteur Ouest-Cotentin : des roches anciennes et des dépôts dunaires du Quaternaire

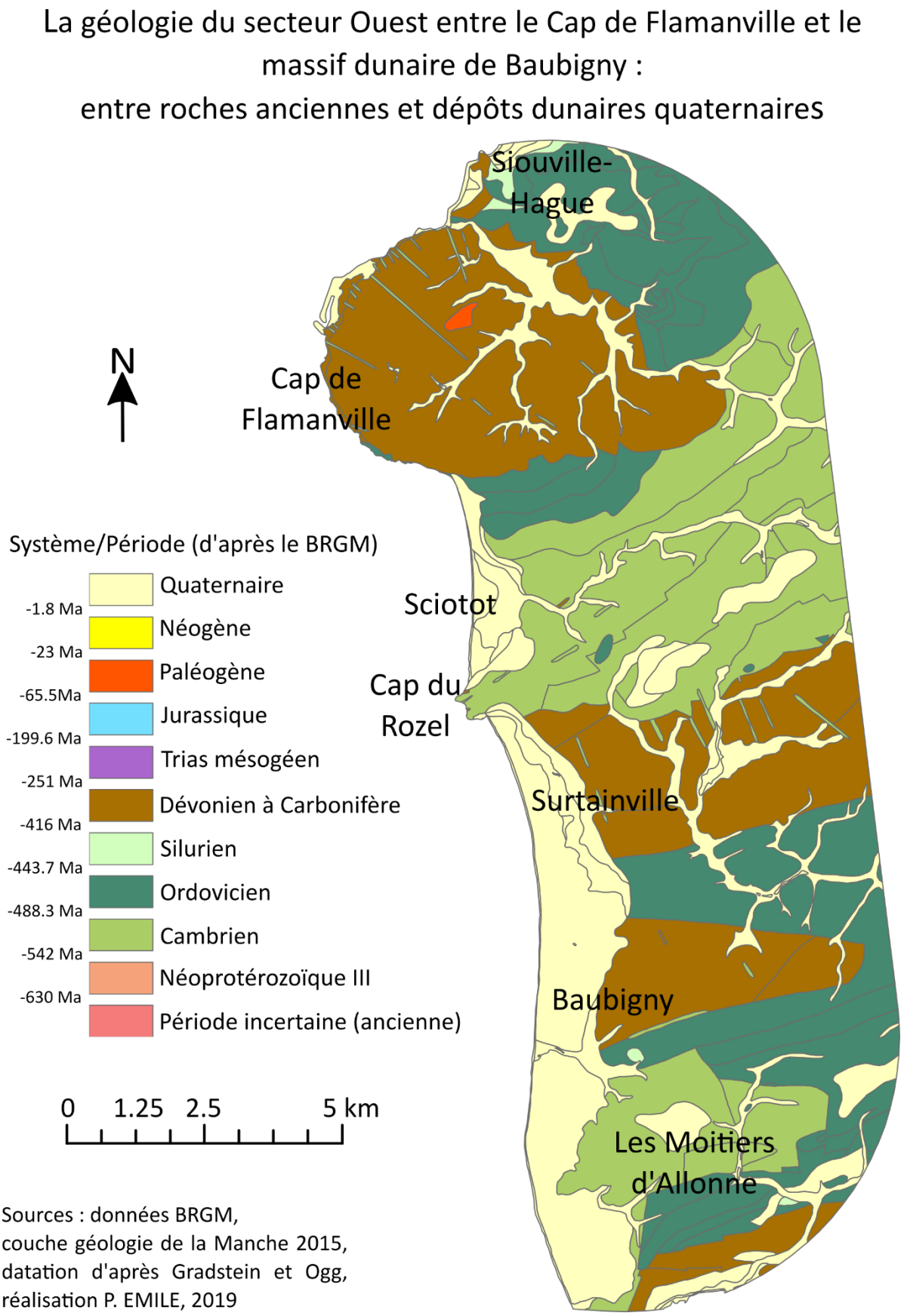


Figure 30 : Carte géologique du secteur Ouest-Cotentin, P. EMILE, 2019

Le secteur Ouest est marqué par la présence importante d'éléments du **Cambrien** (-542 à -488 millions d'années), c'est-à-dire formés peu après l'orogénèse cadomienne. Ces éléments du Cambrien sont présents sous formes de **schistes**, de **grès** et de **conglomérats**. Ils sont hérités de la transgression marine qui a amené de nombreux dépôts sur les rivages d'alors, ce sont les éléments des falaises mortes. Le Cap du Rozel est notamment formé par ces roches anciennes.

Au voisinage de ces éléments du Cambrien, on remarque des espaces importants composés d'éléments de l'**Ordovicien** (-488 à -443 millions d'années). Il s'agit majoritairement de **schistes** et de **grès**, qui sont eux aussi vestiges de la suite de la transgression marine. Le Cap du Rozel est notamment composé de roches issues de cette période.

Les éléments du **Dévonien** (de -416 à -359 millions d'années) au **Carbonifère** (-359 à -300 millions d'années) sont également marquants sur le secteur. Il s'agit des **granites de Flamanville** sur le Cap de Flamanville et de trois ensembles au Sud du Cap du Rozel, qui sont composés de **grès**, et par endroits de **schistes et calcaires de Néhou**. Il s'agit de roches dures et plus résistantes à l'érosion, formés aux environs de la période de l'orogénèse varisque. Ceux qui se sont formés avant présentent donc des plis hérités de celle-ci (direction ONO-ESE). Les granites de Flamanville ont été mis en place après l'orogénèse, par un « *mélange de deux magmas* » (*DREAL, 2015*).

Enfin, sur le reste du secteur, on retrouve des éléments du Quaternaire. Ceux-ci se présentent sous plusieurs formes. Il y a des **dépôts de lœss** dans des dépressions, des **formations colluvionnées** et des **alluvions** dans les cours d'eau. Enfin, sur la côte, ce sont des **dunes récentes**, auxquels succèdent des **dépôts d'alluvions** quelques centaines de mètres en arrière du rivage.

Mis à part les éléments du Quaternaire, la quasi-totalité du secteur a subi **l'orogénèse varisque**, des périodes de **pénéplanation** et des **transgressions et régressions marines successives**.

1.1.2.3.2. La géologie du secteur Est-Cotentin : des éléments du Bassin sédimentaire et des dépôts du Quaternaire qui recouvrent partiellement le Massif armoricain

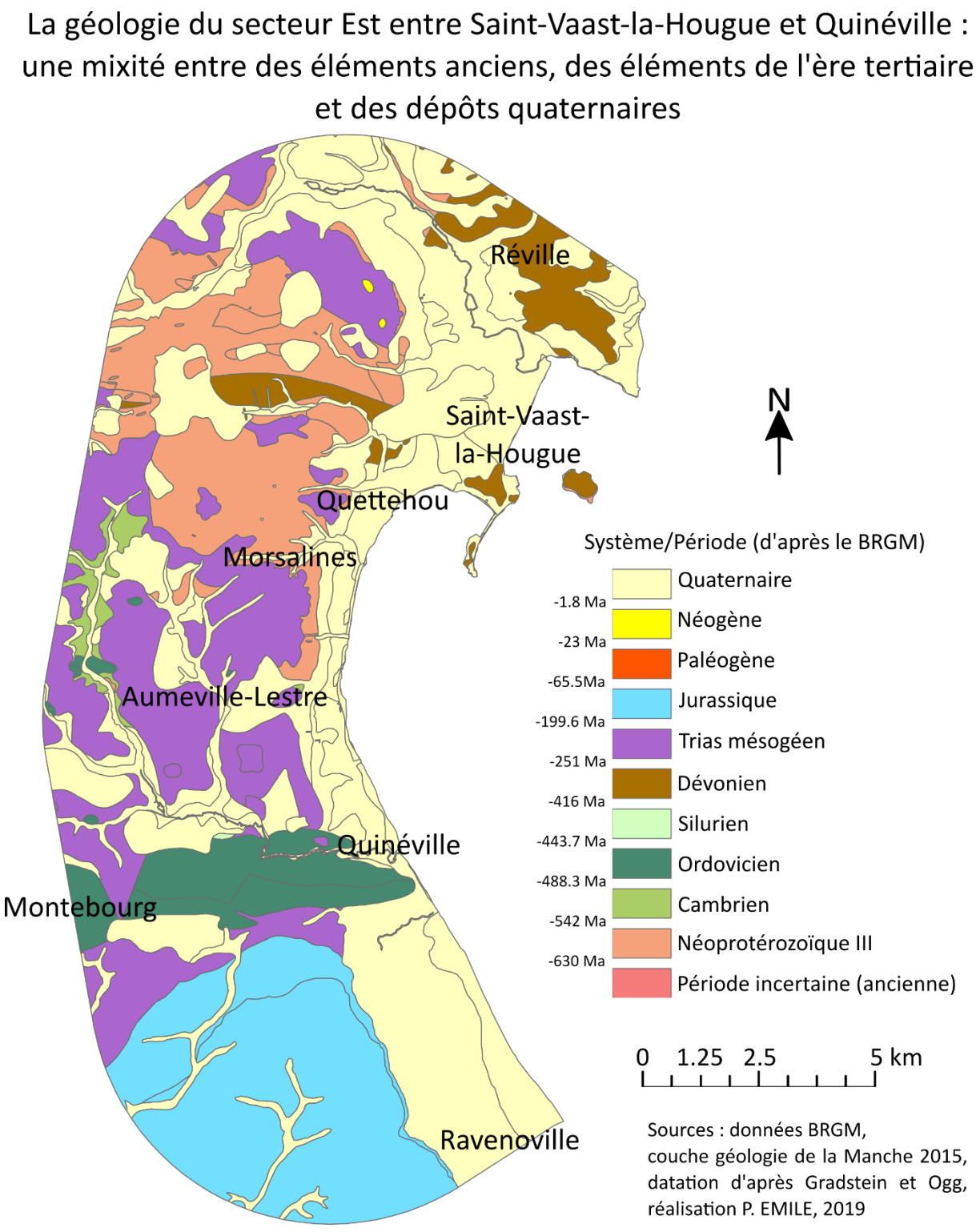


Figure 31 : Carte géologique du secteur Est-Cotentin, P. EMILE, 2019

A l'Ouest de Saint-Vaast-la-Hougue, au niveau de Le Vast et de La Pernelle, on retrouve les éléments les plus anciens du secteur. Il s'agit d'éléments du **Néo-Protérozoïque III** (de -630 à -540 millions d'années), c'est-à-dire datant de l'orogénèse cadomienne. Ces éléments sont sous forme de siltites, d'argilites et de grès (**formations de St-Lô**), de l'âge du Briovérien.

Quelques éléments du **Cambrien** (-542 à -388 millions d'années) et de l'**Ordovicien** (-488 à - 443 millions d'années) sont présents au niveau de Quinéville et de Montebourg. Il s'agit de **schistes** et de **grès** (grès armoricain et grès de May-sur-Orne). A Quinéville, ces traces peuvent s'apparenter à une falaise morte.

Des éléments de la période du **Dévonien** (-416 à -359 millions d'années) sont visibles au Nord du secteur. Il s'agit de **monzogranites**, roches dures formées avant l'orogénèse varisque.

Un espace important se compose d'éléments du **Trias** (-251 à -200 millions d'années). Il s'agit majoritairement d'**argiles**, de **sables**, de **cailloutis** ou de **conglomérats**, déposés pendant la phase de pénéplanation. Il s'agit ainsi d'éléments qui n'ont pas connu d'orogénèse importante.

Au Sud du secteur, commence un espace qui s'étend jusqu'à la Baie des Veys et qui est composé d'éléments du **Jurassique** (-200 à -145 millions d'années). Il s'agit surtout de **calcaires marneux**, d'**argiles** ou encore de **calcaires**, déposés lors d'une transgression marine importante.

Enfin, de nombreux éléments du **Quaternaire** ont été disposés lors des dernières phases de régressions et transgressions marines. Pour les espaces les plus éloignés des côtes, il s'agit de dépôts de **lœss** ou de **dépôts de solifluxion**. Dans les cours d'eau, on retrouve des **alluvions récentes**. Enfin, auprès du rivage, il s'agit essentiellement de dépôts d'**alluvions récentes** jusqu'à quelques centaines de mètres du trait de côte, et plus près de celui-ci, ce sont des **sables et galets marins** ou encore des **dunes récentes**.

Sur ce secteur, globalement au Nord, une minorité de la géologie de surface date d'**avant les deux orogénèses** (cadomienne et varisque) et a donc connu deux phases de plissements. Une faible part a connu seulement l'orogénèse varisque. Ce sont des traces du **Massif armoricain**.

La majorité restante n'a donc pas connu de plissements très importants mais des phases de **pénéplanation et des successions de régressions et transgressions marines**. Il s'agit d'éléments de l'ère Tertiaire (Trias et Jurassique). Ces éléments sont des traces du **Bassin sédimentaire** (limite du Bassin parisien) qui recouvre le Massif armoricain sur son extrémité.

Enfin, le long des côtes, et plus ponctuellement à quelques kilomètres, se trouvent des éléments du Quaternaire, sous forme notamment de **lœss et d'alluvions récentes**.

Ce secteur Est est donc un **lieu de transition et de lien** entre le Massif armoricain et le Bassin sédimentaire parisien.

1.1.3. Conclusion de partie

J'ai fait le choix d'étudier **deux secteurs du Nord-Cotentin** d'une dizaine de kilomètres sur les deux façades maritimes Est et Ouest. Malgré leur relative proximité (50 km), ils présentent des **caractéristiques distinctes** au niveau de **l'artificialisation** et des temporalités de celle-ci, avec une attraction balnéaire ancienne sur le secteur Est. Du point de vue de la **géographie physique**, des différences apparaissent par la géomorphologie, la géologie ou la topographie du fait de la situation en bordure de Massif armoricain et de Bassin sédimentaire Parisien.

1.2. Des conditions hydrodynamiques et météorologiques plus exigeantes sur la côte Ouest, pour des dynamiques hydrosédimentaires distinctes de la côte Est plus abritée

1.2.1. Contexte météorologique et hydrodynamique : le vent, la houle et les courants de marée

1.2.1.1. Contexte général du Cotentin

1.2.1.1.1. Le climat du Cotentin : un climat tempéré à la forte influence maritime

Le climat du Cotentin est, à l'image de celui de la Basse-Normandie, de type **tempéré océanique**. L'influence littorale est très forte et se traduit par des précipitations assez fréquentes, des températures tempérées toute l'année et une place du vent importante.

Ainsi, lors des dernières années, il y a eu de **120 à 160 jours de pluies**, avec des différences de volumes dues à la proximité avec la mer et au relief. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de **800 à 1000 mm le long du littoral** et de 1000 à 1100 mm dans les terres. Les volumes annuels sont encore plus importants dans le bocage sud-manchois, au relief plus marqué, avec jusqu'à 1300 mm (*Département de la Manche, 2014, d'après Météo-France*).

Les **températures sont tempérées**, à la fois aux échelles annuelles et journalières. Elles sont douces l'hiver et plutôt fraiches l'été. L'influence de la mer est ici très importante, surtout sur la côte, avec un rôle de régulateur thermique. Il y a environ 6 jours/an de gel sur le littoral et peu de jours de grandes chaleurs (*Département de la Manche, 2014, d'après Météo-France*). Ces chiffres augmentent rapidement vers l'intérieur des terres et le Sud du département.

Les côtes du Cotentin sont réputées pour être **soumises au vent** de façon importante. Les côtes Ouest et Est présentent cependant des dissimilarités importantes.

Le Cotentin est, du fait de sa latitude, majoritairement **exposé à des flux d'Ouest**. La partie orientale se retrouve ainsi plus abritée. Les vents sont forts et fréquents, surtout sur les côtes Ouest et Nord qui font face aux provenances de vents dominantes (cf. *Figure 32 : Carte des vents annuels sur les côtes de Basse-Normandie, représentation par roses des vents, IFREMER, 2008 (sur ifremer.fr)*).

Les vents de mer peuvent atteindre des vitesses de 150 km/h, surtout près du Cap de la Hague qui est l'endroit le plus exposé. La station de La Hague connait ainsi, d'après la Normale de 1981 à 2000, **144,7 jours de vent supérieur à 16 m/s** (57,6 km/h) et 7,5 jours de vent supérieur à 28 m/s (100,8 km/h) (*DREAL, 2015 (partie climat)*). Même si La Hague est soumise de façon plus importante aux vents en raison de sa position, ces chiffres sont assez représentatifs du littoral Nord-Ouest du Cotentin.

Le vent a sur la mer un rôle de « *rétroaction positive ou négative selon sa direction et celle des courants* ». En théorie, sur un « *plan d'eau calme, le vent engendre un courant d'une vitesse de 1 à 2 % de sa propre vitesse* » (*SOGREAH, 1986*).

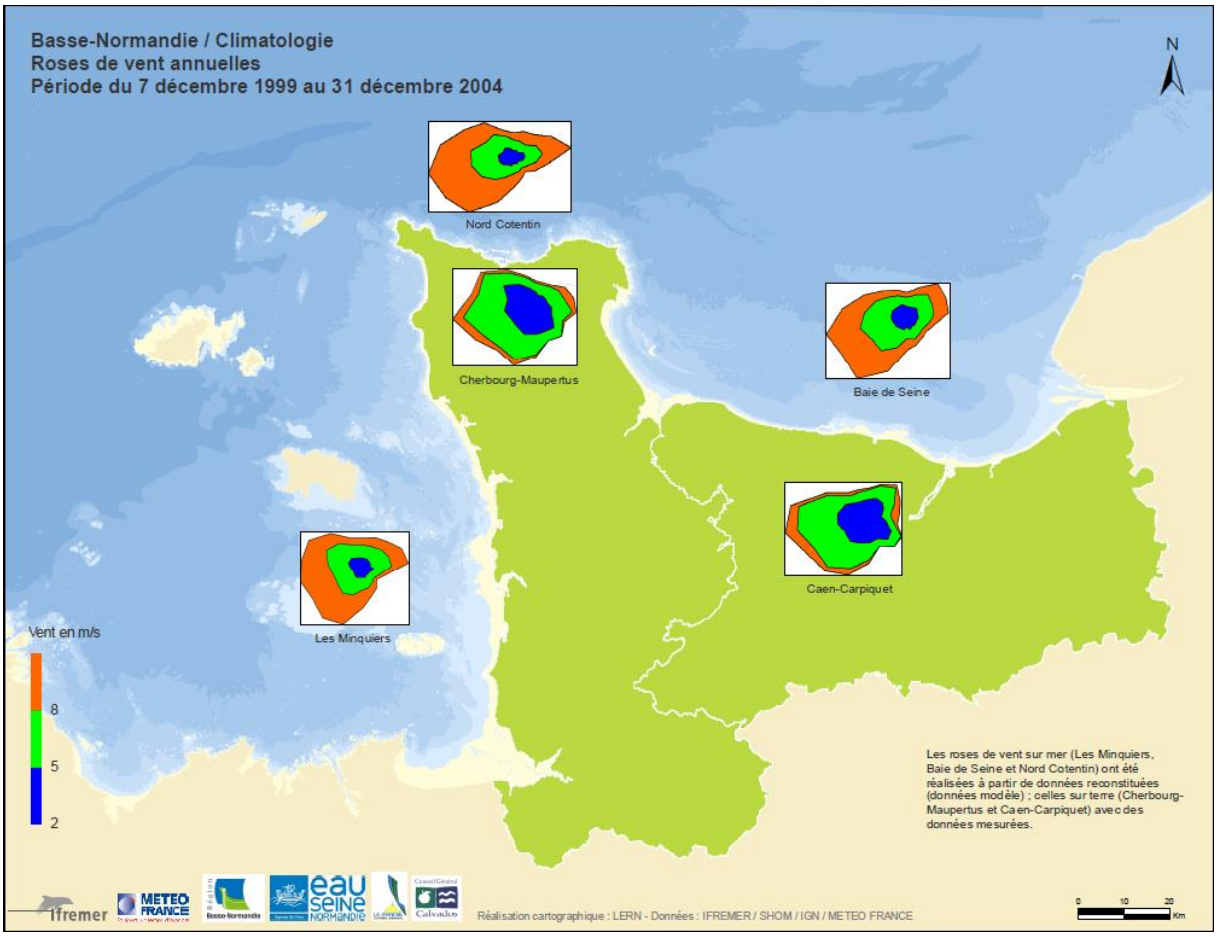


Figure 32 : Carte des vents annuels sur les côtes de Basse-Normandie, représentation par roses des vents, IFREMER, 2008 (sur ifremer.fr)

1.2.1.1.2. Des côtes macrotidales

Le littoral du Cotentin est constitué de **côtes macrotidales**, c'est-à-dire que le marnage y est important. Ce marnage s'explique notamment par la forme du bassin du golfe normand-breton et les pentes assez importantes des fonds.

La marée a une amplitude minimale à Cherbourg (5 m en marée de vive-eau, 2 m en morte-eau) et cette **amplitude augmente vers le Sud** pour atteindre un maximum de 15 m en marée de vive-eau au Mont-St-Michel (*cf. Figure 33 : Carte de l'évolution de la marée réelle dans la Manche, Ifremer, 2001 (sur www.ifremer.fr)*). Le marnage est plus important sur la côte Ouest que sur la côte Est en raison de la pente plus importante des fonds à l'approche des côtes, et des courants de marée plus forts.

Le marnage élevé s'accompagne ici d'une **largeur d'estran importante** sur l'ensemble du Cotentin, parfois supérieur à 1 km.

Comme sur toutes les plages, le marnage varie selon un **coefficient de marée** (de 20 à 120) résultant de l'alignement des astres (lune, soleil, terre) (*cf. Introduction I.3.2.5 La marée astronomique, p 17*). Les marées de vive-eau (coefficient élevé) se distinguent des marées de morte-eau (coefficient faible). Les variations de coefficient de marée induisent des variations des niveaux atteints par la mer sur la plage.

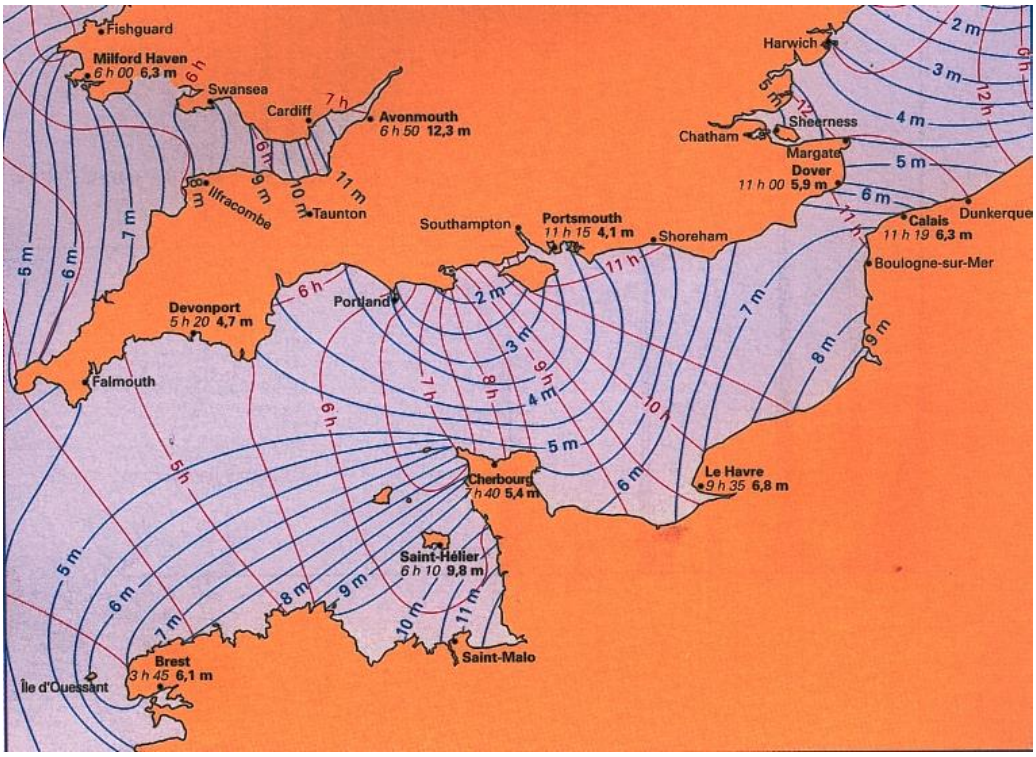


Figure 33 : Carte de l'évolution de la marée réelle dans la Manche, Ifremer, 2001 (sur www.ifremer.fr)

1.2.1.1.3. Des houles perturbées par les îles, îlots et fonds sableux

Pour rappel, la houle est constituée d'une succession de vagues provoquées par le vent. Ces vagues génèrent un courant qui se dirige vers la côte de manière plus ou moins oblique, avant que les vagues ne déferlent (*cf. Introduction I.3.2.7 Les houles, p 18*).

Le Cotentin présente des conditions d'exposition aux houles variables. En effet, il y a « ***perturbation par des îles et îlots*** » (iles anglo-normandes, St-Marcouf) et des « *fonds de pentes différentes* » (*SOGREAH, 1986*).

Les îlots s'avèrent être des obstacles à la houle qui doit les contourner par réfraction. Les courants sont donc perturbés et les champs de courants sont complexes. Selon la direction du vent qui a créé la houle, la direction de celle-ci diffère, mais la majeure partie du temps les houles arrivent sur les côtes du Cotentin par le **Nord-Ouest** (cf. *Figure 34 : Carte de la propagation d'une houle de Nord-Nord-Ouest dans le Golfe normand-breton, Godet, 2008 (in. Agence des Aires marines protégées, 2012, Fiche fonctionnalités écologiques et services rendus dans le GNB) (sur aires-marines.fr)*). Cette direction oblique par rapport à la côte provoque un **courant littoral** parallèle au trait de côte (courant longshore) et une dérive littorale d'estran.

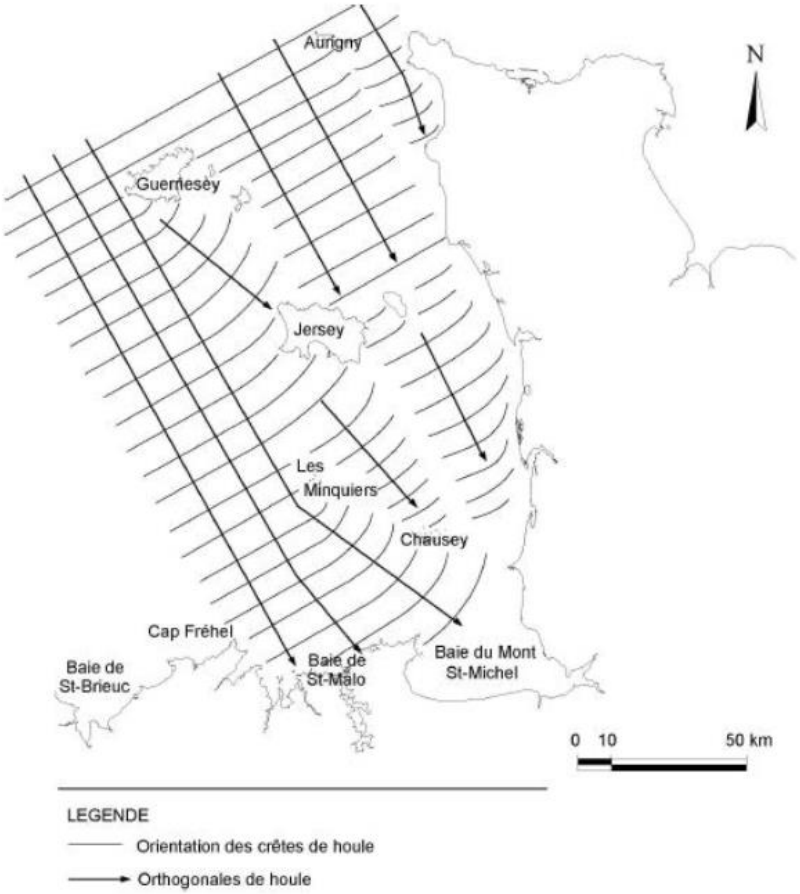


Figure 34 : Carte de la propagation d'une houle de Nord-Nord-Ouest dans le Golfe normand-breton, Godet, 2008 (in. Agence des Aires marines protégées, 2012, Fiche fonctionnalités écologiques et services rendus dans le GNB) (sur aires-marines.fr)

L'action de la houle prédomine entre la côte et la **limite d'action des houles** à environ 7 à 10 m de profondeur (*MEDDE, 2010*). Au-delà, ce sont les courants de marée qui jouent un rôle plus important. C'est également l'action du courant de marée qui prédomine dans les baies et estuaires.

1.2.1.2. Dans le secteur Ouest : des contraintes importantes sur la côte et le rôle du Golfe normand-breton

Le secteur Ouest est situé dans la partie orientale du **Golfe normand-breton**. Cet ensemble s'étend de la Baie de St-Brieuc au Cap de la Hague. Il s'agit en quelque sorte de la continuité, aujourd'hui sous-marine, du **Massif armoricain**. Les fonds sont très irréguliers, avec plusieurs **îles et îlots rocheux** et des côtes aux morphologies variées. Les fonds sont également composés de réserves de sédiments hérités des transgressions et régressions marines anciennes. Les îlots et caps rocheux font office de « ***protection contre la houle*** » et « *d'obstacles aux flux d'Ouest* » (*Levoy, 1994*).

La pente relativement faible des fonds à l'approche des côtes favorise les **larges estrans** rencontrés sur la côte occidentale du Cotentin.

Les principales îles au large de la côte Ouest du Cotentin

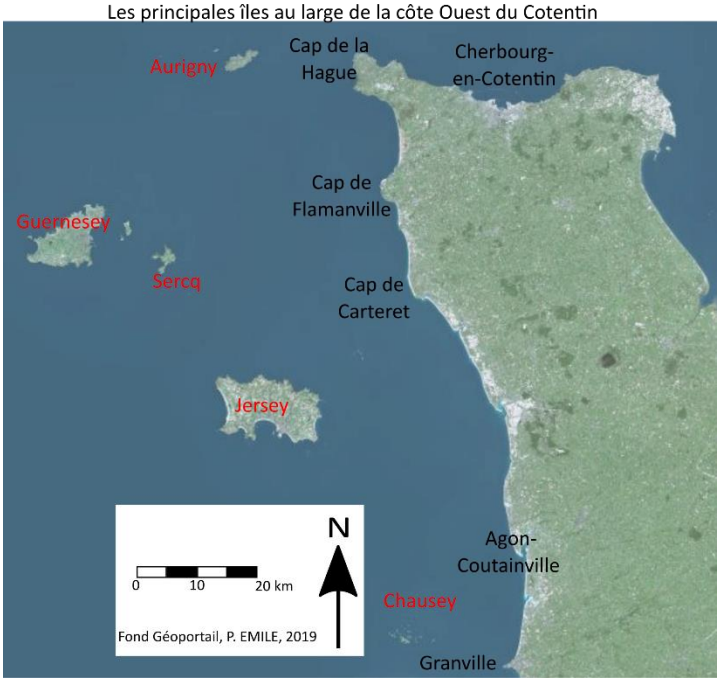


Figure 35 : Photographie aérienne des iles au large de la côte Ouest-Cotentin (images Géoportail), P. EMILE, 2019

Le marnage est important sur ce secteur Ouest avec **8 à 9 m d'amplitude** en marées de vive-eau (*cf. Figure 33 : Carte de l'évolution de la marée réelle dans la Manche, Ifremer, 2001 (sur www.ifremer.fr)*). Il s'agit donc de **côtes macrotidales**.

L'onde de marée se propage « *en pivotant autour d'un point au large de Guernesey* » et le courant est **alternatif** (aller-retour), « *sauf autour des îles anglo-normandes où il est giratoire* ».

La marée remplit le Golfe normand-breton d'abord par l'Ouest dans un sens **anti-horaire** (*Levoy, 1994*). Le flot du courant de marée suit une direction Nord-Nord-Est, et il y a « *variation des champs de courant avec la bathymétrie* ». La vitesse est similaire entre flot et jusant avec environ 3 nœuds.

On peut observer une « *augmentation de l'intensité du courant de marée jusqu'à la pleine-mer* » et une augmentation avec les coefficients de marée (*Levoy, 1994*).

La **hauteur significative de houle** est la hauteur « *moyenne du tiers des vagues les plus hautes pendant 20 mn* » (*Paskoff et Clus-Auby, 2007*). Elle est de « ***3 à 4 m*** *au Nord de Carteret* » (*SOGREAH, 1986*). Ces hauteurs significatives sont « *décroissantes du Nord au Sud de la côte Ouest* » en raison de la « *pente des fonds plus importante au Nord* » (*Levoy, 1994*).

Les **houles de périodes inférieures à 6 secondes** « *générées par des vents locaux* » sont prédominantes (*Levoy, 1994*). Il y a également des houles de périodes de « *8 à 11 secondes* » en raison de l'exposition aux houles du large (*SOGREAH, 1986*).

Ainsi, les côtes sont faiblement exposées « *aux fortes houles* » en raison de la bathymétrie qui « *amortit* » les houles. Cet amortissement est « *plus ou moins important selon la hauteur d'eau* », et donc de la marée. Sur le principe, les conditions se révèlent alors plutôt « *favorables à long terme à l'accumulation sédimentaire* » (*Levoy, 1994*).

Les houles sont majoritairement de **provenance Ouest-Nord-Ouest** (*SOGREAH, 1986*) (*cf. Figure 34 : Carte de la propagation d'une houle de Nord-Nord-Ouest dans le Golfe normand-breton, Godet, 2008 (in. Agence des Aires marines protégées, 2012, Fiche fonctionnalités écologiques et services rendus dans le GNB) (sur aires-marines.fr)*). Le fait qu'elles arrivent de façon oblique « *génère un **courant longshore*** » (*Levoy, 1994*) qui favorise la dérive littorale d'estran.

Les houles prédominent sur les courants de marée jusqu'à la limite d'action des houles qui est située sur la côte Ouest vers « *6 à 7 m de profondeur* » (*SOGREAH, 1986*).

Plusieurs **niveaux de surcote** ont été définis par F. Levoy pour la côte Ouest-Cotentin, une surcote décennale de 1,06 m, une surcote centennale de 1,35 m et une surcote milléniale de 1,65 m (*Levoy, 1994*). Une surcote est une élévation ponctuelle du niveau marin. Il s'agit souvent d'une surcote barométrique, liée à la diminution de la pression atmosphérique lors d'une dépression. Le niveau marin s'élève alors, et dans le cas d'une tempête, de vent d'afflux (vers la côte) et de marée de vive-eau, il peut y avoir une submersion marine et l'érosion peut être très importante.

1.2.1.3. Le secteur Est : une position plus abritée

Le secteur Est appartient au domaine de la **Baie de Seine** entre Saint-Vaast-la-Hougue et l'embouchure de Seine et plus précisément au sous-domaine qui s'étend de Saint-Vaast-la-Hougue à la Baie de Veys. La Baie de Seine est la continuité du **Bassin sédimentaire anglo-parisien**. Cette partie qui est aujourd'hui sous l'eau était continentale lors de précédentes régressions marines, des réserves sédimentaires se sont alors constituées. Les fonds sont plus réguliers que dans le Golfe normand-breton mais la partie plus proche du Cotentin étant la limite orientale du Massif armoricain, des traces de celui-ci sont présentes avec la présence de **quelques îles et îlots** tels St-Marcouf ou Tatihou.

La pente des fonds n'étant pas très importante, les **estrans sont larges**.

Le marnage sur la côte Est est moins important qu'à l'Ouest avec une amplitude de « ***5 à 6 m en vive-eau*** » (*SOGREAH, 1986*). Ces marnages moins importants s'expliquent par les obstacles que constituent la Presqu'ile du Cotentin et la **Pointe de Saire** au Nord de Saint-Vaast-la-Hougue.

Le courant de marée est **alternatif** (sauf dans les baies). Le flot suit une direction Est-Sud-Est et est plus court que le jusant au Nord car les côtes y sont abritées des flux d'Ouest et de la réfraction (*SOGREAH, 1986*).

Les **houles sont courtes** avec des périodes de « *5 à 7 secondes* » (*SOGREAH, 1986*). Cela s'explique également par la position abritée. De plus, des **bancs de sable** sont présents à quelques centaines de mètres du littoral sur une dizaines de kilomètre de long (bancs de St-Marcouf et du Cardonnet). Ces bancs font office de protection et **atténuent la puissance de la houle**.

Ces houles sont prédominantes par rapport aux courants de marée jusqu'à « *6 à 7 m de profondeur* » (limite d'action des houles), mis à part dans les baies et estuaires (*SOGREAH, 1986*).

1.2.2. Contexte hydrosédimentaire : cellule hydrosédimentaire, dérive littorale et bancs sableux

1.2.2.1. Contexte hydrosédimentaire du Cotentin

« *C'est la synthèse des données concernant tant les sédiments que les facteurs hydrodynamiques qui permet de définir les conditions d'érosion, transport, dépôt et répartition des sédiments, soit, sous un terme général, la dynamique sédimentaire* » (*SOGREAH, 1986*). Il est donc indispensable de comprendre les caractéristiques des secteurs d'étude pour comprendre les évolutions des traits de côte.

1.2.2.1.1. Les cellules hydrosédimentaires

La notion de cellules hydrosédimentaires a été expliquée en introduction (*cf. I.3.1 Le système littoral, p 13*). Pour rappel, il s'agit de « *systèmes ouverts* » (*Levoy, 1994*) relativement indépendants, dans lesquelles ont lieu des interactions et échanges sédimentaires. L'approche par cellule hydrosédimentaire permet « *de bien prendre en compte l'ensemble des facteurs d'évolution du littoral sur un secteur géographique donné* » (*MEDDE, 2016*). Les sous-cellules sont considérées comme « *suffisamment indépendantes des autres pour considérer qu'une modification dans l'une ne présentera pas d'indices importants sur son voisin* » (*SOGREAH, 1986).*

La mer de la Manche, du Mont-St-Michel à la Baie d'Authie est souvent perçue comme un ensemble et est traitée comme tel (*SOGREAH, 1986 ; ROLNP*). **Trois grands secteurs** structurent cet ensemble, la Manche occidentale, la Manche centrale et la Manche orientale (*cf. Figure 36 : Carte des cellules et sous-cellules hydrosédimentaires de la Baie du Mont-St-Michel à la Baie d'Authie, ROLNP, 2013*). Ces secteurs sont eux-mêmes constitués de **cellules et sous-cellules hydrosédimentaires**.

Ces cellules sont souvent induites par la **morphologie des côtes** (caps, baies) et par les **courants marins** et les obstacles qu'ils ont pu rencontrer (îlots, bancs sableux).

La côte Ouest-Cotentin s'étend sur 125 km et la côte Est-Cotentin sur 50 km.

Sur la partie occidentale du Cotentin, la principale cellule hydrosédimentaire s'étend **du Cap de Flamanville à la pointe de Granville**, elle exclut donc la Baie du Mont-St-Michel au sein de laquelle d'autres dynamiques ont lieu. Cette cellule hydrosédimentaire est constituée de sous-cellules aux tailles variables. Le **secteur d'étude Ouest** respecte les limites de la **sous-cellule de Surtainville**, qui est la plus au Nord de la cellule de l'Ouest-Cotentin. Elle va du Cap de Flamanville au massif dunaire de Baubigny. Le transit cellulaire se fait du Nord au Sud.

A l'Est du Cotentin, c'est la grande cellule de la **Baie de Seine** qui s'étend de Saint-Vaast-la-Hougue à l'embouchure de la Seine. Cette cellule est également composée de sous-cellules dont celle qui s'étend **de Saint-Vaast-la-Hougue à la Baie des Veys**. Cette sous-cellule est parfois considérée comme une cellule à part entière. C'est dans cette sous-cellule que se situe le **secteur d'étude Est**. Il ne respecte pas les limites de la sous-cellule en raison de la taille importante de celui-ci. Il y a deux sens de transits cellulaires, au Nord, il y a un mouvement rotationnel horaire vers le Nord lié à la position d'abri par rapport à la Pointe de la Hougue et la réfraction induite. Au Sud, le transit se fait du Nord au Sud. La Baie des Veys est un lieu de convergence des sédiments et est donc en accrétion.

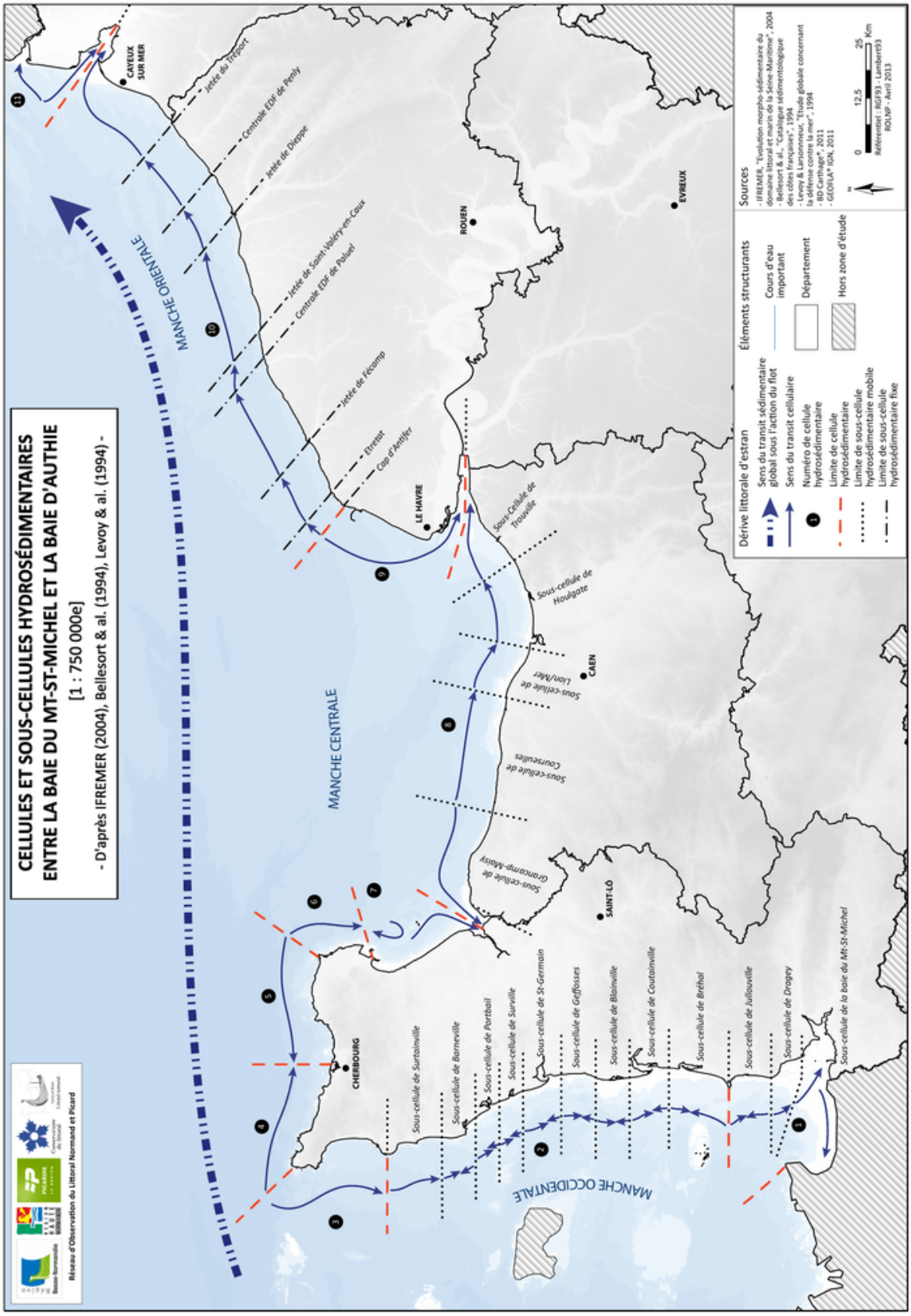


Figure 36 : Carte des cellules et sous-cellules hydrosédimentaires de la Baie du Mont-St-Michel à la Baie d'Authie, ROLNP, 2013

1.2.2.1.2. Les sédiments du Cotentin et les processus sédimentaires au large et auprès des côtes

D'une règle générale, « l*es caractéristiques des sédiments sont liées à celles des agents de transport* » (*SOGREAH, 1986*). Cette idée est en lien avec le principe du **diagramme de Hjulström** qui définit les **tailles des particules** pouvant être érodés, transportés ou déposés (*cf. Figure 37 : Diagramme de Hjulström (simplifié), Hjulström, 1935 (in blogpeda.ac-bordeaux.fr)*).

Pour être entrainés, « *une **force de frottement** minimum* » est nécessaire (*Levoy, 1984*). On considère que cette vitesse critique Ucr est de « *1,8 à 2 cm/s pour un sable de 0,18 mm* » sur la côte Ouest, les sables nécessiteraient pour être mobilisés une vitesse de courant « *d'environ 50 à 55 cm/s* » (*Levoy, 1984*).

Ainsi, les sédiments sont plus grossiers dans les zones où les courants sont plus forts car la capacité de transport est plus élevée. A contrario, dans les zones où les mouvements sont faibles (baies, anses d'accumulation), les sédiments sont souvent très fins, parfois de types argileux (cas de l'Anse du Cul de Loup à Quettehou).

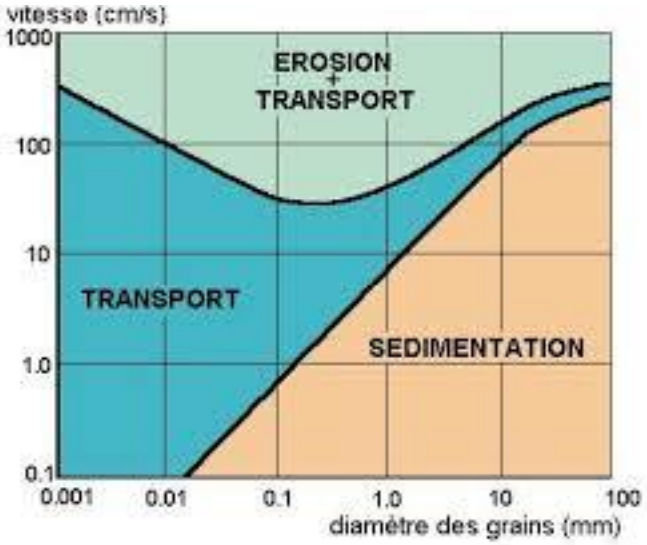


Figure 37 : Diagramme de Hjulström (simplifié), Hjulström, 1935 (in blogpeda.ac-bordeaux.fr)

Un **tri granulométrique** peut s'observer **sur l'estran**. Les sédiments sont plus fins en bas de plage, moyens en moyenne-plage et plus grossiers en haut de plage avec parfois des cailloutis et des galets. Les sédiments situés en haut de plage sont ceux qui ne sont mobilisés que lors des grandes marées et des événements tempétueux, c'est-à-dire lorsque la puissance du courant est plus importante.

La **pente** diminue du haut de plage vers le bas de plage avec la taille des sédiments et leur mobilisation plus ou moins fréquente.

Il est fréquent dans le Cotentin de retrouver des **zones basses marécageuses** en arrière des cordons dunaires. Ces espaces sont inondés l'hiver avec les précipitations et le remplissage des nappes d'eau, tandis que l'été il peut s'agir de zones herbagères de pâturages. Parfois, en arrière des cordons, il peut y avoir des **mielles**, espaces à la végétation dunaire et peu mis en valeur.

Les **mouvements des sédiments** peuvent se faire par charriage, saltation ou suspension **selon leurs tailles et la force des courants** (de marée et de houle) ou la force **du vent**. Les « *débits solides de sédiments augmentent rapidement avec la force du vent* » (*SOGREAH, 1986*). Sur les plages, le sable est transporté par déflation, c'est-à-dire par transport éolien, permettant le développement des cordons dunaires.

Au large des côtes, il peut y avoir des **paléovallées** « *créées au moment d'importantes régressions marines et comblées pendant les transgressions* ». Devant le Nord-Cotentin, ces paléovallées peuvent atteindre « *50 à 70 m d'épaisseur* » et en Baie de Seine, « *10 à 15 m d'épaisseur* ».

Autour de ces paléovallées, des études ont indiqué des épaisseurs de **couvertures sédimentaires** de l'ordre d'1 m (SOGREAH, 1986).

Ces couvertures sédimentaires sont les réserves qui peuvent être mises à disposition pour être transportées sur les côtes. La **diminution de ce stock** est une des explications de l'érosion côtière.

Des **bancs sableux** peuvent également exister au large et font office de « *frontière vers le large du système* » (*Levoy, 1994*). Ce sont des éléments qui peuvent être mobilisés pour les transits sédimentaires. Les cartes du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) présentant la **bathymétrie**, c'est-à-dire la topographie sous-marine, sont précieuses pour comprendre les directions des courants et les réserves de sédiments. On peut notamment y observer les îlots, les bancs sableux, ou encore les profondeurs sous-marines (*cf. Figure 38 : Carte des fonds marins au large du secteur Ouest-Cotentin, données du SHOM, P. EMILE, 2019* ; et *Figure 40 : Carte des fonds marins au large du secteur Est-Cotentin, données du SHOM, P. EMILE, 2019*)

Les **courants de marée** jouent un rôle important sur les bas-estrans pour le transport sédimentaire. Ils pourront notamment déplacer certains matériaux des fonds et des bancs sableux.

Au-delà de la limite d'action de la houle, vers la côte, c'est la **houle** qui explique les mouvements sédimentaires. La houle **met en suspension et déplace les matériaux** des fonds, notamment au moment du déferlement des vagues. Il y a deux types de déplacements.

Parallèlement à la côte, un **courant littoral** (longshore) peut être engendré par la houle quand elle arrive de manière oblique par rapport au rivage. Cela va être un moteur de la **dérive littorale d'estran** qui se fait « en dents de scie ». La houle arrive sur la côte de manière oblique et repart avec des sédiments perpendiculairement aux isobathes. Les sédiments sont alors déplacés le long de la côte.

Perpendiculairement à la côte, les sédiments sont transportés par la houle entre la côte et la limite d'action de la houle. C'est le cas de la **variation saisonnière du profil des plages** avec l'abaissement ou l'élévation du profil de plage. Lorsque les sédiments sortent de la limite de la cellule hydrosédimentaire, ils sont considérés comme perdus pour le système.

Globalement, « ***ce sont les tempêtes de vive-eau qui sont à l'origine des problèmes d'instabilité du trait de côte*** » (*Levoy, 1994*). C'est en effet pendant ces événements que les évolutions seront les plus importantes et l'évolution moyenne s'en ressentira, la moyenne cachant les événements ponctuels. Avec une agitation de l'eau plus importante, il y a une mobilisation des sédiments plus importante.

Les épis et l'ensemble des **ouvrages transversaux** permettent de rendre visibles les **sens de mobilité des sédiments**. En effet, il y aura une différence de hauteur de plage et de morphologie entre l'amont et l'aval de l'ouvrage

Les **ouvrages longitudinaux fixent la position du trait de côte** et provoquent une « ***rupture des échanges sédimentaires*** *plage-dune* », ce qui s'avèrera problématique « *pour le haut de l'estran* » (*Levoy, 1994*).

1.2.2.2. Le secteur Ouest

Le secteur d'étude Ouest est représentatif de la **côte Ouest-Cotentin**. En effet, il présente « *des cordons littoraux sableux qui se développent entre des grands massifs rocheux* », des « *estrans larges* » et de nombreuses dunes (*SOGREAH, 1986*).

Il s'agit d'une côte qui est **exposée aux houles** en raison de sa situation favorable aux flux d'Ouest. Cependant, comme décrit précédemment, les **îles et îlots** présents au large offrent une protection à la côte (*cf. 1.2.1.2 Dans le secteur Ouest : des contraintes importantes sur la côte et le rôle du Golfe normand-breton, p 56*).

Les fonds marins au large du secteur d'étude Ouest-Cotentin

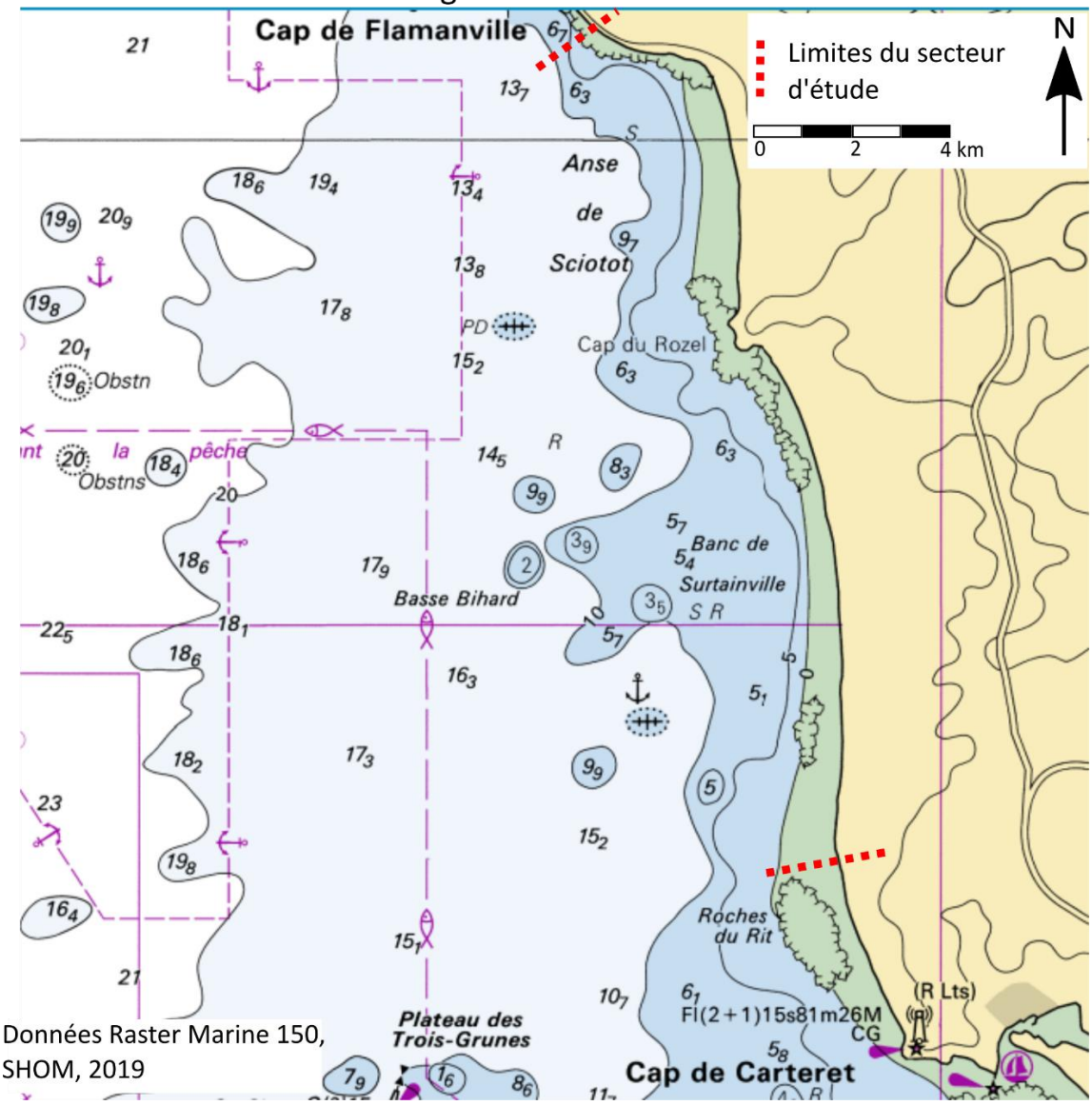


Figure 38 : Carte des fonds marins au large du secteur Ouest-Cotentin, données du SHOM, P. EMILE, 2019

Les sédiments de la côte Ouest sont **majoritairement terrigènes**. Ils proviennent à la fois de l'érosion actuelle, des éléments transportés par les cours d'eau, et des éléments érodés qui ont été déposés puis remaniés lors des régressions et transgressions.

Des galets sont présents en haut de plage sur la partie Nord du secteur et en quantités variables au niveau de Surtainville. Ces présences de galets peuvent s'expliquer par la proximité des caps rocheux (Cap de Flamanville et du Rozel).

Le transit sédimentaire va du **Nord vers le Sud**. Malgré tout, ponctuellement, le sens du transit peut s'inverser.

Sur ce secteur, les courants peuvent généralement transporter des sédiments de diamètre inférieur à 2,5 mm (*SOGREAH, 1986*). Le mode de transport dominant est le charriage.

« *Les échanges sédimentaires entre le domaine subtidal et les moyennes plages sableuses se trouvent très limités sur les domaines côtiers occupés par des* ***platiers de bas-estrans*** » (*Levoy, 1994*). C'est le cas sur certaines portions de la partie Nord du secteur, au niveau du Cap du Rozel jusqu'au Cap de Flamanville où il y a de nombreux affleurements rocheux.

Les échanges sédimentaires entre les basses plages et l'avant-côte n'ont réellement lieu que lorsque « *le marnage est supérieur à 80 et la houle est de forte amplitude* » (*Levoy, 1994*).

Les plages ont une « ***forte mobilité altimétrique*** » qui peut atteindre plus de 2 m en haut de plage, jusqu'à 50 cm en moyenne plage, avec une relative stabilité en bas de plage (*Levoy, 1994*).

Dans les plages ouvertes de la côte ouest, on retrouve de nombreuses **barres d'estran**, de quelques dizaines de mètres de large sur quelques centaines de mètres de long, ces barres font office de réserve en bas de plage (*Levoy, 1994*). Les sédiments seront mobilisés lors des agitations plus importantes et migreront vers le large, ou seront mobilisés par des houles de longueurs d'onde plus élevées qui permettront d'engraisser le haut de plage. Le banc de sable de Surtainville est important et facilite l'implantation des barres (*cf. Figure 38 : Carte des fonds marins au large du secteur Ouest-Cotentin, données du SHOM, P. EMILE, 2019*).

Les plages présentent souvent un système de **rides** sur la basse-plage, dans le sens du flot, et des rides sur la moyenne-plage, dans la zone de déferlement. Ces rides sont des indicateurs sur les directions suivies par les courants de marée et de houle, et sur les mobilités de sédiments de même que les croissants de plage.

Le **piétinement des cordons dunaires** empêche la stabilisation et fait glisser le sable vers la plage. Ce sable sera de nouveau mobilisé. Les **zones artificialisées**, telles qu'à Sciotot, empêchent également la fixation du sable et peuvent accentuer l'érosion sur certains tronçons. Le fait qu'il n'y ait pas de réserve sédimentaire à un endroit empêchera de combler les manques ailleurs. Ce sera alors une forme de rétroaction positive dans le cas d'une érosion.

Une des caractéristiques de la côte Ouest, au sud du secteur étudié, est la présence de **nombreux havres** (Barneville-Carteret, Agon-Coutainville) (*cf. Figure 39 : Photographie du havre de Barneville-Carteret, B. Cauvin CD50 (www.manche.fr*).

Figure 39 : Photographie du havre de Barneville-Carteret, B. Cauvin CD50 (www.manche.fr)

Ceux-ci suivent des dynamiques sédimentaires particulières avec des **évolutions rapides** de la morphologie en fonction des apports sédimentaires. Il est nécessaire de ne pas les fixer de manière trop importante par des protections et des bâtis car cela empêcherait leur évolution naturelle avant de provoquer des conséquences importantes sur les installations (submersion, ensablement).

1.2.2.3. Le secteur Est

Dans la cellule de la Baie de Seine, il y a **moins de contraintes pour les processus hydrodynamiques** que sur la côte Ouest-Cotentin. Il y a seulement quelques **bancs sableux** (St-Marcouf, Cardonnet) et îles (Tatihou, St-Marcouf) qui « *diminuent l'agitation du large* » (*SOGREAH, 1986*).

Les bancs sableux de St-Marcouf et du Cardonnet s'étendent sur environ 20 km, comptent « *5 à 10 m d'épaisseur* » et leur crête se situe à « *environ 5 à 6 m de profondeur* » (La*rsonneur in SOGREAH, 1986*). Ces dépôts sableux se sont faits dans le « *prolongement du relief constitué par la pointe de Saire et à l'abri des iles St-Marcouf* » (*cf. Figure 40 : Carte des fonds marins au large du secteur Est-Cotentin, données du SHOM, P. EMILE, 2019*). Ils font office de protection pour les côtes.

Les fonds marins au large du secteur d'étude Est-Cotentin

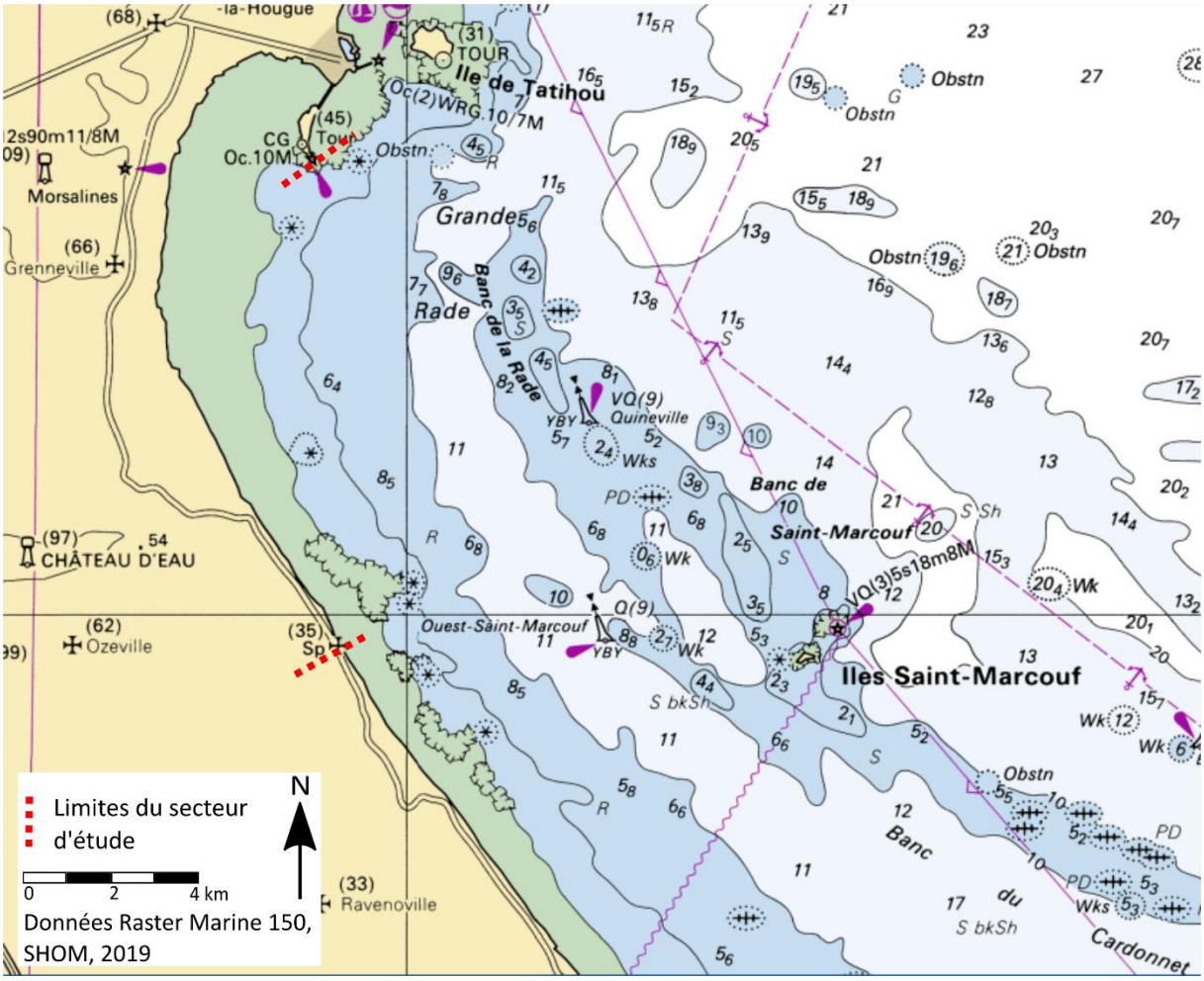


Figure 40 : Carte des fonds marins au large du secteur Est-Cotentin, données du SHOM, P. EMILE, 2019

Les sédiments des estrans sont de plusieurs natures. Il y a des sédiments **d'origine terrigène**, issus de l'érosion, des bancs sableux ou encore des cours d'eau. Il s'agit pour la plupart de sédiments assez fins et il y a également des galets sur certains secteurs tels que Quinéville.

De nombreux sédiments **d'origine zoogène**, âgés de « 1300 à 4600 ans » sont également présents en certains tronçons. Il s'agit principalement de débris coquillers.

Dans les baies et anses, les matériaux « *s'affinent selon les axes longitudinal et transversal* », on y retrouve successivement le schorre, la slikke, les dépôts vaseux et les petits fonds (*SOGREAH, 1986*).

Les processus hydrodynamiques sur le secteur Est sont de toute façon moins importants en raison de la **position d'abri** et de la plus faible exposition aux houles et courants de marée.

Sur ce secteur, les courants peuvent principalement transporter des « *sédiments de diamètre inférieur à 1,5 mm* » (*SOGREAH, 1986*).

Le transit sédimentaire se fait globalement du **Nord vers le Sud** (*cf. Figure 36 : Carte des cellules et sous-cellules hydrosédimentaires de la Baie du Mont-St-Michel à la Baie d'Authie, ROLNP, 2013*). Cependant, dans la partie Nord du secteur, la Pointe de la Hougue provoque une **réfraction** des courants venant du Nord et conduit à un **mouvement rotatif vers le Nord-Ouest** et explique la présence d'une anse d'accumulation au niveau de Quettehou. Cette anse est une zone calme, dans laquelle les sédiments sont très fins avec parfois des vases.

Les mouvements sédimentaires se font pour la plupart **transversalement** jusqu'à la limite d'action des houles, vers 6 à 7 mètres de profondeur.

La **Baie des Veys**, au Sud du secteur, s'apparente au Mont-St-Michel, et constitue, à plus faible ampleur, un « ***piège à sédiments*** » (*SOGREAH, 1986*). En effet, tous les sédiments de la côte Est-Cotentin et de la Baie de Seine y convergent.

Sur la côte Est, au Sud de Quettehou, le tracé est **relativement linéaire** en raison de la « *faible résistance du matériel rocheux* », expliquée par la géologie du terrain.

La **conchyliculture** est une activité très importante sur la côte Ouest, de nombreux parcs à huitres sont en effet présents. Cette activité favorise la sédimentation en raison de la protection par rapport aux courants de houle qu'elle exerce. Dans les faits, l'influence est relativement faible (*SOGREAH, 1986*).

Les **infrastructures portuaires** (Quinéville et St-Vaast-la-Hougue) et les **zones artificialisées**, assez nombreuses sur le secteur, empêchent la fixation des sédiments, et les contraintes sur ces bâtis augmentent avec des conséquences en aval-dérive (pénurie de sédiments et augmentation de l'érosion).

1.2.3. Conclusion de partie

Le secteur Ouest-Cotentin présente des **conditions météo-marines** plus contraignantes que le **secteur Est qui est abrité** des flux d'Ouest et des courants les plus forts par la Pointe de Saire et les bancs sableux (St-Marcouf et Cardonnet). **L'hydrodynamique de la côte Ouest est complexe** en raison des fonds irréguliers du bassin océanique (extrémité Est du Golfe normand-breton) et de ses caps et îlots rocheux. Les **sédiments sont distincts** du fait des forces de courants et de houle différents et des stocks disponibles. Un tri granulométrique peut s'observer sur les plages.

1.3. Des domaines littoraux variés : de l'anse d'accumulation du Cul de Loup au massif dunaire de Baubigny en passant par les perrés de Quinéville

1.3.1. Les traits de côte : des longs cordons dunaires, des tronçons végétalisés et des traits de côte artificialisés

1.3.1.1. La notion de trait de côte

Le trait de côte est une notion incontournable dans l'étude du littoral et notamment de l'aléa « érosion ». Il s'agit d'une notion à la fois simple, complexe et simpliste. En effet, fondamentalement, le trait de côte désigne la « ***limite entre la mer et la Terre*** » (*MEDDE, 2010*). Cependant, cette **position n'est pas figée**, elle varie au cours du temps, à différentes échelles.

A l'échelle de la **marée**, selon les côtes, l'estran est plus ou moins large et les variations peuvent être de plusieurs kilomètres selon le marnage.

A une échelle de temps plus importante, les différents **coefficients de marée** amènent les plus hautes mers à des positions différentes, selon les différents cycles de la marée astronomique (*cf. I.3.2.5 La marée astronomique, p 17*). Enfin, les **événements paroxysmaux** (tempêtes) peuvent amener la limite de l'estran loin en arrière. Il s'agit donc d'une **limite en constante mobilité** dont on cherche une position précise, c'est là qu'intervient son côté simpliste, en ne prenant pas compte les mouvements continus, notamment de sédiments.

Le BRGM a classé les **indicateurs du trait de côte** en plusieurs grands types (*cf. Figure 41 : Tableau des principaux indicateurs de trait de côte recommandés et classés par type et par milieu, Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte, BRGM, 2012*). Ils peuvent être altimétriques, hydrodynamiques, géomorphologiques, et botaniques. L'indicateur choisi dépendra notamment des éléments que l'on souhaitera mettre en lumière et de ceux dont on dispose.

Le SHOM définit notamment le trait de côte comme la « *ligne d'intersection de la surface topographique avec le niveau des plus hautes mers astronomiques* ». Plus précisément, il correspond à « *la **laisse des plus hautes mers** dans le cas d'une marée astronomique de coefficient 120 et dans des conditions météorologiques normales* » (*SHOM*). Ce type de définition correspond à un point de vue d'océanographes et d'hydrologues, ce n'est pas toujours la vision retenue. Dans le cas d'études biologiques, la limite retenue pourra être la limite de végétation.

Fréquemment, ce sera le **niveau des plus hautes mers** qui sera retenu pour les côtes d'accumulation ou bien le pied de dune dans les espaces concernés. Pour les côtes d'ablation (falaises), le trait de côte est plus facile à caractériser, il faut alors choisir entre le **haut et le bas de falaise**. Dans le cas d'**ouvrages artificiels**, le choix peut être fait de retenir la limite côté terre ou mer.

Pour les zones dans lesquelles il y a présence de cordons dunaires, le **pied de dune** est intéressant car se repère bien dans le paysage et réagit directement face aux contraintes exercées par la mer. Il est repérable par la télédétection comme la ligne de départ de la pente et sur les photographies aériennes, on peut souvent remarquer une couleur différente entre la partie inférieure et supérieure, notamment due à la végétation ou à l'humidité.

Une **multitude d'indicateurs** existent pour repérer le trait de côte (*cf. Figure 41 : Tableau des principaux indicateurs de trait de côte recommandés et classés par type et par milieu, Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte, BRGM, 2012 et Figure 42 : Représentation*

schématique de différents indicateurs de trait de côte, Boak and Turner, 2005, adapté et traduit dans Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte, BRGM, 2012). Ces nombreux indicateurs **dépendent du type d'environnement littoral** dans lequel on se trouve (falaise, côte d'accumulation, estuaire), des outils à disposition (photographies aériennes verticales, Modèle Numérique de Terrain, données GPS, terrain, granulométrie) et des éléments les plus visibles. Dans chaque cas, l'opérateur doit **choisir l'indicateur le plus adapté**.

Le choix d'un indicateur est important, notamment dans l'optique d'une étude de l'évolution des positions successives du trait de côte. Ainsi, pour étudier une évolution sur un même endroit, il apparait nécessaire de **garder une même définition du trait de côte et une même méthode d'observation**.

Milieu	Indicateurs de trait de côte fréquemment utilisés	Classe/type
Tous types de plages et dunes (côte sableuse, galets, plage corallienne...)	ligne correspondant à l'altitude d'une basse mer moyenne	altimétrique
	ligne correspondant à l'altitude d'une pleine mer moyenne	altimétrique
	ligne de débris (trace de tempête passée)	hydrodynamique
	résurgence d'eau sur la plage	hydrodynamique
	laisse de mer	hydrodynamique
	limite sable mouillé/sec	hydrodynamique
	limite de jet-de-rive	hydrodynamique (instantané ou non)
	ligne d'eau instantanée	hydrodynamique (instantané)
	première barre d'avant-côte	géomorphologique
	berme	géomorphologique
	talus de collision (côte microtidale)	géomorphologique
	pied de dune	géomorphologique
	crête de dune	géomorphologique
	abrupt	géomorphologique
	limite de végétation pionnière	botanique
	limite côté mer de végétation pérenne dunaire	botanique
Côte à falaise rocheuse	ligne correspondant à l'altitude d'une basse mer moyenne	altimétrique
	ligne correspondant à l'altitude d'une pleine mer moyenne	altimétrique
	ligne de débris (trace de tempête passée)	hydrodynamique
	laisse de mer	hydrodynamique
	limite sable mouillé/sec	hydrodynamique
	encoche basale	géomorphologique
	pied de falaise	géomorphologique
	sommet de falaise	géomorphologique
	rupture de pente topographique	géomorphologique
	limite supérieure du cône d'éboulis	géomorphologique
	limite inférieure de végétation terrestre	botanique
	partie supérieure de la ceinture grise à cyanobactéries	botanique
	limite supérieure du lichen marin noir	botanique
Marais maritime	laisse de mer	hydrodynamique
	ligne de débris (trace de tempête passée)	hydrodynamique
	limite supérieure du schorre	géomorphologique et botanique
	limite supérieure de la slikke	géomorphologique et botanique
Marais à mangrove	limite de front de mangrove	géomorphologique et botanique
	limite d'arrière-mangrove	géomorphologique et botanique
Côte artificialisée (ouvrages en l'absence de plages)	limite côté mer de l'aménagement	géomorphologique
	limite côté terre de l'aménagement	géomorphologique
	sommet des ouvrages	géomorphologique

Figure 41 : Tableau des principaux indicateurs de trait de côte recommandés et classés par type et par milieu, Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte, BRGM, 2012

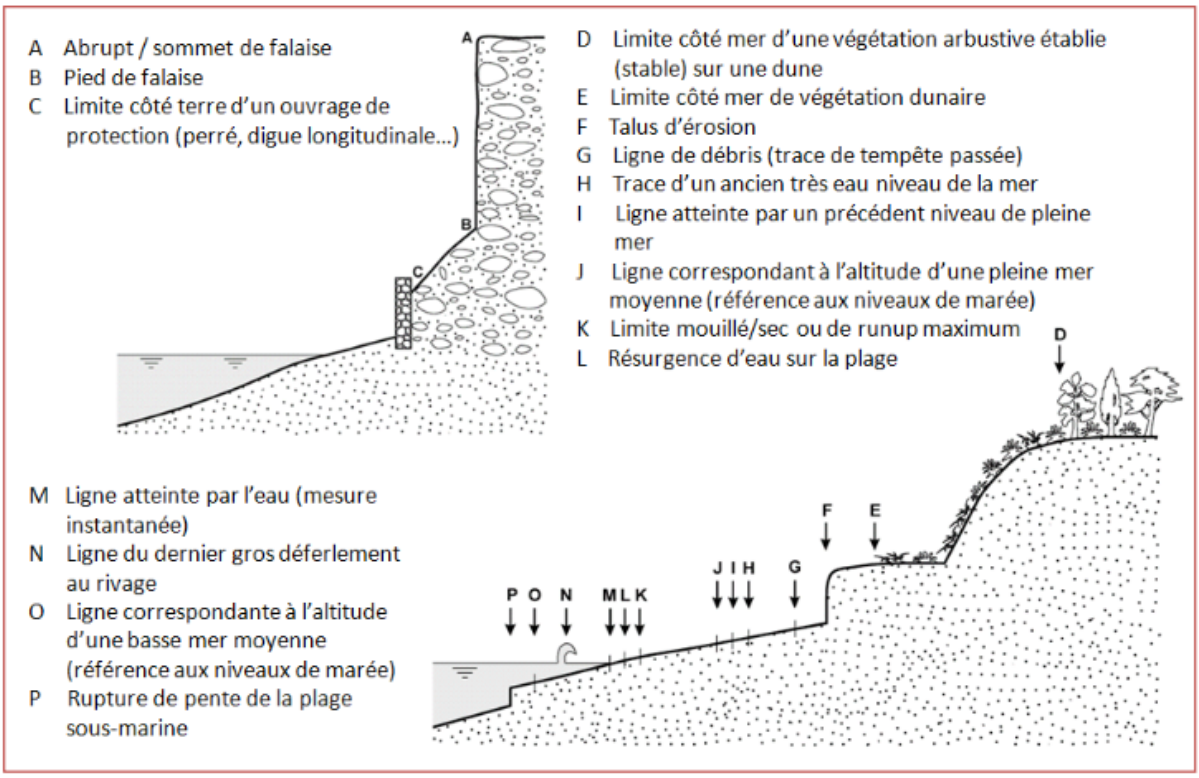


Figure 42 : Représentation schématique de différents indicateurs de trait de côte, Boak and Turner, 2005, adapté et traduit dans Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte, BRGM, 2012

Comme évoqué précédemment (*cf. I.3.2.4.* Le trait de côte*, p. 17*), la notion de frange ou de **bande côtière** est intéressante par sa vision plus large. Elle « *s'étend du domaine marin au domaine continental, au sein de laquelle un ou plusieurs indicateurs géomorphologiques sont définis selon les types de côtes* » (*BRGM, 2012*).

1.3.1.2. Les traits de côte actuels des secteurs étudiés

1.3.1.2.1. Les indicateurs retenus

Les deux secteurs d'étude choisis présentent des linéaires de trait de côte assez proches, avec une longueur de 12.9 km à l'Ouest et 14.4 km à l'Est (*cf. Figure 43 : Tableau des longueurs totales du trait de côte par secteur d'étude, d'après la couche « Trait de côte de 2010 » du ROLNP, P. EMILE, 2019).*

	Secteur Ouest	**Secteur Est**
Longueur totale du trait de côte (m)	12 866	14 358

Figure 43 : Tableau des longueurs totales du trait de côte par secteur d'étude, d'après la couche « Trait de côte de 2010 » du ROLNP, P. EMILE, 2019

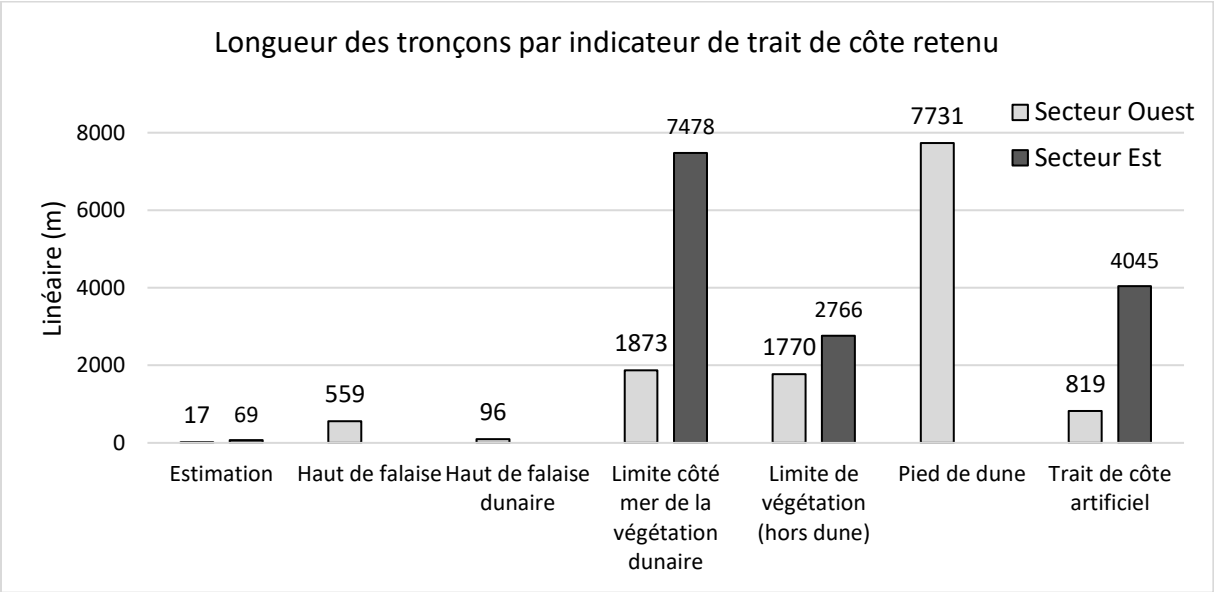


Figure 44 : Graphique des longueurs de traits de côte par indicateurs retenus, d'après la couche « trait de côte de 2010 » du ROLNP, P. EMILE, 2019

L'indicateur retenu par l'opérateur du ROLNP pour distinguer le trait de côte lors de la photo-interprétation et du référencement de la table attributaire renseigne sur le trait de côte lui-même. Ainsi, on peut connaitre sa **nature** et savoir s'il s'agit d'une dune, d'une plage, d'un trait de côte artificiel ou encore d'une falaise. Cet indicateur ne renseigne pas sur les caractéristiques de la dune (bordière, embryonnaire) ou de la plage (taille des sédiments, largeur de l'estran). Pour en savoir plus, il est indispensable de se rendre sur le terrain et de consulter des photographies aériennes.

Lorsque le trait de côte n'était pas tracé de manière continue par les opérateurs du ROLNP, j'ai fait le choix de le digitaliser à partir d'une photographie aérienne de date équivalente. Ces traits de côte sont indiqués sur la cartographie et les études synthétiques par le terme « Estimation ».

A travers la lecture des indicateurs retenus, on peut remarquer une diversité moins importante sur le secteur Est que sur le secteur Ouest (*cf. Figure 44 : Graphique des longueurs de traits de côte par indicateurs retenus, d'après la couche « trait de côte de 2010 » du ROLNP, P. EMILE, 2019*).

Ainsi, le secteur oriental se caractérise par des indicateurs basés sur la **végétation dunaire** (7,5 km), la **végétation non dunaire** (2,7 km), et des **ouvrages artificiels** (4 km).

Le secteur occidental se distingue par la présence majoritaire d'un indicateur basé sur le **pied de dune** (7,7 km), la **végétation dunaire** (1,9 km), **végétation non-dunaire** (1,7 km), les **ouvrages artificiels** (800 m) ou encore le **haut de falaise** (500 m).

1.3.1.2.2. Un trait de côte composé de dunes arrières-littorales sur le secteur Ouest avec la présence d'affleurements rocheux

Le secteur Ouest peut se distinguer en plusieurs parties, montrant que même sur un espace restreint, **différentes natures coexistent** (*cf. Figure 52 ; Figure 53 ; Figure 54*).

Au Nord, du Cap de Flamanville à Sciotot, le trait de côte est composé de **falaises** (*cf. Figure 45 : Photographie de la côte rocheuse au Havre Jouan, P. EMILE, 4/01/*19). Ce tronçon ne sera pas étudié dans ce travail du point de vue de l'évolution côtière.

Figure 45 : Photographie de la côte rocheuse au Havre Jouan, P. EMILE, 4/01/19

Du Havre Jouan au Hameau Courtois, le **trait de côte est artificialisé** sur près de 700 m, avec des enrochements (*cf. Figure 46 : Photographie d'enrochements entre le Fortin et le Hameau Courtois à Sciotot, P. EMILE, 22/03/19*).

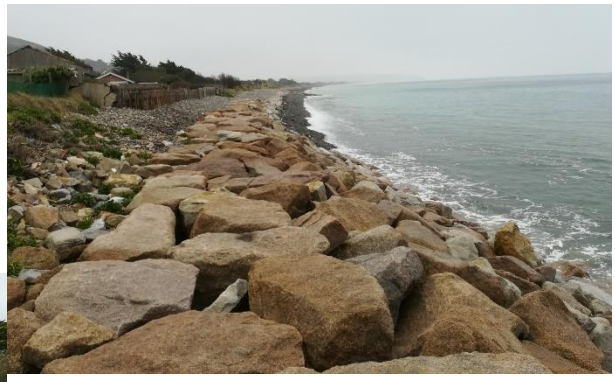


Figure 46 : Photographie d'enrochements entre le Fortin et le Hameau Courtois à Sciotot, P. EMILE, 22/03/19

Figure 47 : Photographie du trait de côte végétalisé précédé par un cordon de galets au Hameau Courtois, P. EMILE, 4/01/19

Sur plus de 600 m, entre les traits de côte artificiels, des **tronçons côtiers végétalisés** sont présents (*cf. Figure 47 : Photographie du trait de côte végétalisé précédé par un cordon de galets au Hameau Courtois, P. EMILE, 4/01/19*).

Au Sud du Hameau Courtois et jusqu'au camping Le Ranch, le trait de côte est majoritairement composé de **cordons dunaires végétalisés** sur près de 2 km (*cf. Figure 48 : Photographie d'un cordon dunaire végétalisé au niveau des Mielles de Sciotot, P. EMILE, 26/02/19*).

Parfois, les cordons dunaires ne sont pas végétalisés sur plus d'1 km, et témoignent de la mobilité importante des sables qui ne sont pas fixés. Quelques tronçons sont **artificialisés**, notamment au niveau des campings Le Grand Large et Le Ranch (*cf. Figure 49 : Photographie d'un cordon dunaire fixé à l'aide de ganivelles pour protéger une habitation au niveau du camping Le Grand large, P. EMILE, 26/02/19*).

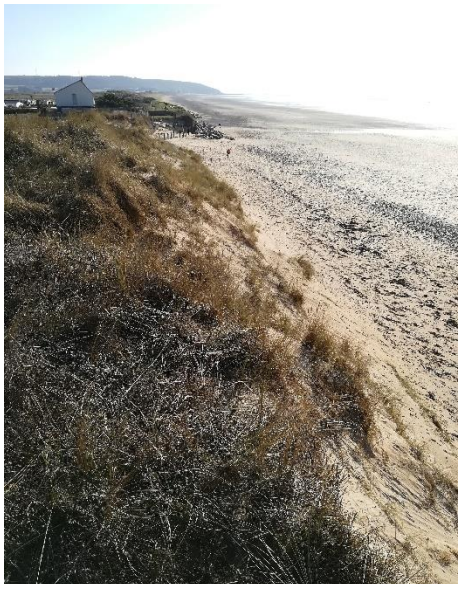


Figure 48 : Photographie d'un cordon dunaire végétalisé au niveau des Mielles de Sciotot, P. EMILE, 26/02/19

Figure 49 : Photographie d'un cordon dunaire fixé à l'aide de ganivelles pour protéger une habitation au niveau du camping Le Grand large, P. EMILE, 26/02/19

Au niveau du Cap du Rozel, de même façon qu'au Cap de Flamanville, le trait de côte est composé de **falaises** (*cf. Figure 50 : Photographie du versant Sud du Cap du Rozel, P. EMILE, 4/01/19*). Cette partie ne sera pas non plus étudiée en détail pour l'évolution.

Figure 50 : Photographie du versant Sud du Cap du Rozel, P. EMILE, 4/01/19

Au Sud du Cap du Rozel, sur plus de 6 km, jusqu'à Baubigny, le littoral est composé de **cordons dunaires non végétalisés**, de parfois plus d'1 m de dénivelée (*cf. Figure 51 : Photographie du cordon littoral qui s'étend du Cap du Rozel au Cap de Carteret, P. EMILE, 4*/01/19).

Figure 51 : Photographie du cordon littoral qui s'étend du Cap du Rozel au Cap de Carteret, P. EMILE, 4/01/19

Au Sud de ce secteur, jusqu'à Granville, le trait de côte se compose principalement de cordons dunaires entre lesquels prennent part quelques havres et caps rocheux.

Localisation et caractéristiques des indicateurs du trait de côte
sur le secteur Ouest : du Havre Jouan au Sud des Mielles de Sciotot

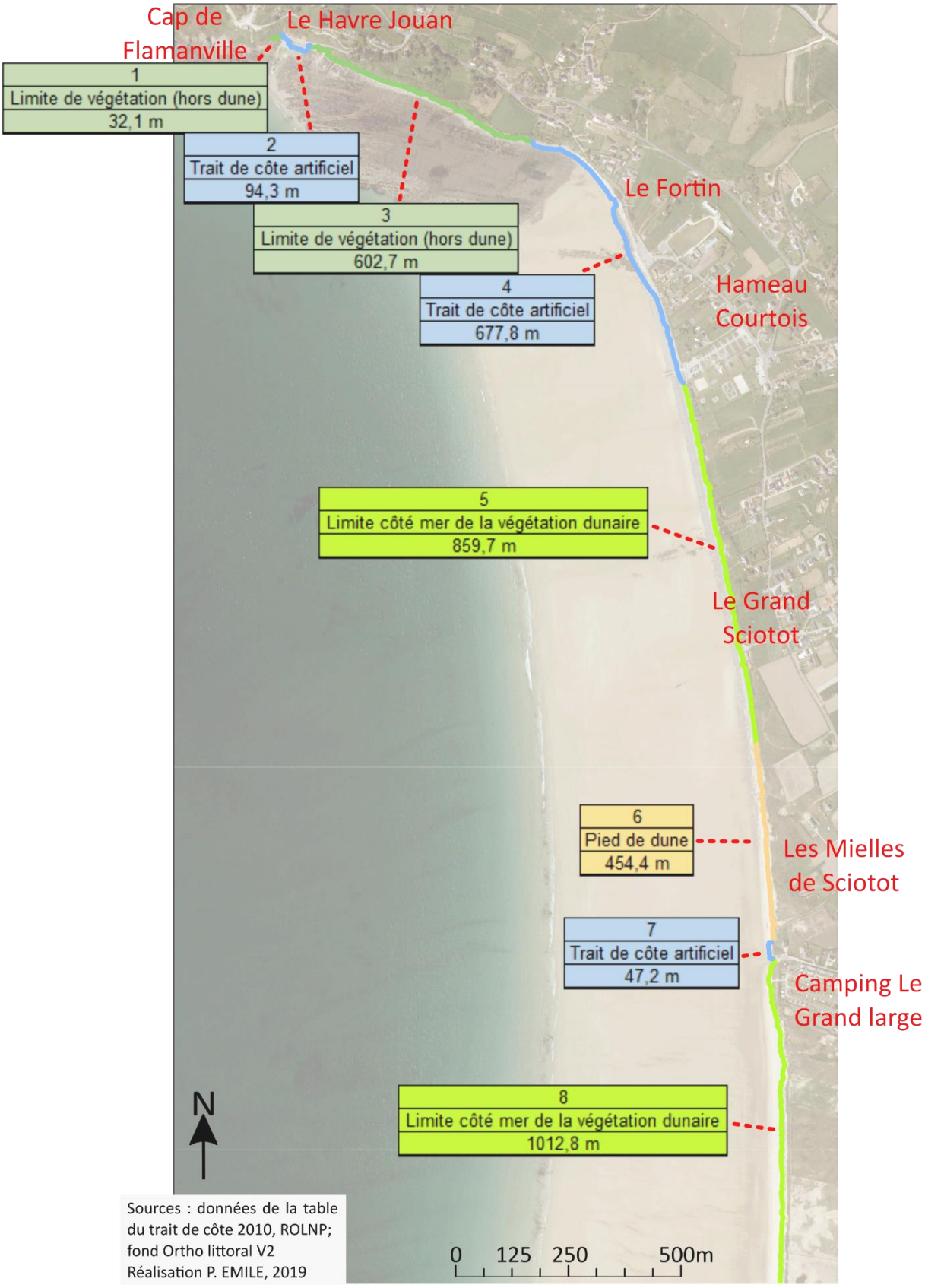
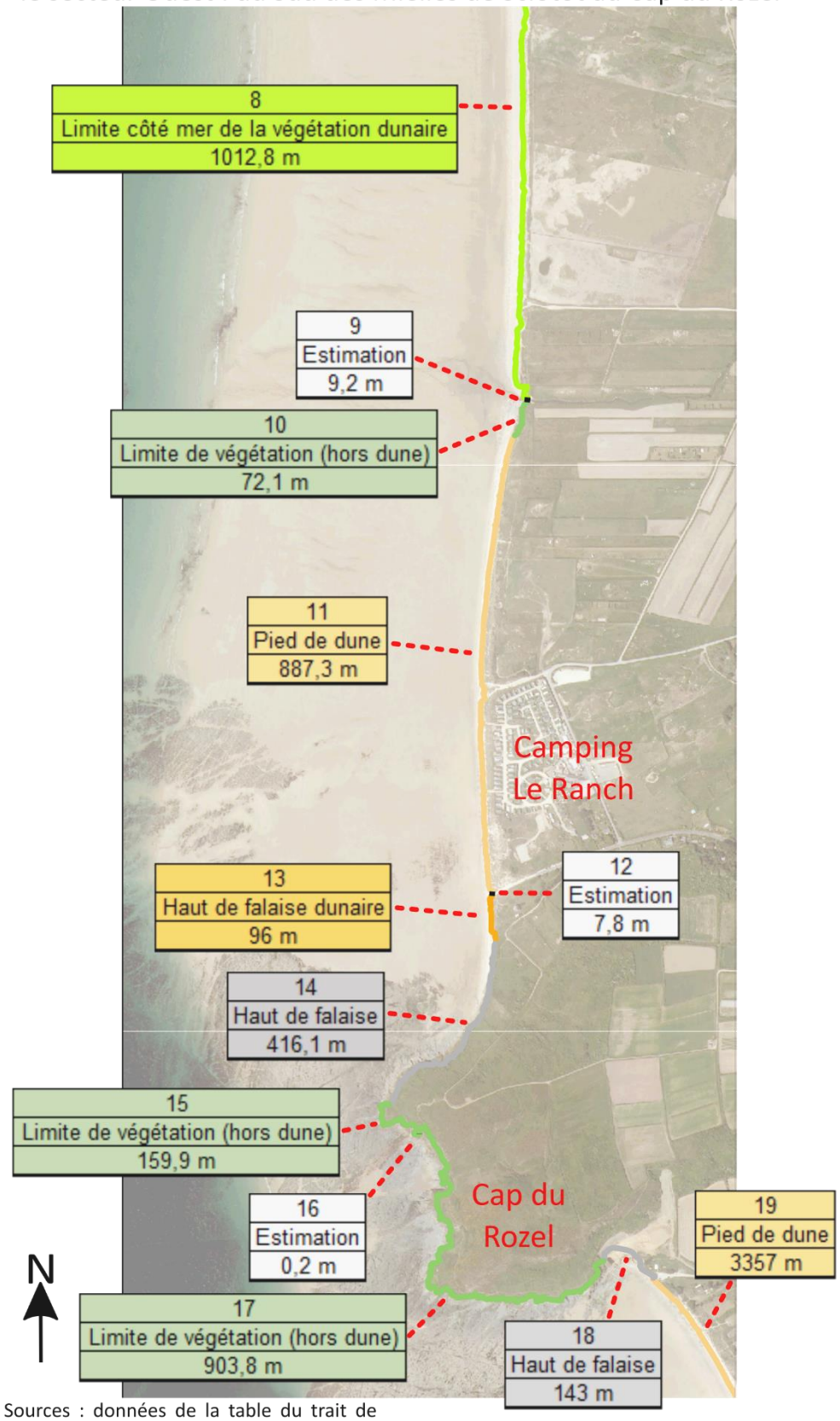


Figure 52 : Carte des natures de trait de côte sur le secteur Ouest (1/3), P. EMILE, 2019

Localisation et caractéristiques des indicateurs du trait de côte sur le secteur Ouest : du Sud des Mielles de Sciotot au Cap du Rozel



Sources : données de la table du trait de côte 2010, ROLNP;
fond Ortho littoral V2
Réalisation P. EMILE, 2019

Figure 53 : Carte des natures de trait de côte sur le secteur Ouest (2/3), P. EMILE, 2019

Localisation et caractéristiques des indicateurs du trait de côte sur le secteur Ouest : du Cap du Rozel au massif dunaire de Baubigny

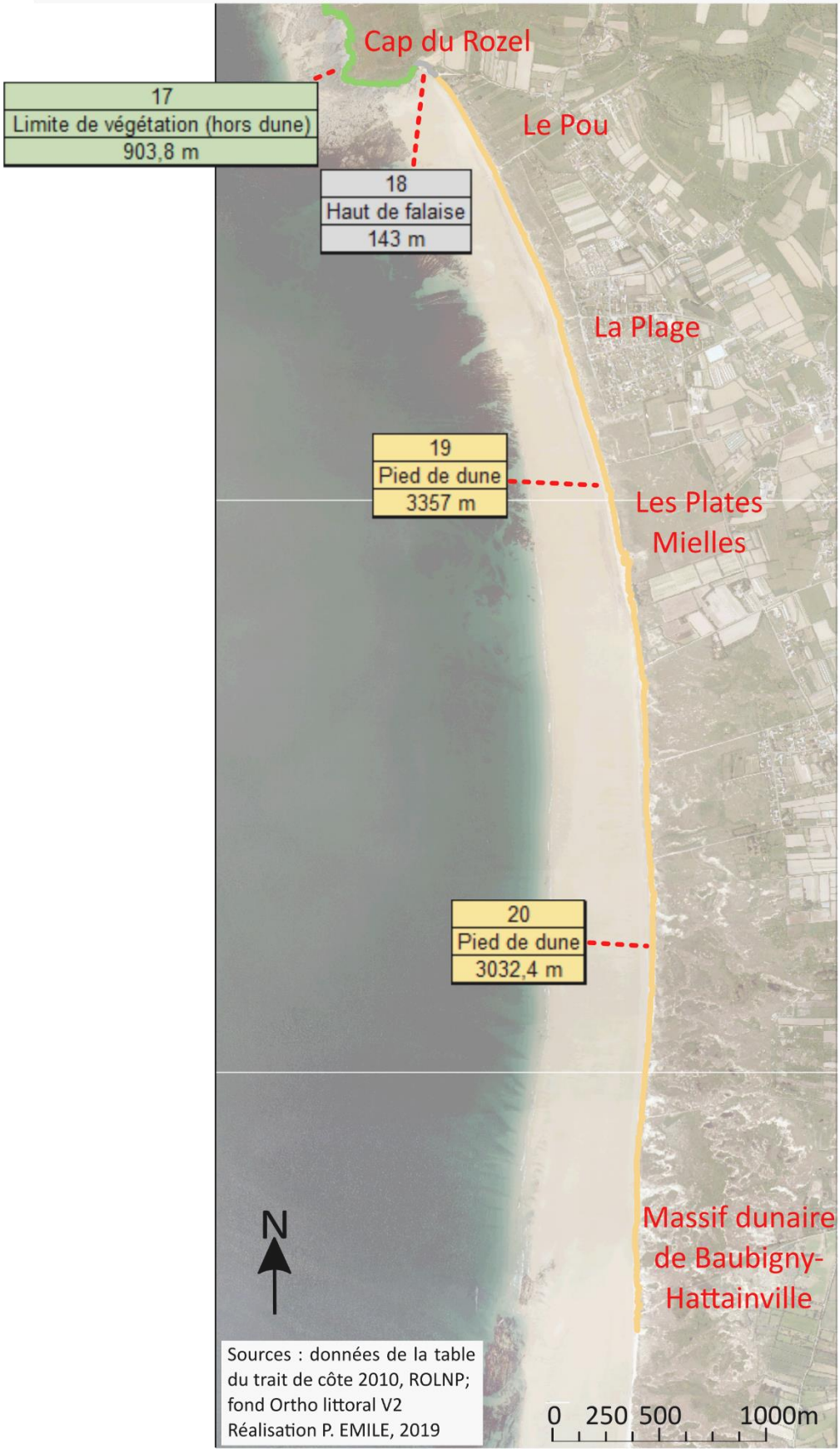


Figure 54 : Carte des natures de trait de côte sur le secteur Ouest (3/3), P. EMILE, 2019

1.3.1.2.3. Un trait de côte composé de petites accumulations dunaires en arrière de plage sur le secteur Est

Sur le secteur Est, plusieurs natures de traits de côte coexistent également, si on retrouve une part importante d'ouvrages artificiels, il y a également d'importants tronçons végétalisés (non dunaires) et une partie centrale constituée de cordons dunaires végétalisés (*cf. Figure 61 ; Figure 62 ; Figure 63 ; Figure 64).*

Entre la Pointe de la Hougue à St-Vaast-la-Hougue, extrémité Nord-Est du secteur, et La Redoute, à Morsalines, on peut repérer un premier ensemble. Cet ensemble est composé majoritairement, sur plus de 3 km cumulés, de traits de côte artificiels, des **enrochements** ou des **perrés** (*cf. Figure 55 : Photographie d'ouvrages artificiels protégeant l'espace arrière-littoral à Saint-Vaast-la-Hougue, à l'Est du Carvallon, P. EMILE, 22/03/19*).

Figure 55 : Photographie d'ouvrages artificiels protégeant l'espace arrière-littoral à Saint-Vaast-la-Hougue, à l'Est du Carvallon, P. EMILE, 22/03/19

Figure 56 : Photographie d'un tronçon de trait de côte végétalisé au niveau du camping La Galouette dans l'Anse du Cul de Loup, P. EMILE, 22/03/19

Le reste, sur plus de 2 km, est constitué de **tronçons végétalisés** (*cf. Figure 56 : Photographie d'un tronçon de trait de côte végétalisé au niveau du camping La Galouette dans l'Anse du Cul de Loup, P. EMILE, 22/03/19*). Cette partie est en effet le lieu de nombreux éléments exposés, en particulier au Nord où sont concentrés un camping, une zone résidentielle et une zone industrielle. Tous ces éléments font l'objet d'une importante protection par des ouvrages artificiels.

A partir de la Redoute et jusqu'au Nord de Quinéville, le trait de côte est composé d'un **cordon dunaire végétalisé** sur plus de 6 km (*cf. Figure 57 : Photographie d'un tronçon côtier végétalisé au Sud de la Redoute, P. EMILE, 4/01/19*). Ce cordon s'étend en arrière d'un estran qui est parfois composé de matériaux fins ou de vases, ou bien de galets. En arrière-littoral, ce sont principalement des zones basses humides. Les mouvements de sédiments sont relativement peu importants et n'empêchent pas leur fixation et piégeage par les racines.

Figure 57 : Photographie d'un tronçon côtier végétalisé au Sud de la Redoute, P. EMILE, 4/01/19

Au Nord de Quinéville, au Sud du port, la **végétation dunaire** est toujours présente sur près de 500 m (*cf. Figure 58 : Photographie d'un cordon dunaire végétalisé au Sud du port de Quinéville, P. EMILE, 22/03/19*). Plus au Sud, entre des tronçons de perrés, d'autres parties se composent de même façon.

Figure 58 : Photographie d'un cordon dunaire végétalisé au Sud du port de Quinéville, P. EMILE, 22/03/19

Ensuite, des **longs perrés** avec parfois des **enrochements** marquent le trait de côte du bourg avec la double-vocation de protection des infrastructures situées en arrière, souvent des villas anciennes, et de promenade pour surplomber la mer et la plage (*cf. Figure 59 : Photographie d'un perré au Sud de Quinéville, P. EMILE, 22/03/19 ; et Figure 60 : Photographie d'un perré avec enrochements à Quinéville, P. EMILE, 4/01/19*). Ces ouvrages ont un linéaire cumulé de plus de 700 m sur la commune de Quinéville.

Figure 59 : Photographie d'un perré au Sud de Quinéville, P. EMILE, 22/03/19

Figure 60 : Photographie d'un perré avec enrochements à Quinéville, P. EMILE, 4/01/19

Au Sud de Quinéville, et jusqu'à la Baie des Veys, le trait de côte **alterne entre des perrés et des cordons dunaires végétalisés**.

Localisation et caractéristiques des indicateurs du trait de côte
sur le secteur Est : de la pointe de la Hougue à Quettehou

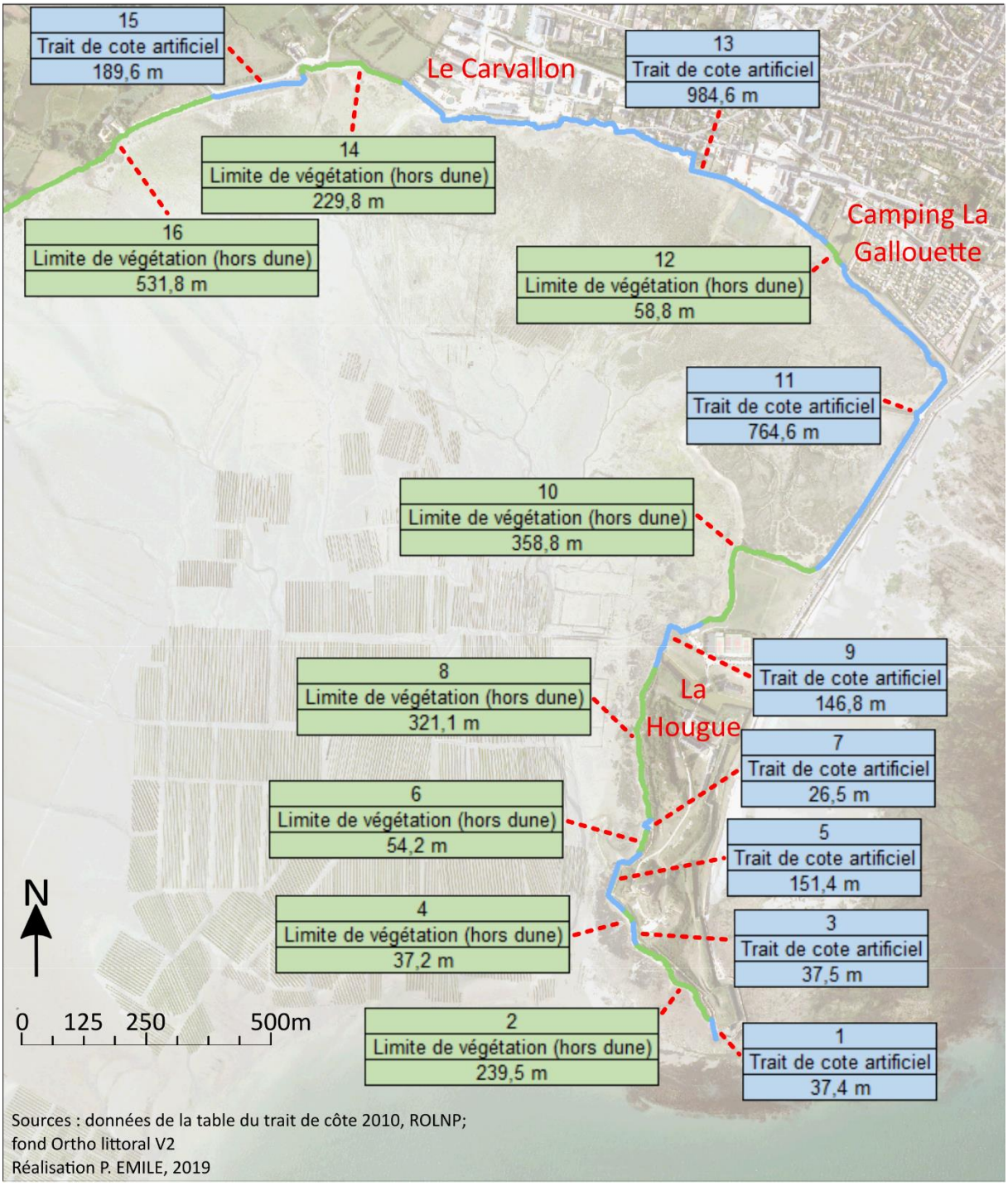


Figure 61 : Carte des natures de trait de côte sur le secteur Est (1/4), P. EMILE, 2019

Localisation et caractéristiques des indicateurs du trait de côte
sur le secteur Est : de Quettehou à La Redoute

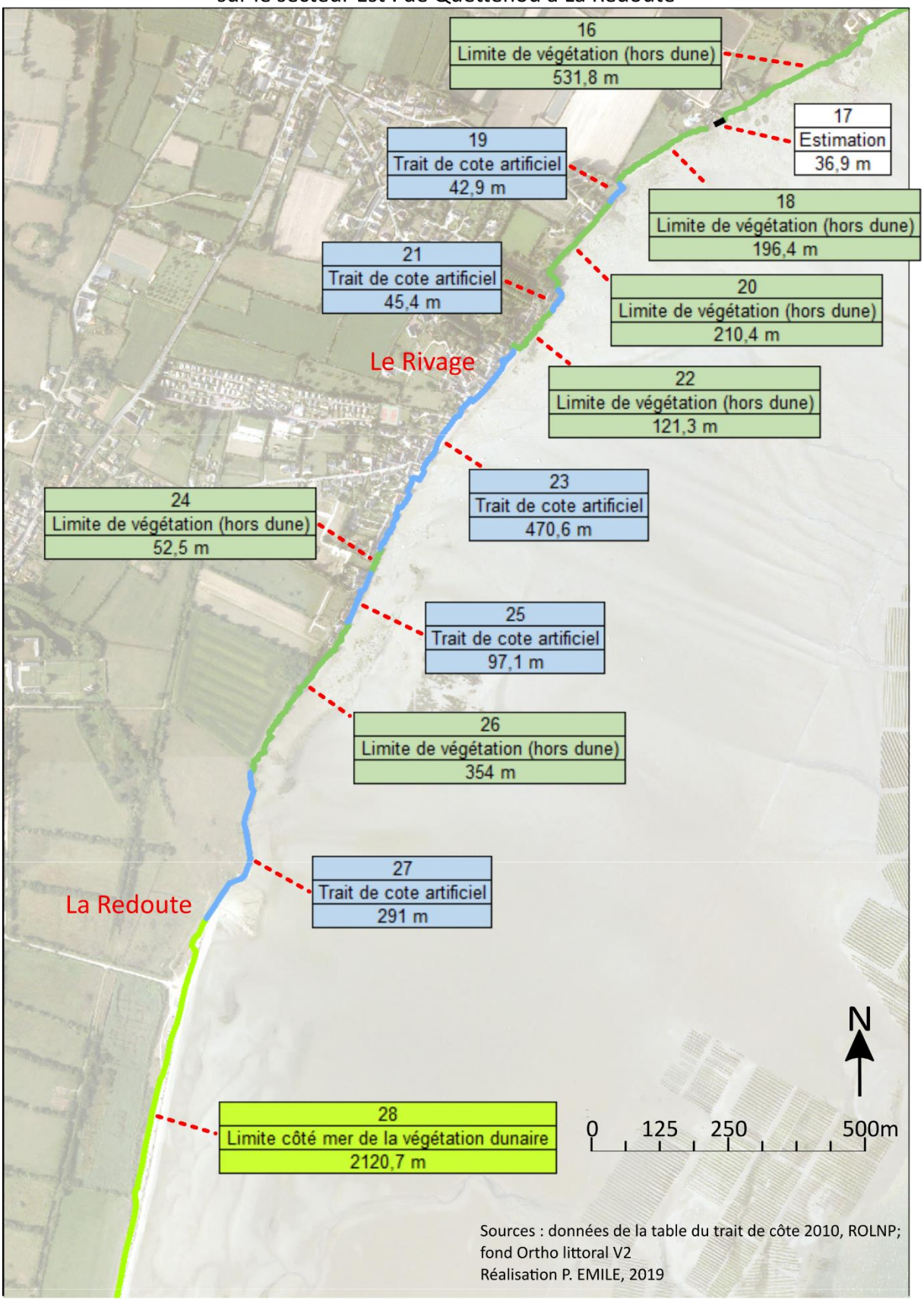


Figure 62 : Carte des natures de trait de côte sur le secteur Est (2/4), P. EMILE, 2019

Localisation et caractéristiques des indicateurs du trait de côte sur le secteur Est : de la Redoute au Hameau Simon

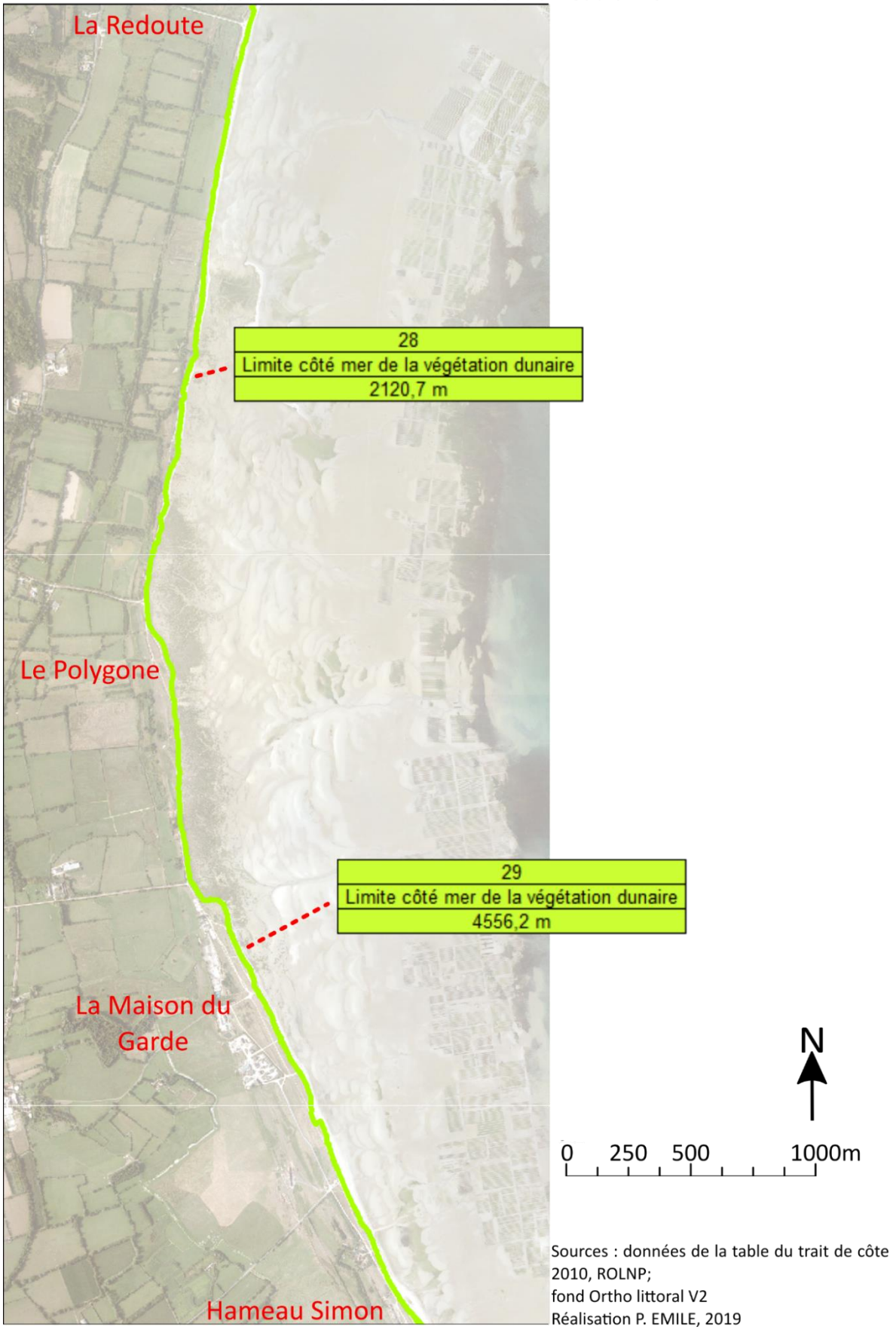


Figure 63 : Carte des natures de trait de côte sur le secteur Est (3/4), P. EMILE, 2019

Localisation et caractéristiques des indicateurs du trait de côte
sur le secteur Est : du Hameau Simon à Quinéville

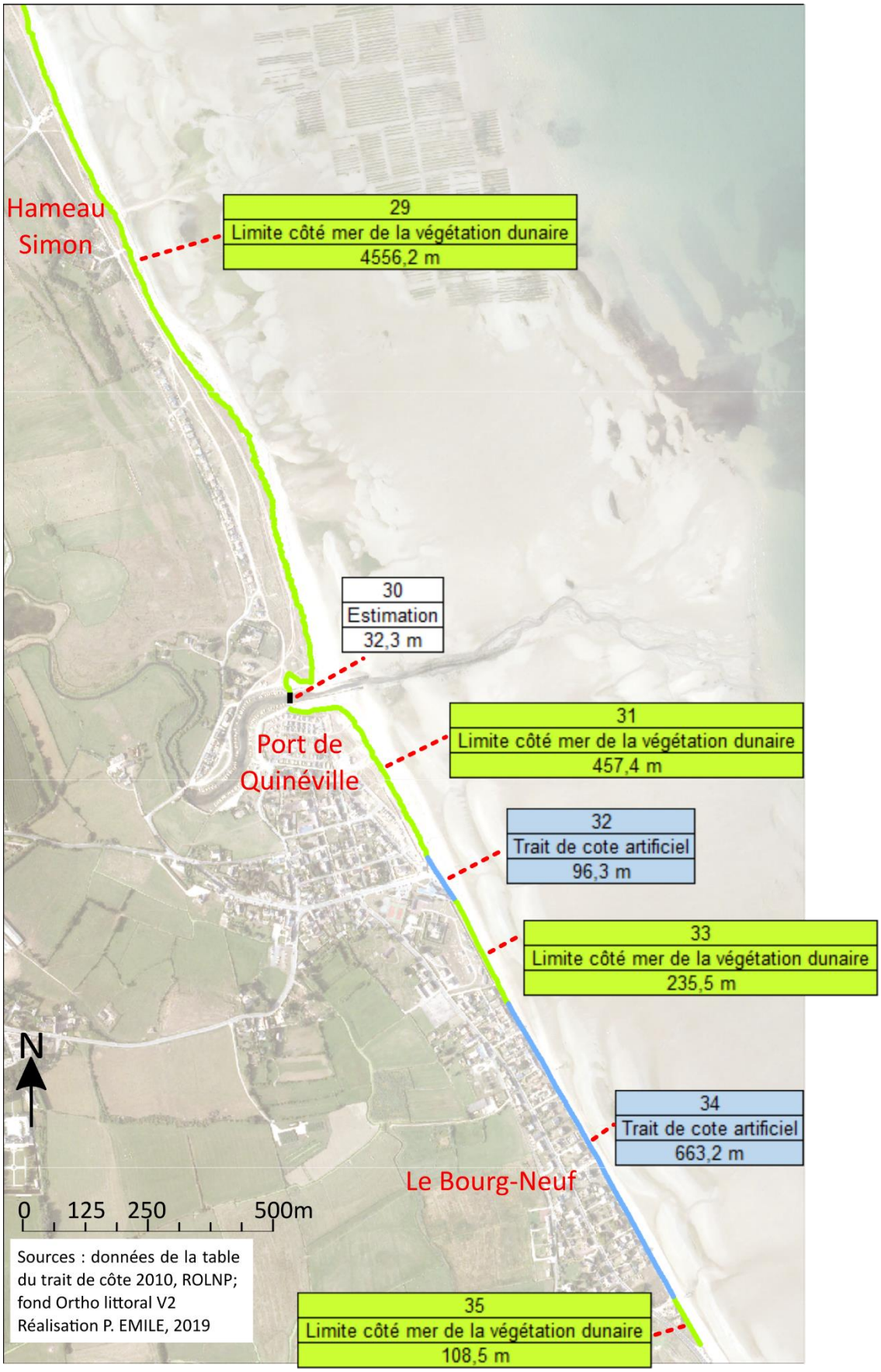


Figure 64 : Carte des natures de trait de côte sur le secteur Est (4/4), P. EMILE, 2019

1.3.1.3. Les traits de côte artificiels

1.3.1.3.1. Définition d'un trait de côte artificiel

Un trait **de côte artificiel** peut se définir comme un trait de côte construit dans le but de **fixer le littoral** à un endroit donné. Pour le ROLNP, le trait de côte « artificiel » se distingue du trait de côte « naturel » qui inclue notamment les dunes (pied ou haut), la végétation, ou encore les falaises (pied ou haut). Ils peuvent regrouper à la fois les ouvrages de **défense et de protection** contre l'érosion ou la submersion marine, ainsi que tous les **aménagements réalisés sur le trait de côte** (perré, jetée portuaire, cale d'accès à l'estran, …).

Une **synthèse de ces différents types d'ouvrages** a été réalisée par le ROLNP (*cf. Figure 65 : Tableau descriptif du contenu de la table du trait de côte "artificiel" du ROLNP, Notice TC BN, ROLNP,* 2014). C'est cette synthèse qui a été utilisée et suivie par les opérateurs du ROLNP au moment de la photo-interprétation et de la digitalisation des traits de côte et de la réalisation de la table attributaire. Elle recense les types de cas possibles pour chacune des informations récupérées pour avoir un niveau de détail important.

Nom du champ	Description	Valeurs possibles - Correspondance des valeurs
OBJECTID	Identifiant unique de l'objet	/
TYPE	Type d'ouvrage	2 - Mur, mur de soutènement
		3 - Perré
		4 - Digue côtière
		5 - Brise-lames
		6 - Epi
		8 - Jetée portuaire
		9 - Quai
		10 - Cale
		11 - Accès, chemin, voie submersible
		12 - Bâtiment, blockhaus, fortification
		15 - Autre
ORIENTA	Orientation de l'ouvrage	1 - Longitudinale
		2 - Transversale
A_APPAR	Année d'observation la plus ancienne	2010 (Manche), 2005 (Calvados), 2000, 1991-1992, 1982, 1977, 1947
A_DISP	Année où l'ouvrage n'est plus observé	2011 (Manche), 2005 (Calvados), 2000, 1991-1992, 1982, 1977, 1947
A2_VISIBLE	Année la plus récente où l'ouvrage est toujours visible	2012 (Manche), 2005 (Calvados), 2000, 1991-1992, 1982, 1977, 1947
FOURNISSEUR	Fournisseur de la donnée	CETE NC, DREALBN/ROLNP
MOA	Maître d'ouvrage	CETMEF, DREALBN/ROLNP
PI	Projection initiale	L93 - Lambert 93
LEVE	Type de levé	NUM - Numérisation
SUPPORT	Référentiel utilisé	3 - Orthophotographies
RESOLUTION	Résolution du référentiel	0,5
ECH_PDV	Echelle de la prise de vue	/
ZOOM_NUM	Echelle de digitalisation	2500 - 1/2500e
CONDITIONS	Etats de mer, conditions de la mer	2 - Marée basse ou mer calme
		3 - Marée haute ou mer agitée
DATE_PROD	Date de production	/
NOM	Nom de l'opérateur	/

Figure 65 : Tableau descriptif du contenu de la table du trait de côte "artificiel" du ROLNP, Notice TC BN, ROLNP, 2014

Les ouvrages artificiels ont plusieurs buts recherchés et leur position n'est pas anodine. En étant placés à un endroit, ils répondent aux volontés pour cet endroit précis.

Une première distinction se fait entre les ouvrages transversaux et les ouvrages longitudinaux.

Les **ouvrages longitudinaux** sont construits le long des côtes ou parallèlement à celles-ci. Ils ont deux vocations principales.

La première est de **protéger** le domaine littoral et ses infrastructures des submersions marines. Il s'agit d'ouvrages qui peuvent être construits à quelque distance du large pour limiter la puissance des vagues arrivant à la terre, c'est le rôle des digues et des brise-lames. Ils peuvent également être construits le long du trait de côte et faire office de mur de protection contre les hautes vagues, c'est le cas des murs et des perrés.

La seconde vocation des ouvrages longitudinaux est de **fixer le trait de côte** de manière à stopper, ou freiner l'érosion en empêchant la libération de matériaux et leur utilisation dans les transports hydro sédimentaires. Il peut s'agir de gros blocs rocheux (enrochements) ou d'un ouvrage bétonné (perrés).

Les **ouvrages transversaux** sont construits perpendiculairement au trait de côte et, dans le cas d'**ouvrages de protection**, visent à bloquer les sédiments transportés par les courants parallèles à la côte. Il s'agit des épis qui ont pour vocation de fixer les sédiments d'un côté de l'ouvrage pour permettre à une plage de se développer ou a minima de ne pas disparaitre.

D'autres ouvrages transversaux sont les digues et jetées portuaires visant à **protéger des courants et des houles** une zone (un port ou une plage).

Il existe enfin des cales et des voies d'**accès à l'estran**, souvent bétonnées, qui bien que ce ne soit pas leur but initial, influent sur la circulation hydrosédimentaire parallèle au trait de côte.

L'ensemble des ouvrages artificiels a des **conséquences** sur les **processus hydrodynamiques** et les **transferts sédimentaires**. Ces conséquences peuvent aller de l'érosion accentuée en voisinage à la destruction prématurée de l'ouvrage, en passant par l'ensablement.

1.3.1.3.2. Des ouvrages artificiels variés sur les deux secteurs d'étude

Nous pouvons remarquer que pour les deux secteurs d'étude, les **perrés** représentent une part importante des ouvrages artificiels (*cf. Figure 66 : Graphique du nombre de chaque type d'ouvrages artificiels recensés par secteur d'étude, d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P.* EMILE, 2019). Il s'agit d'un « *revêtement généralement maçonné ou en pierres situé en haut de plage, protégeant une promenade ou renforçant un remblai* » (*MEDDE, 2010*). Ils permettent à la fois de **protéger les infrastructures** situées en arrière, et de se **promener** le long de la mer et de la plage, à marée haute comme à marée basse du fait de sa surélévation.

Par ailleurs, parmi les ouvrages catégorisés dans « autre », il y a de nombreux **enrochements**, notamment sur le secteur Est. Une **digue côtière** existe sur ce secteur, de même que des ouvrages fortifiés au niveau de la Hougue (auprès de la Tour Vauban).

En plus de ces ouvrages longitudinaux, on repère quelques ouvrages transversaux. Un épi, et des accès à l'estran ont été réalisés sur le secteur Ouest, souvent pour fixer une ouverture à travers les dunes bordières et **permettre l'accès** pour des pécheurs ou conchyliculteurs.

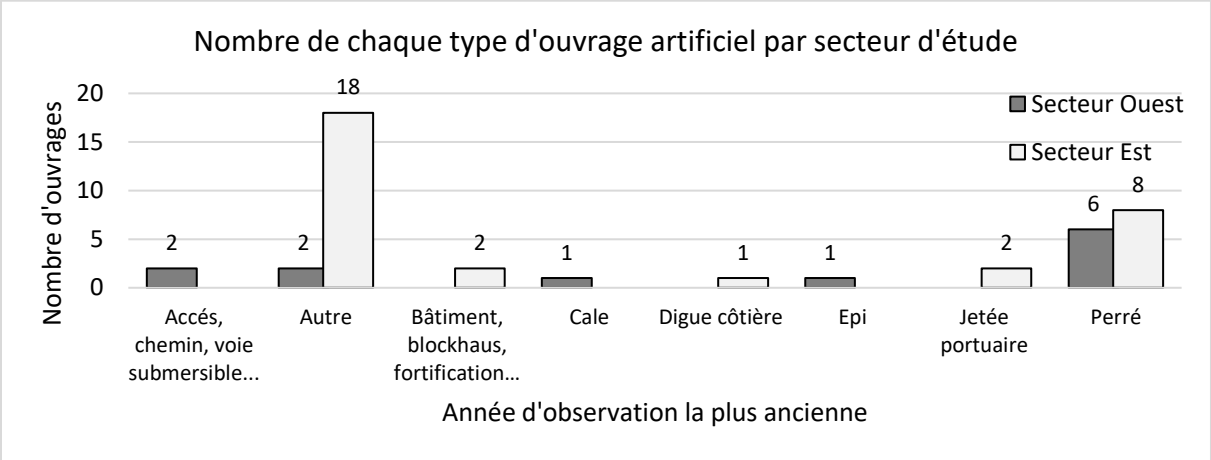


Figure 66 : Graphique du nombre de chaque type d'ouvrages artificiels recensés par secteur d'étude, d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019

Sur les deux secteurs étudiés, nous pouvons recenser des **perrés**, des **voies d'accès**, des **cales**, des **épis**, des **anciennes fortifications**, des **jetées portuaires** et une **digue côtière**. D'autres éléments n'ont pas été décrits précisément par le ROLNP et seront catégorisés comme « Autre ». Tous les traits de côte artificiels ont été retranscrits dans deux tableaux (*cf. Annexe 1 et Annexe 2*) à partir des données de la table attributaire de la couche « trait de côte artificiel » du ROLNP.

Linéaire des ouvrages sur chaque secteur d'étude (en m)	Secteur Ouest	Secteur Est
Longueur totale des ouvrages artificiels de 1947 à 2010	1280,1	5732,2
Longueur totale des ouvrages artificiels en 2010	1068,4	5114,5
Longueur totale des ouvrages artificiels longitudinaux en 2010	928,8	4445,6
Longueur totale des ouvrages artificiels transversaux en 2010	139,6	558,2

Figure 67 : Tableau du linéaire des ouvrages artificiels sur chaque secteur, d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019

Près de trois fois plus d'ouvrages artificiels ont été recensés sur le secteur Est que sur le secteur Ouest, malgré des longueurs équivalentes (de 12 à 14 km) (*cf. Figure 67 : Tableau du linéaire des ouvrages artificiels sur chaque secteur, d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019*).

Il faut préciser que les ouvrages artificiels ne sont **pas répartis de manière équivalente** sur les deux secteurs, et au sein-même de ceux-ci. La plupart du temps, ils se situent là où il y a des éléments exposés, c'est-à-dire auprès des hameaux et bourgs. Ainsi, des tronçons parfois importants sont exemptés d'ouvrages artificiels, auprès de parties où ils sont présents en forte densité. C'est le cas du secteur Est. Au Nord, de Saint-Vaast-la-Hougue à Quettehou, et au Sud, à Quinéville, le trait de côte est quasi exclusivement constitué d'ouvrages artificiels, tandis qu'au milieu du secteur, il s'agit d'un trait de côte végétalisé ou dunaire car c'est un espace moins anthropisé, aux enjeux plus faibles.

1.3.1.3.3. Des ouvrages artificiels construits depuis longtemps sur le secteur Est, plus récemment sur le secteur Ouest

Nous pouvons observer que le **souci de protection** est apparu **plus tôt sur le secteur Est** que sur le secteur Ouest (*cf. Figure 68 : Graphique du nombre d'ouvrages artificiels recensés par année d'observation la plus ancienne sur les deux secteurs d'étude, d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P.* EMILE, 2019). Les communes de Quettehou et Saint-Vaast-la Hougue ont été soumises entre 1931 et 2010 à « *25 événements météo-marins qui ont occasionné des dommages, dont 7 ont provoqué une submersion* » (*DDTM de la Manche, 2016*). En effet, 14 ouvrages sur les 31 recensés sur la période ont été construits avant 1947 et 10 ont été réalisés entre 1947 et 1977.

Cela indique une **artificialisation plus ancienne** de la côte et la **présence d'enjeux** qui semblaient nécessaires à protéger. En effet, la côte Est au Sud de St-Vaast la Hougue attire depuis longtemps du fait de ses larges plages et de son activité conchylicole. De plus, la présence moins importante de dunes bordières sur le trait de côte a rendu plus facile et attrayante l'implantation et la construction de bâtis à quelques mètres de l'estran.

Sur la **côte Ouest,** entre Sciotot et Baubigny, l'implantation en bordure immédiate du trait de côte s'est faite plus tard et l'artificialisation et les soucis de protection sont apparus **plus récemment**. Ainsi, la moitié des ouvrages artificiels (6 sur 12) recensés sur la période depuis 1947 ont été réalisés après 1982. Seulement 2 sont antérieurs à 1947 (dont un accès à la plage) et n'existent plus aujourd'hui. En effet, les dunes bordières, parfois larges de 1 km ont rendu l'implantation plus difficile en bordure immédiate du littoral. Les communes littorales (Sciotot, Surtainville) ont commencé à vraiment se développer près de la mer après les années 1970.

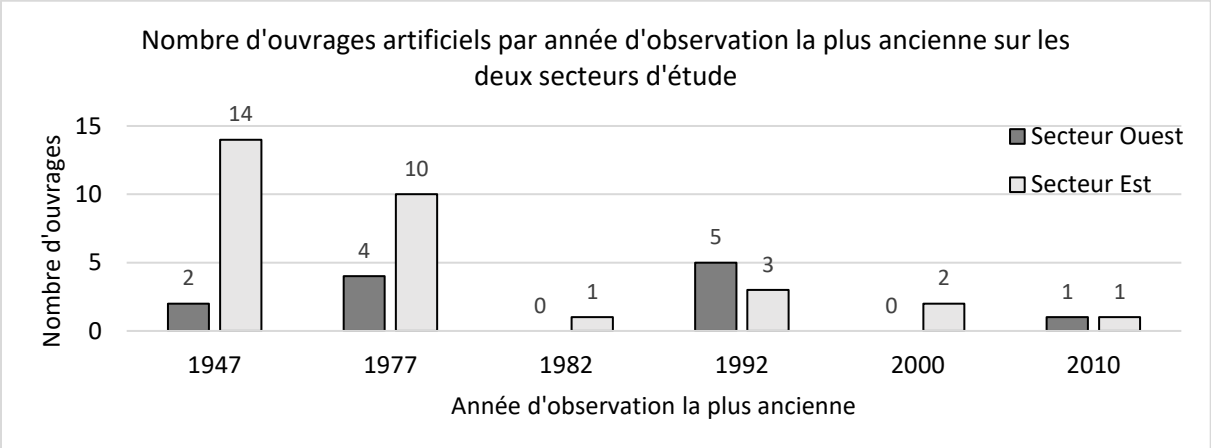


Figure 68 : Graphique du nombre d'ouvrages artificiels recensés par année d'observation la plus ancienne sur les deux secteurs d'étude, d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019

Identifiant de l'objet sur le secteur
Type d'ouvrage
Orientation de l'ouvrage
Localisation
Année d'observation la plus ancienne
Année la plus récente où l'ouvrage est toujours visible
Longueur de l'ouvrage (m)

Figure 69 : Tableau-type suivi pour la localisation et la description des ouvrages artificiels, d'après la couche « trait de côte artificiel » du ROLNP, P. EMILE, 2019

Pour **localiser les ouvrages** et **connaitre leurs principales caractéristiques**, j'ai fait le choix d'utiliser quelques informations issues de la table attributaire du ROLNP et de les ajouter aux photographies aériennes des deux secteurs. Ces informations sont indiquées sur la cartographie selon le tableau-type ci-dessus (*cf. Figure 69 : Tableau-type suivi pour la localisation et la description des ouvrages artificiels, d'après la couche « trait de côte artificiel » du ROLNP, P. EMILE,* 2019).

Pour favoriser la lecture, différentes couleurs de tableaux ont été retenues selon les dates de création d'ouvrages et leur présence actuelle.

1.3.1.3.4. Un trait de côte très artificialisé sur le secteur Est

Sur le secteur Est, **31 traits de côte « artificiels »** ont existés entre 1947 et 2010. 28 ouvrages existent encore, pour un linéaire de plus de 5000 m. Près de 4500 m de trait de côte sont en effet constitués d'ouvrages longitudinaux, et sur l'ensemble du secteur plus de 500 m d'ouvrages transversaux sont présents (*cf. Figure 67 : Tableau du linéaire des ouvrages artificiels sur chaque secteur, d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019, p.83*). Ces ouvrages sont localisés sur les 4 documents suivants (*cf. Figure 79 ; Figure 80 ; Figure 81 ; Figure 82*).

Figure 70 : Photographie de la Pointe de la Hougue et des fortifications sur le trait de côte (sur img.itinari.com)

Au niveau du Fort de la Hougue, les ouvrages artificiels rencontrés sont des **ouvrages longitudinaux** (*cf. Figure 70 : Photographie de la Pointe de la Hougue et des fortifications sur le trait de côte*). Ces ouvrages sont en majorité anciens (déjà présents en 1947) et font partie des anciennes fortifications du Fort de la Hougue (ouvrages 1, 3, 4, 5). Ce Fort de la Hougue a été construit à partir de 1694 d'après les plans de **Vauban** par un de ses élèves (*patrimoine-maritime-normand.org*) pour protéger la baie de Saint-Vaast-la-Hougue avec le Fort de Tatihou. C'est aujourd'hui un monument historique, classé au Patrimoine Mondial de l'Humanité. Un tronçon de près de 40 m a été réalisé plus tard, entre 1982 et 1992, sans doute pour consolider une zone en érosion (ouvrage 2).

La **route du Fort** est protégée par des aménagements pour être **surélevée** et protégée des submersions (ouvrages 7 et 9). Cette route peut s'apparenter à une digue bétonnée (*cf. Figure 71 : Photographie de la route de la Hougue, P. EMILE, 22/03/19*). Sur le côté Est de la route, un perré a été réalisé pour permettre de se promener et voir la mer ainsi que l'île de Tatihou. Ces ouvrages sont également **anciens** (avant 1947) et subsistent encore aujourd'hui. Un ouvrage qui a été construit sur le même modèle a été détruit avant 1977 (ouvrage 6).

Un **ouvrage transversal** de plus de 200 m a été érigé avant 1977 (ouvrage 8). Celui-ci a pu avoir pour vocation de favoriser l'accumulation ou de limiter la puissance des houles sur la route de la Hougue et les parcs conchylicoles.

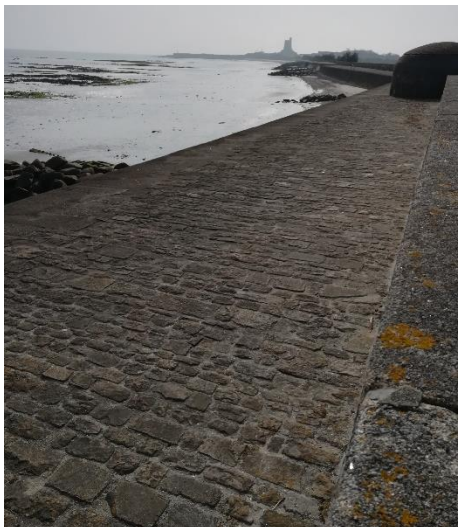


Figure 71 : Photographie de la route de la Hougue, P. EMILE, 22/03/19

Figure 72 : Photographie du talus protégeant le camping de la Galouette, P. EMILE, 22/03/19

Au niveau du camping La Galouette, des **ouvrages longitudinaux** ont été placés à deux périodes différentes, avec pour office la **protection** des infrastructures situées derrière.

Avant 1977, des ouvrages ont été construits sur plus de 300 m (ouvrages 10, 13, 14). Deux d'entre eux ont été détruits entre 1982 et 1992.

Entre 1992 et 2000, des **perrés** ont été réalisés sur près de 400 m, légèrement plus près des côtes que les précédents (ouvrages 11 et 12). Ces ouvrages font aujourd'hui office de trait de côte et un chemin bétonné est implanté dessus. Dans le paysage, ils s'apparentent à un talus surélevé de 1 m par rapport à l'anse d'accumulation. Un fossé de 1 m de profondeur a également été creusé entre le talus et le camping (*cf. Figure 72 : Photographie du talus protégeant le camping de la Galouette, P. EMILE, 22/03/19*).

Sur près de 500 m entre le camping et la rue d'Isamberville, le trait de côte est artificialisé depuis avant 1947 (ouvrage 15). Il s'agit principalement de **murs bétonnés** et d'enrochements.

A l'Est du Carvallon, des **ouvrages longitudinaux** protègent les bâtis situés derrière (ouvrages 16, 17, 18). Ces ouvrages ont été réalisés à différentes échéances (avant 1947, 1977 et 2010) dans la continuité des murs bétonnés situés à l'Est (*cf. Figure 73 : Photographie des murs bétonnés placés à l'Est du Carvallon, P. EMILE, 22/03/19*).

Figure 73 : Photographie des murs bétonnés placés à l'Est du Carvallon, P. EMILE, 22/03/19

Au niveau du Carvallon, un **perré** de plus de 350 m a été érigé entre 1982 et 1992, pour **protéger** les nombreux bâtiments conchylicoles de la **zone industrielle** (ouvrage 19). Ce perré surplombe la plage et protège de la submersion (*cf. Figure 74 : Photographie des ouvrages longitudinaux situés devant les bâtis industriels de St-Vaast-la-Hougue, P. EMILE, 22/03/19*).

Figure 74 : Photographie des ouvrages longitudinaux situés devant les bâtis industriels de St-Vaast-la-Hougue, P. EMILE, 22/03/19

Figure 75 : Photographie des enrochements devant la route côtière au niveau de la Chasse du Bourg, P. EMILE, 22/03/19

Au niveau de la Chasse du Bourg, une **digue côtière** de près de 200 m a été créée entre 1982 et 1992, pour permettre la présence d'une petite route côtière et protéger de l'érosion le fond de l'anse du Cul de Loup (ouvrage 20). Cette digue côtière est complétée ponctuellement par des **enrochements** (*cf. Figure 75 : Photographie des enrochements devant la route côtière au niveau de la Chasse du Bourg, P. EMILE, 22/03/19*). Certains de ces aménagements sont aujourd'hui en mauvais état.

Au niveau du Hameau Le Rivage, situé à la limite entre Quettehou et Morsalines, il y a de nombreux **ouvrages longitudinaux** qui font offices de trait de côte, en protection des bâtis construits le long de la côte. Il s'agit de **murs bétonnés** placés juste devant les bâtis. Sur de petites parties, ce sont des **enrochements**. Ces ouvrages sont pour la plupart atteints lors des marées hautes, ce qui les rends très sollicités (*cf. Figure 76 : Photographie de murs protégeant des habitations au Hameau Le Rivage, P. EMILE, 4/01/19*).

Figure 76 : Photographie de murs protégeant des habitations au Hameau Le Rivage, P. EMILE, 4/01/19

Deux tronçons ont été réalisés avant 1947, devant des villas anciennes construites au début de l'ère du tourisme balnéaire, pour un linéaire cumulé de plus de 500 m (ouvrages 21 et 23).

Deux autres tronçons ont été érigés sur près de 150 m entre 1947 et 1977 au moment du développement du hameau (ouvrage 22 et 24).

Au lieu-dit La Redoute, à Morsalines, un **perré** a été construit avant 1947 (ouvrage 25). Il s'agissait d'une **protection d'une ancienne fortification** (une redoute). Cet ouvrage est aujourd'hui en érosion du fait de son ancienneté et des contraintes exercées par la mer et mesure aujourd'hui près de 300 m.

Au Nord de Quinéville, **2 jetées portuaires** de 150 m chacune ont été réalisées entre 1947 et 1977 pour protéger le chenal d'accès à la mer (ouvrages 26 et 27) (*cf. Figure 77 : Photographie de la jetée portuaire de Quinéville, à l'embouchure du cours d'eau de la Sinope, P. EMILE, 4/01/19*).

Figure 77 : Photographie de la jetée portuaire de Quinéville, à l'embouchure du cours d'eau de la Sinope, P. EMILE, 4/01/19

Au niveau du musée World War 2, un ouvrage transversal a été créé avant 1947, il s'agit d'une **cale d'accès à la mer** (ouvrage 29).

Figure 78 : Photographie des perrés protégeant les habitations à Quinéville, P. EMILE, 4/01/19

A partir du musée et jusqu'à l'extrémité du secteur, le trait de côte est composé **d'ouvrages longitudinaux**, principalement sous forme de **perrés** sur près d'1 km (ouvrages 28 et 30) (*cf. Figure 78 : Photographie des perrés protégeant les habitations à Quinéville, P. EMILE, 4/01/19*). Un tronçon est considéré comme un tronçon de végétation dunaire dans les recensements du ROLNP mais il s'agit en réalité d'un fin cordon appuyé sur un mur bétonné. Ces ouvrages ont pour la plupart été réalisés entre 1947 et 1977, l'extrémité Sud l'ayant été entre 1977 et 1982.

Localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels sur le secteur Est :
au niveau de la Pointe de la Hougue (commune de St-Vaast-la-Hougue)

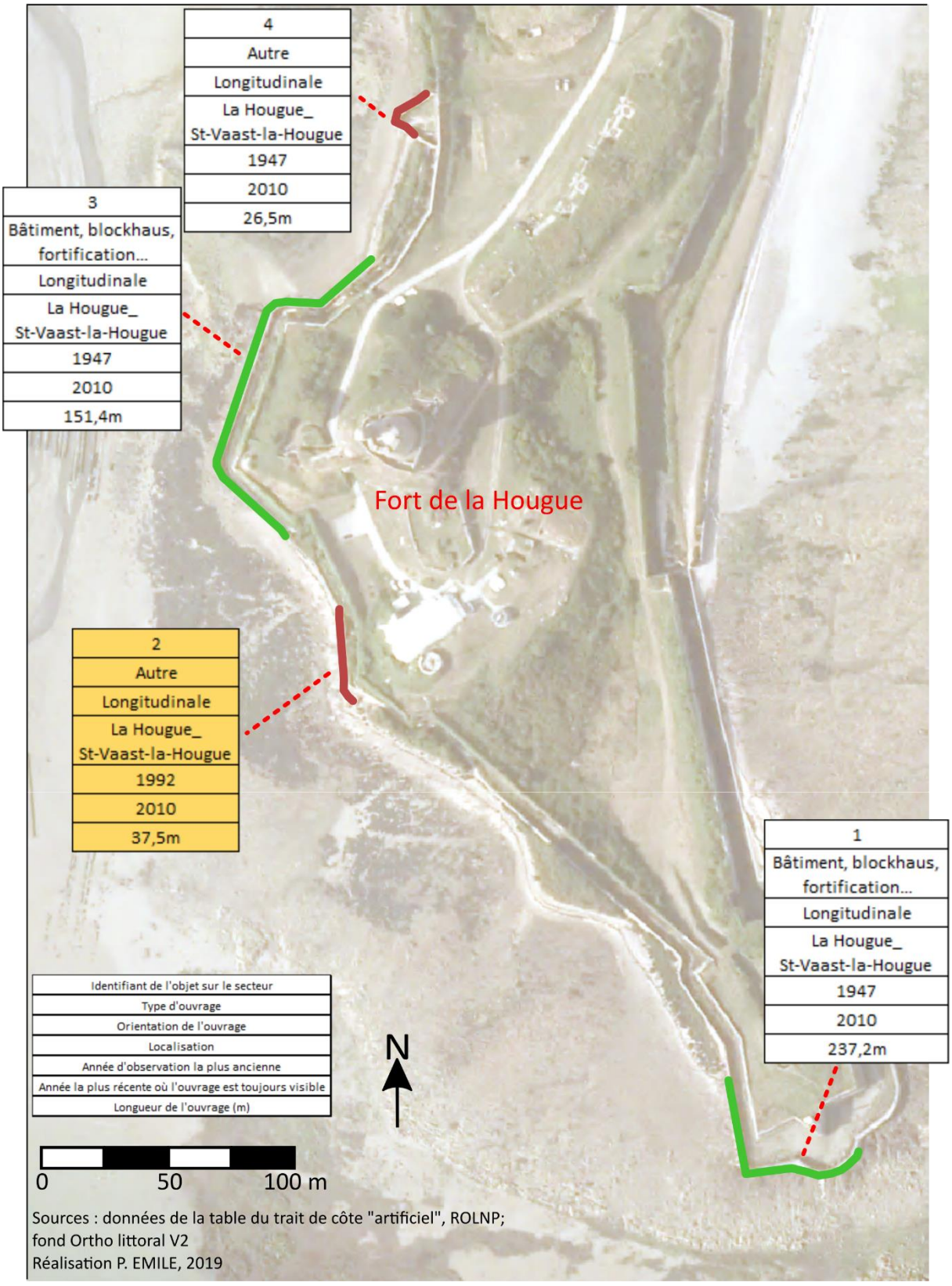
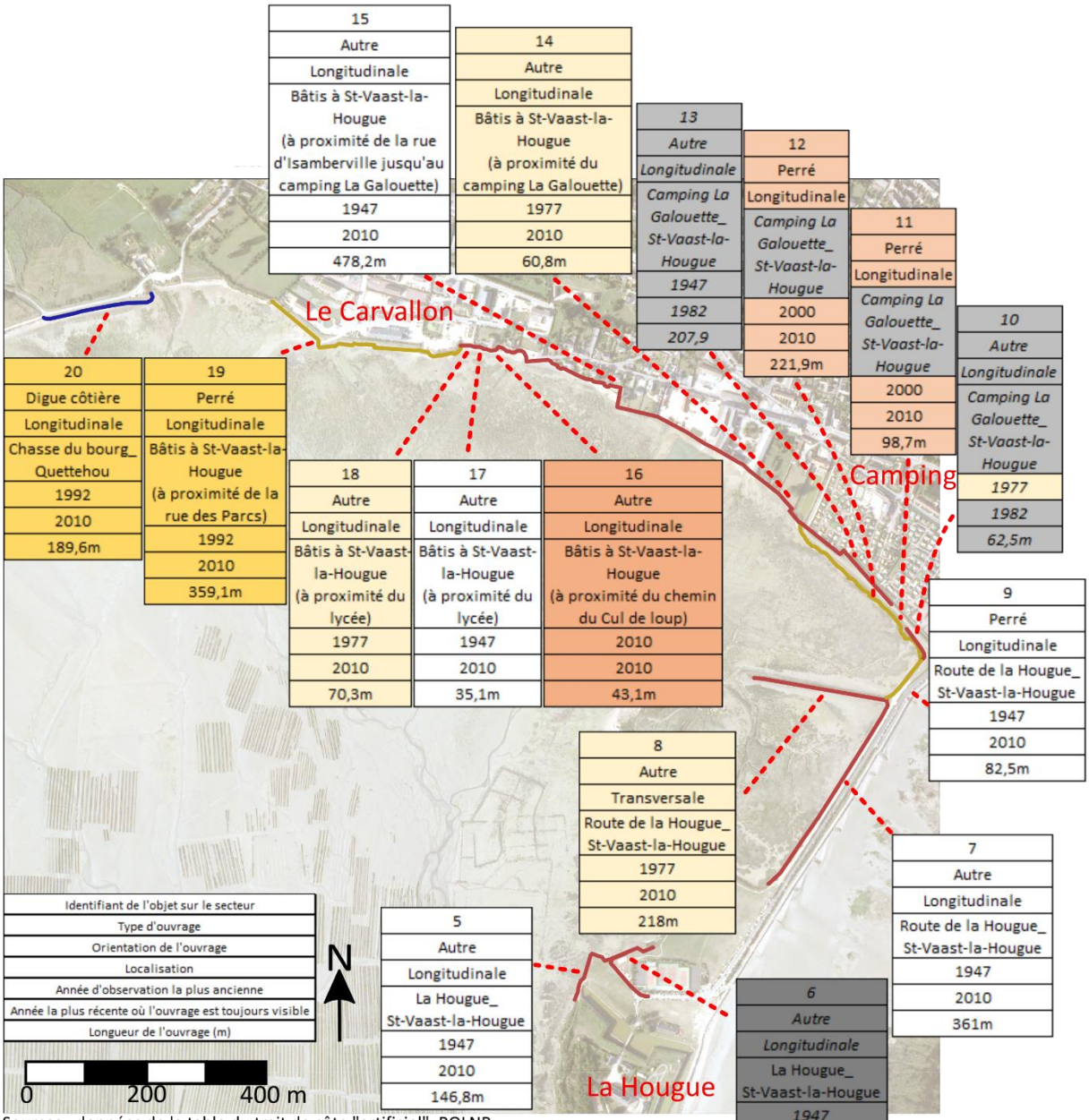


Figure 79 : Image aérienne de localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels du secteur Est (1/4), d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019

Localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels sur le secteur Est :
ouvrages de la Hougue à la chasse du bourg (commune de St-Vaast-la-Hougue et Quettehou)



Sources : données de la table du trait de côte "artificiel", ROLNP;
fond Ortho littoral V2
Réalisation P. EMILE, 2019

Figure 80 : Image aérienne de localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels du secteur Est (2/4), d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019

Localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels sur le secteur Est : ouvrages du chemin d'Isamberville à La Redoute (commune de Quettehou et Morsalines)

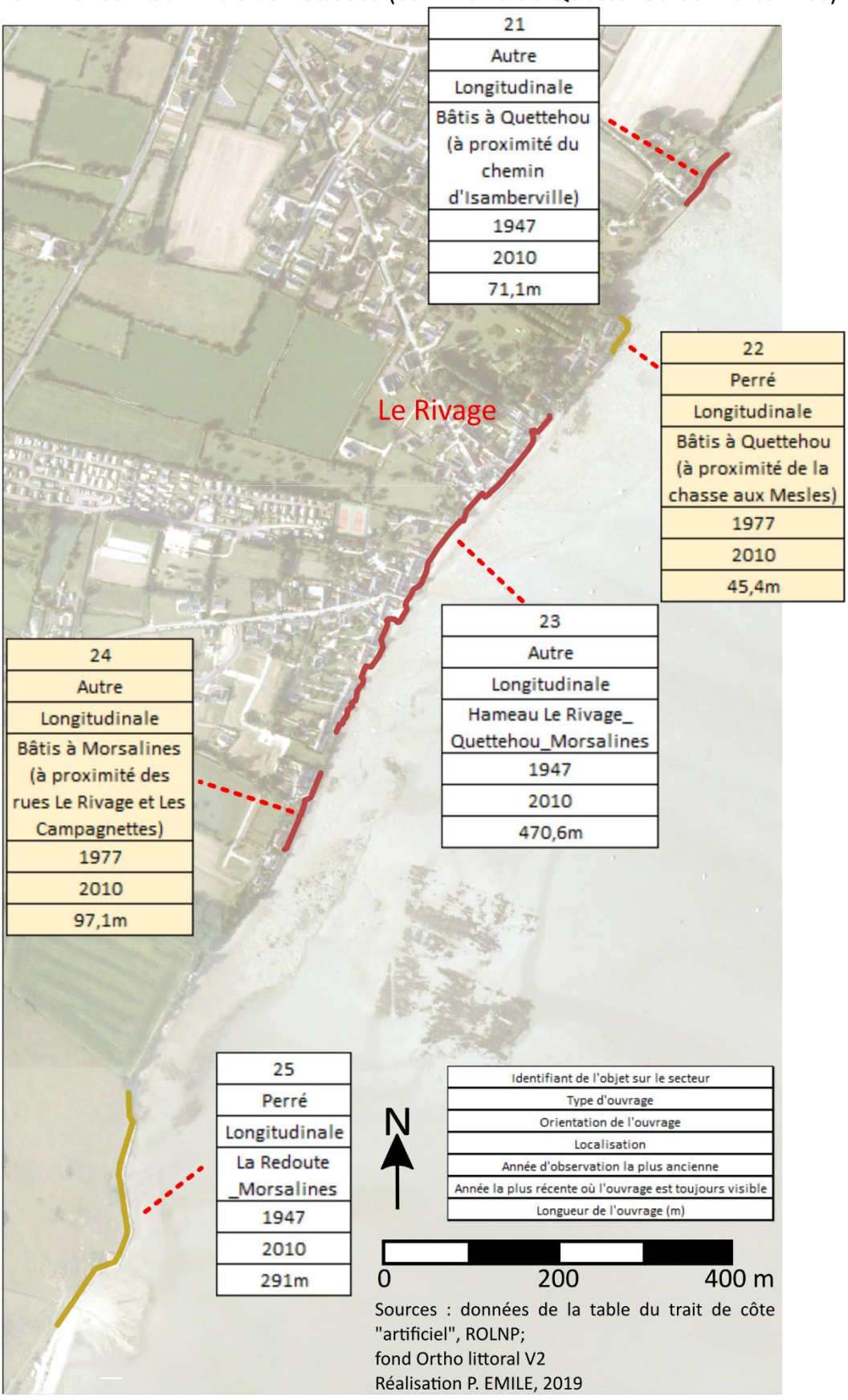
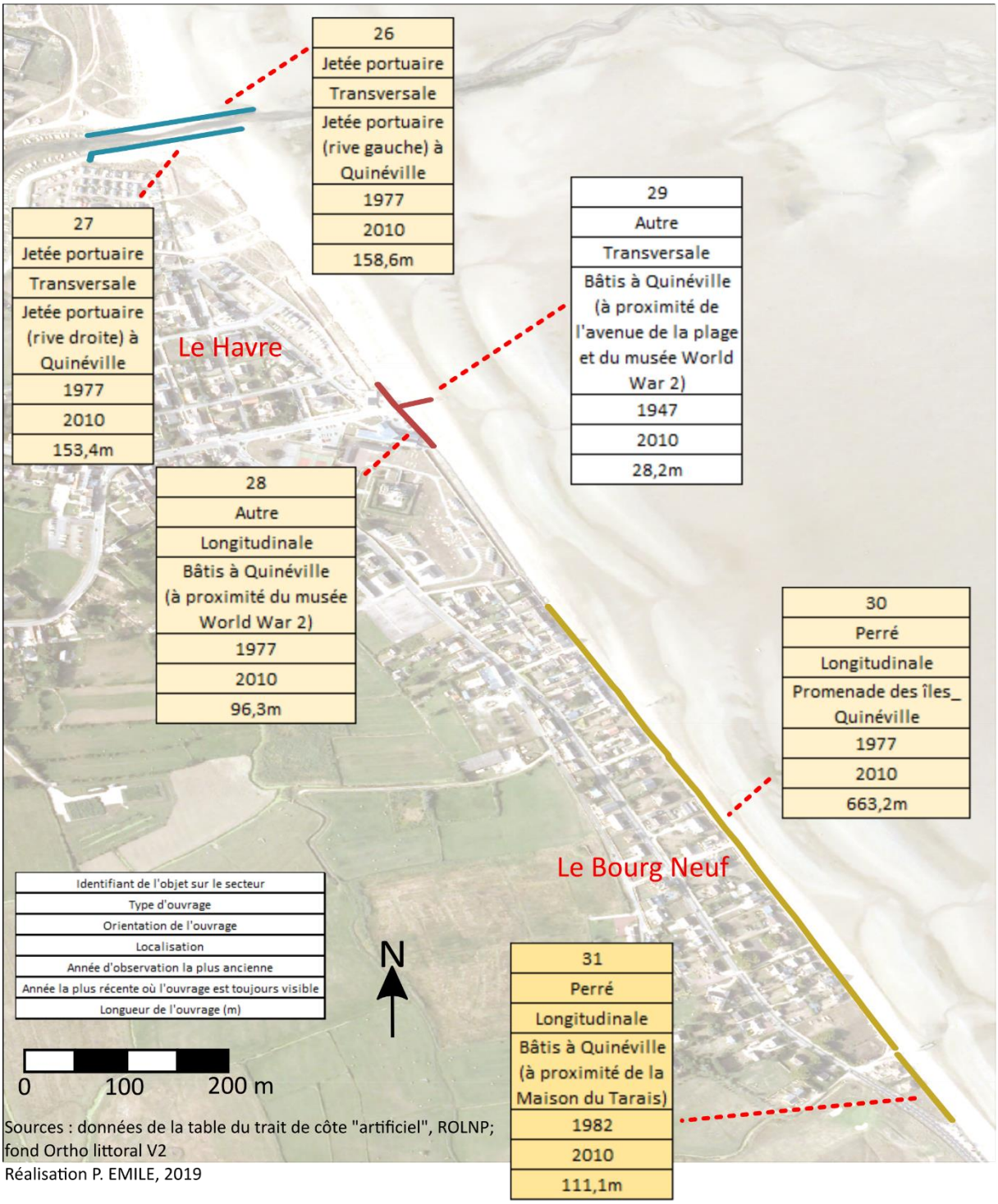


Figure 81 : Image aérienne de localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels du secteur Est (3/4), d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019

Localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels sur le secteur Est :
ouvrages du port à la promenade des îles(commune de Quinéville)



Sources : données de la table du trait de côte "artificiel", ROLNP; fond Ortho littoral V2
Réalisation P. EMILE, 2019

Figure 82 : Image aérienne de localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels du secteur Est (4/4), d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019

1.3.1.3.5. Un trait de côte moins artificialisé sur le secteur Ouest

Pendant la période de 1947 à 2010, **12 traits de côte « artificiels »** ont été recensés sur la côte Ouest. 8 subsistent encore aujourd'hui pour un linéaire de plus de 1000 m. plus de 900 m du littoral est ainsi aujourd'hui constitué d'ouvrages longitudinaux et il existe près de 140 m d'ouvrages transversaux (*cf. Figure 67 : Tableau du linéaire des ouvrages artificiels sur chaque secteur, d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019, p. 83*). Ces ouvrages sont localisés sur les 3 documents suivants (*cf. Figure 89 ; Figure 90 ; Figure 91*).

Au Nord du secteur, au niveau du Havre Jouan, un **perré** de près de 100 m a été construit entre 1982 et 1992 (ouvrage 1). Cet ouvrage a été réalisé pour consolider le fond du havre, situé dans une encoche au Sud du Cap de Flamanville (*cf. Figure 83 : Photographie du Havre Jouan, P. EMILE, 4/01/19*). Une **plate-forme bétonnée**, sur le principe d'une cale, a été créée à côté des platiers rocheux pour permettre aux petits bateaux de prendre la mer.

Figure 83 : Photographie du Havre Jouan, P. EMILE, 4/01/19

A Sciotot, entre la route du Fort et le parking du Hameau Courtois, des **perrés prennent place sur près de 700 m** (ouvrages 2 et 7). Il s'agit d'ouvrages qui sont successivement composés d'**enrochements** et de **parties bétonnées**.

Ils protègent à la fois des parkings, un sentier littoral et des maisons situées peu en arrière (*cf. Figure 84 : Photographie des enrochements situés entre la route du Fort et le Hameau Courtois, P. EMILE, 22/03/19*). Ils ont été réalisés entre 1982 et 1992 pour **remplacer des ouvrages plus anciens** qui ont été détruits entre 1977 et 1982 (ouvrages 3 et 4). Ces anciens ouvrages étaient situés quelques mètres en arrière sur un linéaire moins important (moins de 200 m).

Figure 84 : Photographie des enrochements situés entre la route du Fort et le Hameau Courtois, P. EMILE, 22/03/19

Plusieurs cales et accès à la plage ont été aménagés au niveau de Sciotot en raison de l'importance du tourisme et des activités balnéaires.

Au niveau du parking du Hameau Fortin, une **voie d'accès à la plage** a été réalisée entre 1947 et 1977 sur 22 m (ouvrage 5). Il a remplacé un ancien accès construit avant 1947 au même endroit (ouvrage 6).

Au Hameau Courtois, auprès du parking principal de la plage, un **ouvrage transversal** de 40 m a été mis en place entre 1982 et 1992 pour permettre un **accès à la plage** bétonné, dans la continuité du parking (ouvrage 8) (*cf. Figure 85 : Photographie de la cale du parking du Hameau Courtois à Sciotot, P. EMILE, 4/01/19*).

Figure 85 : Photographie de la cale du parking du Hameau Courtois à Sciotot, P. EMILE, 4/01/19

Au niveau du Hameau Le Grand Sciotot, une **cale** a été construite entre 1947 et 1977. Celle-ci a été détruite entre 2000 et 2010 (ouvrage 9). Il en reste quelques vestiges aujourd'hui.

Auprès du camping Le Grand Large, au Sud des Mielles de Sciotot, des **perrés** prennent place de part et d'autre de l'accès tracé dans le cordon dunaire. L'ouvrage situé au Nord protège une maison et a été érigé entre 1947 et 1977 sur près de 50 m (ouvrage 10). Celui au Sud a été créé entre 1982 et 1992 sur plus de 100 m (ouvrage 11).

Ces deux ouvrages sont composés d'**enrochements** et de tronçons bétonnés (*cf. Figure 86 : Photographie des aménagements longitudinaux au niveau du camping Le Grand Large, P. EMILE, 26/02/19*).

Figure 86 : Photographie des aménagements longitudinaux au niveau du camping Le Grand Large, P. EMILE, 26/02/19

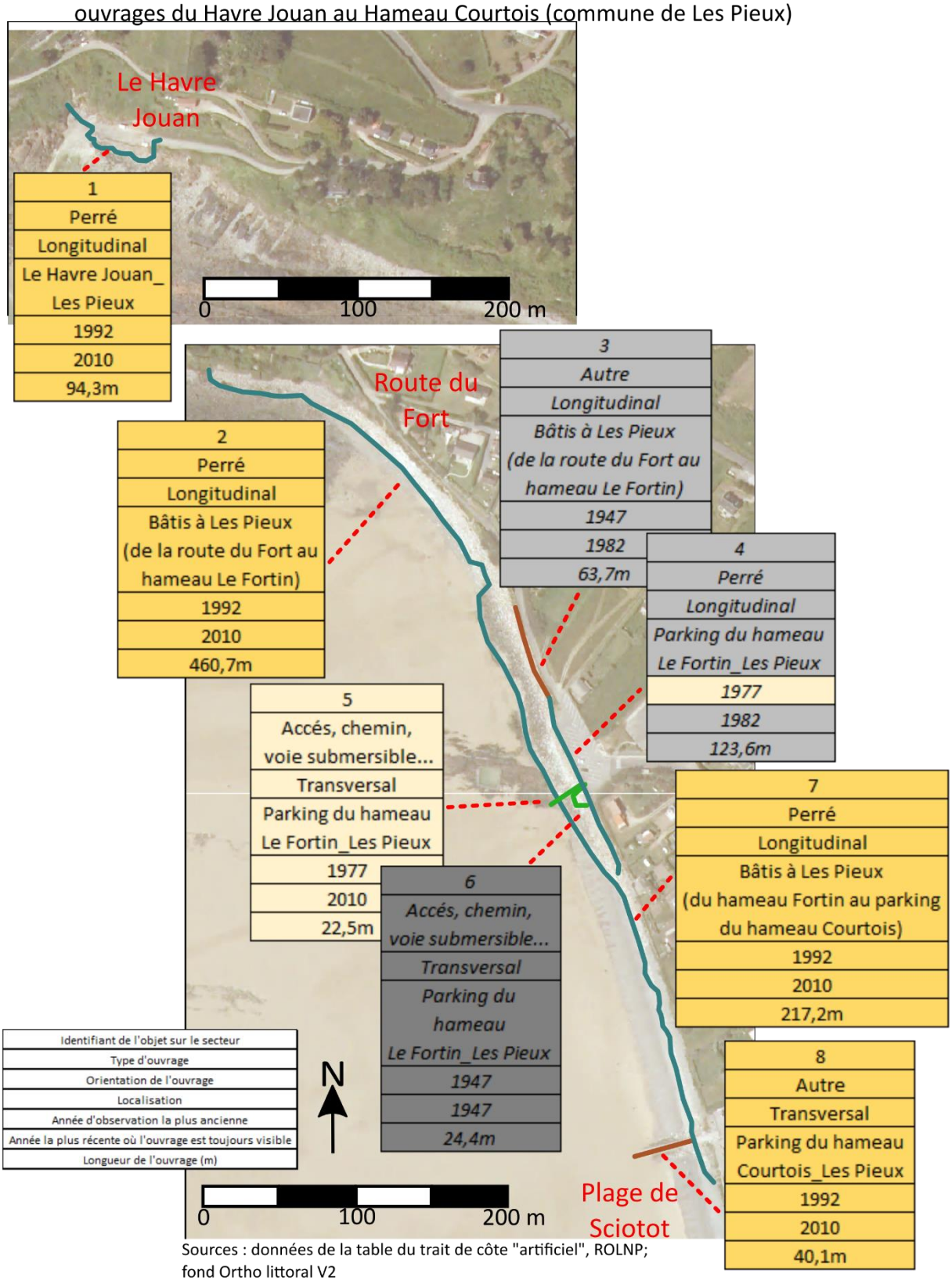
Figure 87 : Photographie de l'enrochement au hameau Le Pou, au Sud du Cap du Rozel, P. EMILE, 4/01/19

Au hameau Le Pou, dans l'anse formée par l'extrémité Sud du Cap du Rozel, un **enrochement** est présent (*cf. Figure 87 : Photographie de l'enrochement au hameau Le Pou, au Sud du Cap du Rozel, P. EMILE, 4/01/19*). Il n'est pas référencé dans la table attributaire des traits de côte du ROLNP.

Un dernier ouvrage, au Sud du hameau Le Pou a été créé entre 2001 et 2010. Il est catégorisé comme un **épi** mesurant 40 m (ouvrage 12). Celui-ci a également pour rôle de **faire passer l'eau sous le cordon dunaire**, pour favoriser le maintien de celui-ci (*cf. Figure 88 : Photographies du conduit d'eau sous l'estran au hameau Le Pou, P. EMILE, 4/01/219*).

Figure 88 : Photographies du conduit d'eau sous l'estran au hameau Le Pou, P. EMILE, 4/01/219

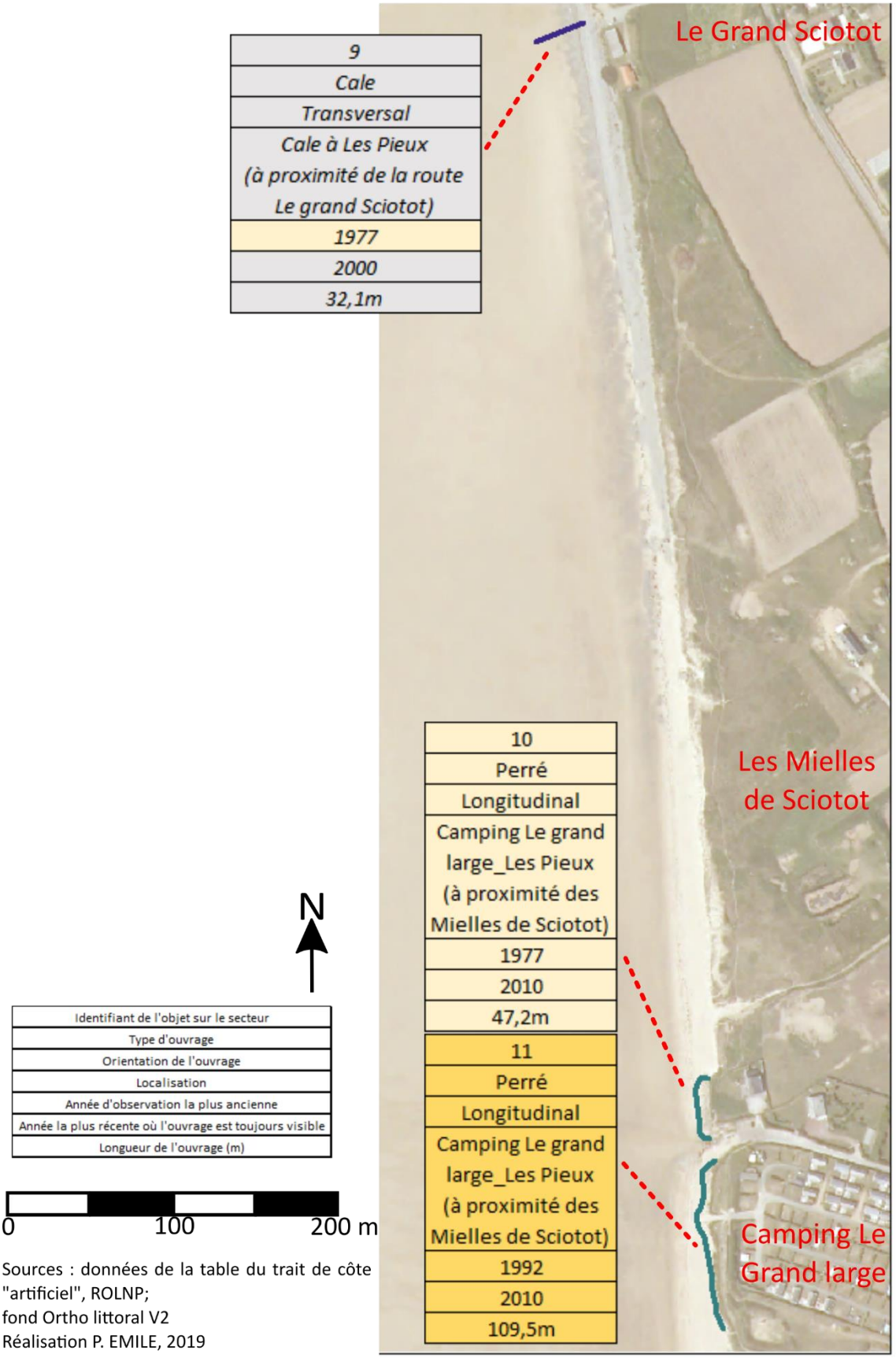
Localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels sur le secteur Ouest : ouvrages du Havre Jouan au Hameau Courtois (commune de Les Pieux)



Sources : données de la table du trait de côte "artificiel", ROLNP;
fond Ortho littoral V2
Réalisation P. EMILE, 2019

Figure 89 : Image aérienne de localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels du secteur Ouest (1/3), d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019

Localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels sur le secteur Ouest : ouvrages du Grand Sciotot aux Mielles de Sciotot (commune de Les Pieux)



Sources : données de la table du trait de côte "artificiel", ROLNP;
fond Ortho littoral V2
Réalisation P. EMILE, 2019

Figure 90 : Image aérienne de localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels du secteur Ouest (2/3), d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019

Localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels sur le secteur Ouest : ouvrage au hameau du Pou(commune de Surtainville)

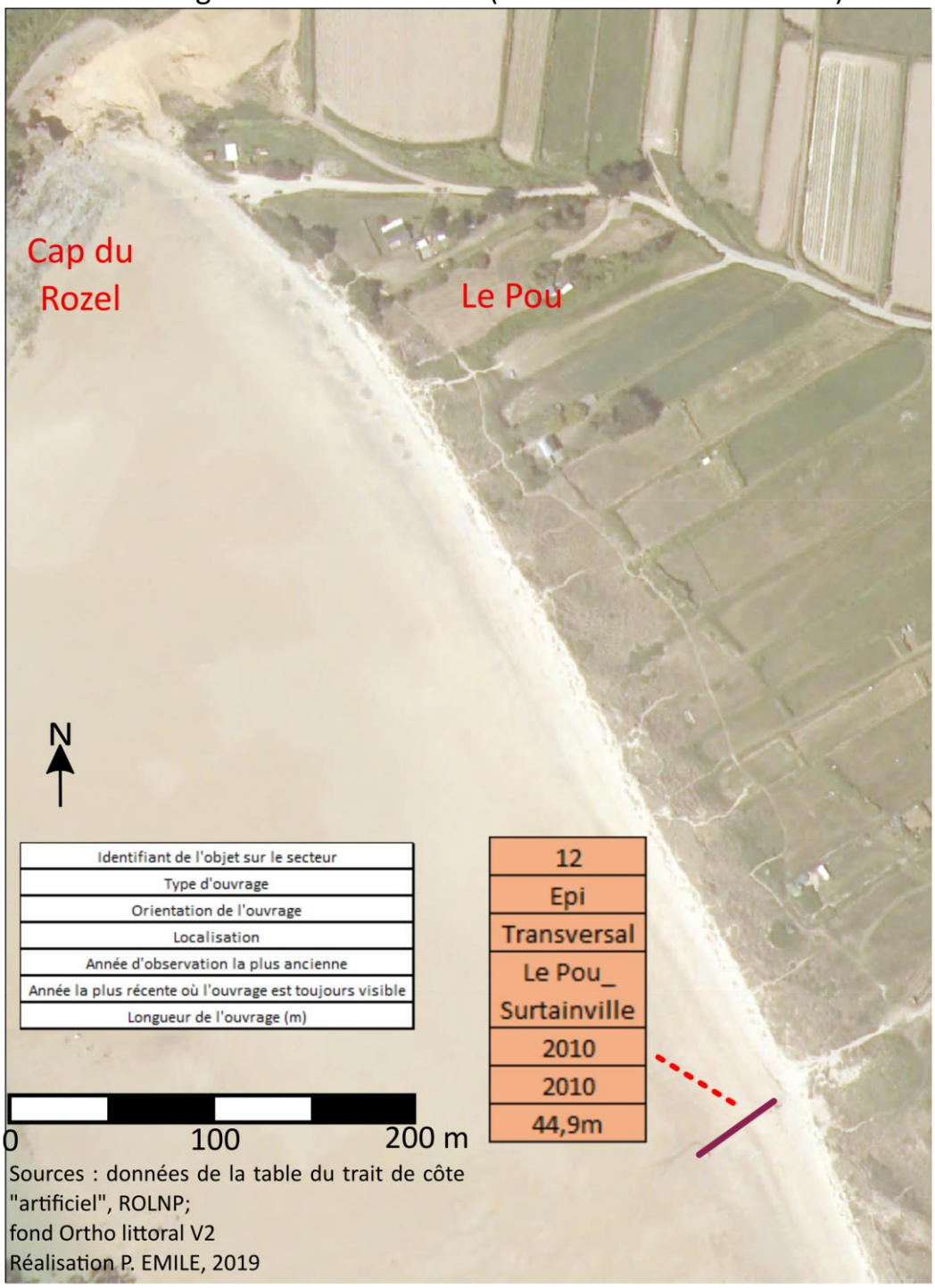


Figure 91 : Image aérienne de localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels du secteur Ouest (3/3), d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019

1.3.2. Des estrans de sables moyens et des platiers rocheux sur la façade Ouest ; des sables fins, des sédiments vaso-sableux et du schorre à l'Est

L'**estran**, aussi appelé **espace intertidal**, est l'espace qui est successivement recouvert et découvert à chaque marée. Sa largeur est variable selon les secteurs et selon les coefficients de marée. Les estrans du Cotentin sont larges, cela s'explique par le fait qu'il s'agisse de côtes macrotidales. L'estran peut être de **plusieurs natures** selon la **géologie** de l'espace qu'il occupe, les **sédiments** à disposition ou encore les **conditions hydrodynamiques**. En fonction des endroits, il peut se composer de platiers rocheux, de sables ou galets plus ou moins fins, d'argiles ou encore de végétation.

Pour étudier les estrans, j'ai utilisé la base de données DDE50_ESTRAN_P, disponible sur le portail de l'IFREMER. Il s'agit de données sur les **natures d'estran de la Manche** qui ont été numérisées par la Direction Départementale de l'Equipement de la Manche en 2009 à partir des données de l'atlas POLMAR de la Manche (*CEDRE, 1995*) et d'observations de terrain.

A partir du trait de côte de 2017, acquis par le biais des données LIDAR du ROLNP, j'ai délimité une **bande littorale de 500 m côté mer** pour étudier l'estran sur un espace réduit qui correspond à une largeur cohérente (largeur d'estran, relative diversité). Des tableaux récapitulatifs et une cartographie ont ainsi pu être réalisés.

1.3.2.1. Des sables moyens et des platiers rocheux sur les estrans du secteur Ouest

Les deux natures d'estran qui sont les plus caractéristiques de la bande des 500 m sur ce secteur Ouest sont les **sables moyens** avec 78.3 % de l'estran dans les 500 m, et les **platiers rocheux** avec 21.2 %. Les taux d'occupation de l'estran en chenaux et en galets sont anecdotiques à l'échelle du secteur (*cf. Figure 92 : Graphique des taux d'occupation de l'estran dans la bande des 500 m du secteur Ouest, P. EMILE, 2019 et Figure 97 : Image aérienne et types d'estrans de la côte Ouest, image ortholittorale, P. EMILE, 2019*).

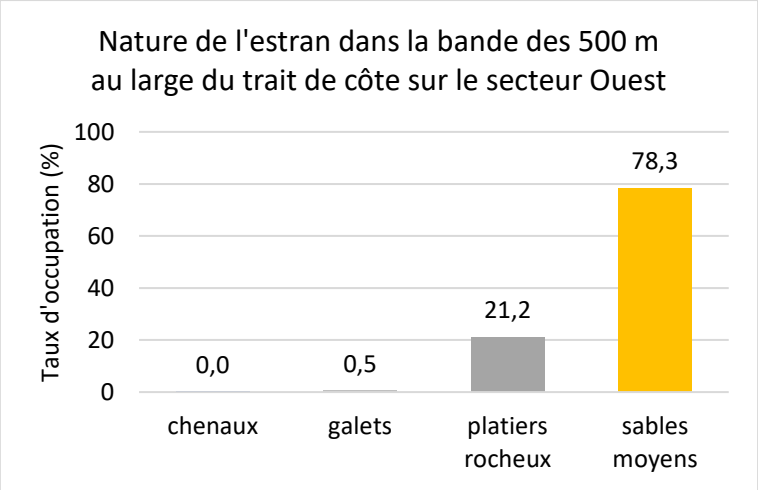


Figure 92 : Graphique des taux d'occupation de l'estran dans la bande des 500 m du secteur Ouest, P. EMILE, 2019

Figure 93 : Photographie d'un estran composé de platiers rocheux au Havre Jouan, P. EMILE, 4/01/19

Figure 94 : Photographie d'un estran de sables moyens et de galets sur le haut de plage à Sciotot, P. EMILE, 4/01/19

Figure 95 : Photographie d'un estran de sables moyens et de platiers rocheux, P. EMILE, 4/01/19

Figure 96 : Photographie d'un estran de sables moyen entre Baubigny et Surtainville, P. EMILE, 4/01/19

Les estrans du secteur Ouest
entre le Cap de Flamanville et le massif dunaire de Baubigny :
des sables moyens et des platiers rocheux

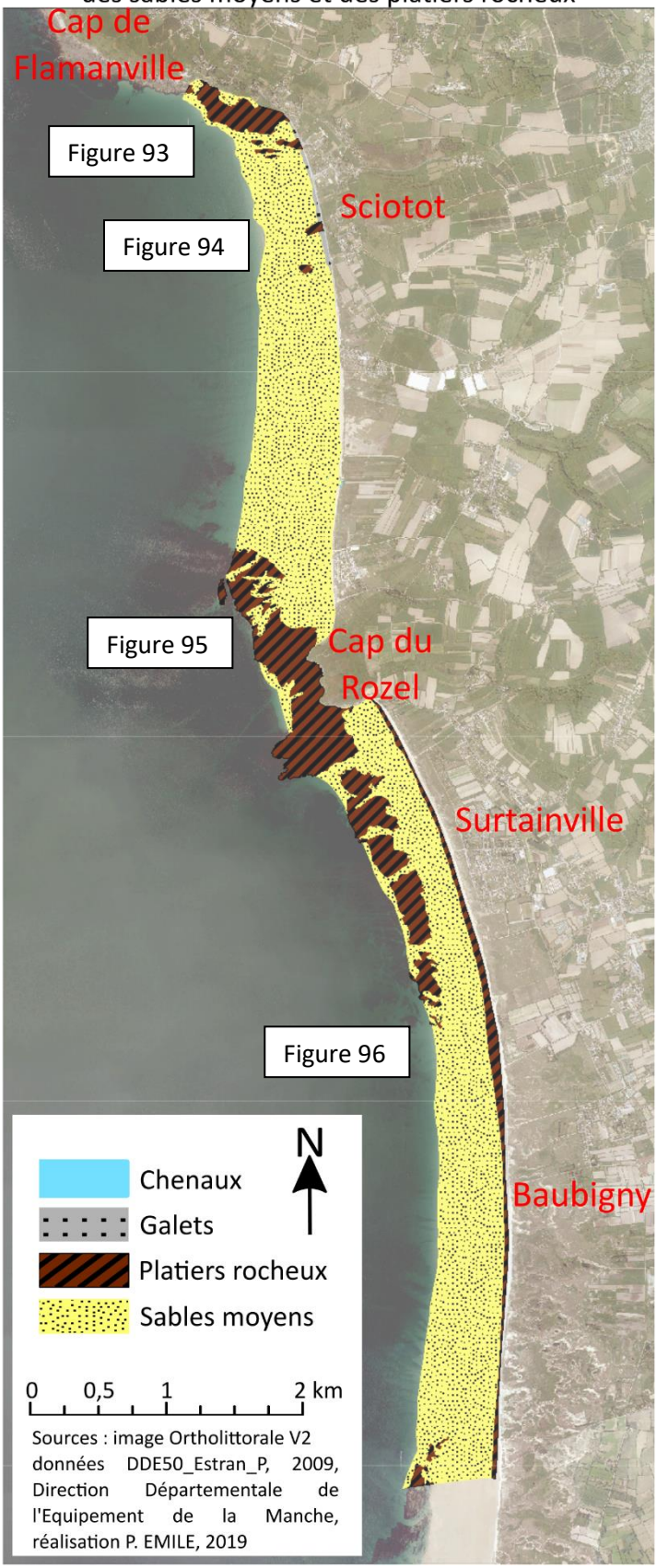


Figure 97 : Image aérienne et types d'estrans de la côte Ouest, image ortholittorale, P. EMILE, 2019

1.3.2.2. Des sables fins, des sédiments vaso-sableux et du schorre sur les estrans du secteur Est

La bande littorale des 500 m du secteur Est se compose de **natures d'estran variées** (*cf. Figure 98 : Graphique des taux d'occupation de l'estran dans la bande des 500 m du secteur Ouest, P. EMILE, 2019 et Figure 104 : Image aérienne et types d'estrans de la côte Est, image ortholittorale, P. EMILE, 2019*).

Il s'agit de **sables fins** sur 75.3 % de l'estran. Ces sables fins (inférieurs à 200 micromètres) sont composés d'une part importante de matériaux d'origine zoogène sur certains tronçons. Les **sédiments vaso-sableux**, plus petits et peu remaniés par la houle, représentent 10.3 % de l'estran. Le **schorre** est assez important sur ce secteur, notamment en deux zones principales, et représente 6.8 %. 5.1% de l'estran est composé de **galets**. Les taux de chenaux et de platiers rocheux sont faibles et anecdotiques à l'échelle du secteur. Il ne faut pas oublier que de nombreux parcs conchylicoles sont présents sur l'estran.

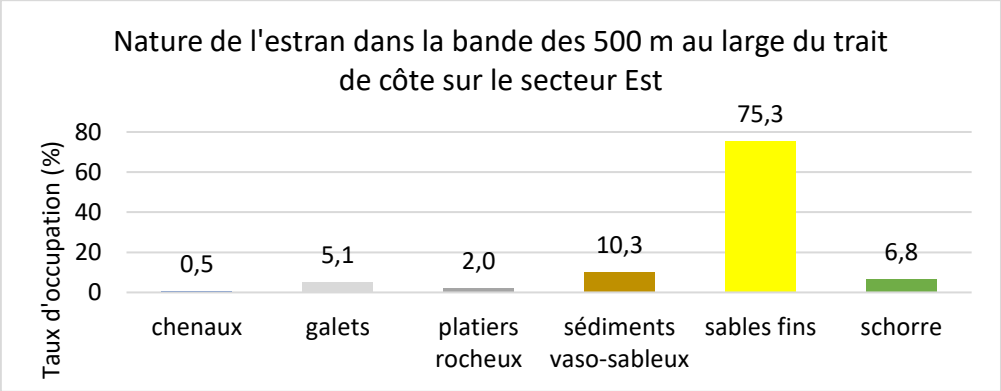


Figure 98 : Graphique des taux d'occupation de l'estran dans la bande des 500 m du secteur Ouest, P. EMILE, 2019

Figure 99 : Photographie d'un estran composé de sédiments vaso-sableux, de schorre et de galets dans l'anse du Cul de Loup à l'Ouest de la Pointe de la Hougue, P. EMILE, 4/01/19

Figure 100 : Photographie d'un estran composé de sables fins, de débris coquillers et de petits galets, au Nord du hameau Le Rivage, P. EMILE, 4/01/19

Figure 101 : Photographie d'un estran composé de sables fins en partie coquillers et de platiers rocheux au hameau Le Rivage, P. EMILE, 4/01/19

Figure 102 : Photographie d'un estran composé de schorre à La Redoute à Aumeville-Lestre, P. EMILE, 4/01/19

Figure 103 : Photographie d'un estran composé de sables fins à Quinéville, P. EMILE, 4/01/19

Les estrans du secteur Est
entre Saint-Vaast-la-Hougue et Quinéville :
des sables fins, des sédiments vaso-sableux et du schorre

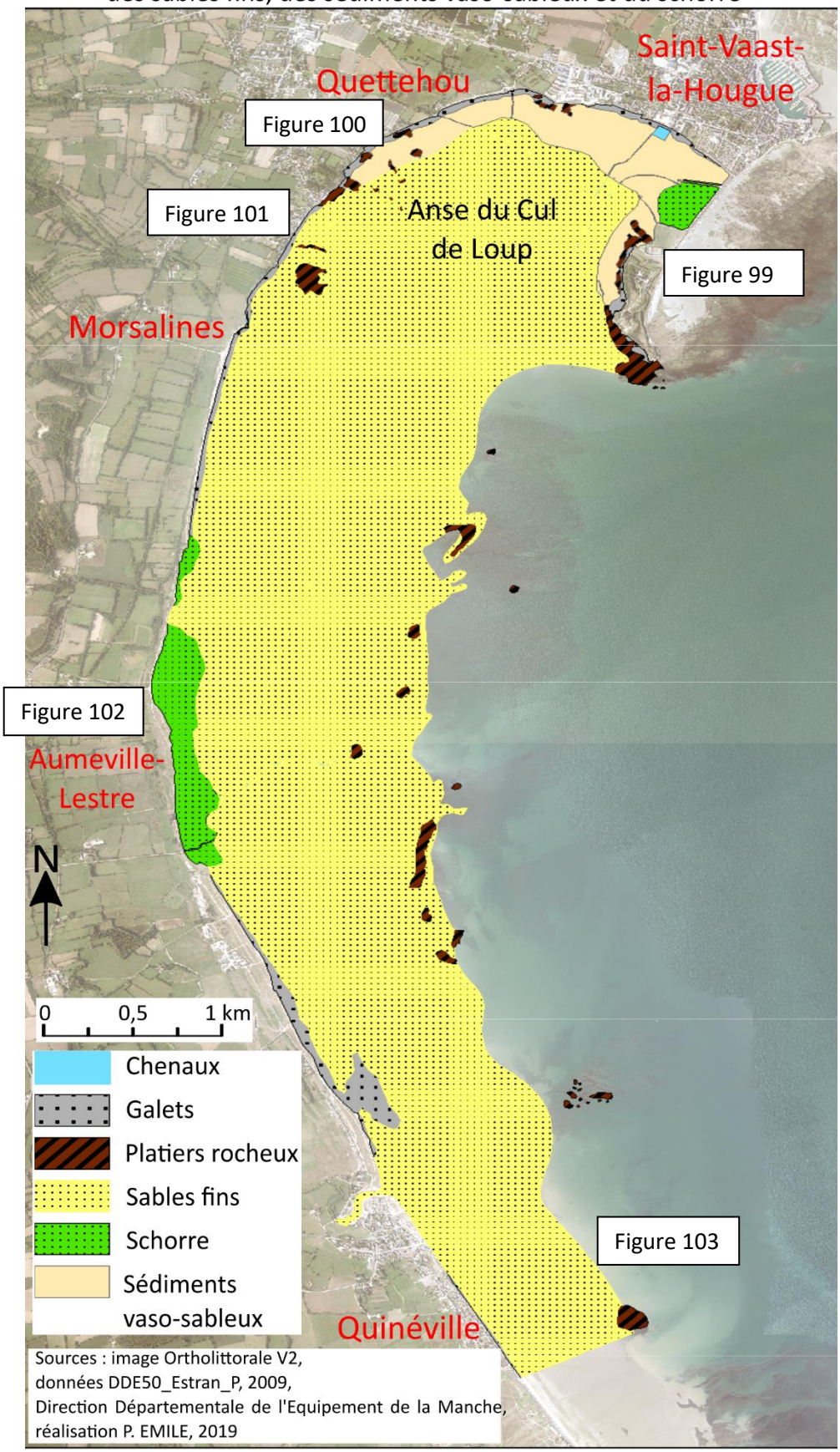


Figure 104 : Image aérienne et types d'estrans de la côte Est, image ortholittorale, P. EMILE, 2019

1.3.3. Conclusion de partie

Les **traits de côte** des deux secteurs d'étude présentent des natures variées, sur des espaces restreints. Les **cordons dunaires** sont majoritaires à l'Ouest et, à l'Est, une partie importante est constituée **d'ouvrages artificiels** en raison de la présence ancienne d'habitations et de bâtiments industriels littoraux. Les **estrans** sont également distincts avec une **prédominance des sables**. Sur le secteur Est, **l'anse du Cul de Loup** se caractérise par une **accumulation de sédiments fins** et un paysage de **schorre**.

1.4. Les enjeux dans la bande littorale : des espaces peu mis en valeur et des zones de concentration de population et d'activités

1.4.1. Une population plutôt regroupée en pôles autour desquels sont implantés des petites villes

La population de Normandie augmente plus le long du littoral. D'après le ROL : « *les littoraux normands continuent d'attirer de nouveaux habitants, mais le vieillissement de sa population explique l'inversion de la courbe démographique. Jusqu'à la fin des années 90, la population croissait* ***plus vite sur le littoral qu'à l'intérieur des terres****. Depuis 2006, cette* ***croissance s'est presque partout ralentie*** » (*ROLNP, 2015, Atlas population*). En 2040, d'après les estimations de l'INSEE, « *la population des départements littoraux de la façade Manche-Mer du Nord n'augmenterait que de 4 % alors que la hausse serait forte dans les départements de la façade atlantique (+27 %), du pourtour méditerranéen (+19%) et d'outre-mer (+36%)* » (*ROLNP, 2015, Atlas population*).

Les populations des villes les plus importantes du département de la Manche sont en diminution entre 2011 et 2016, à l'exception de la préfecture St-Lô. De nombreuses villes moyennes sont en augmentation. Les **communes autour des grandes villes** sont en augmentation (Sud-Ouest de Cherbourg-en-Cotentin, Carentan, Avranchin, St-Lô) (*cf. Figure 105*).

Plusieurs études indiquent qu'avec le **réchauffement climatique**, les milieux plus tempérés des littoraux du façade Nord du pays seront de plus en plus attractifs contrairement aux façades Sud et Sud-Ouest dans lesquelles le climat serait rude avec des températures élevées l'été et des **aléas plus fréquents** (orages, tempêtes, inondations).

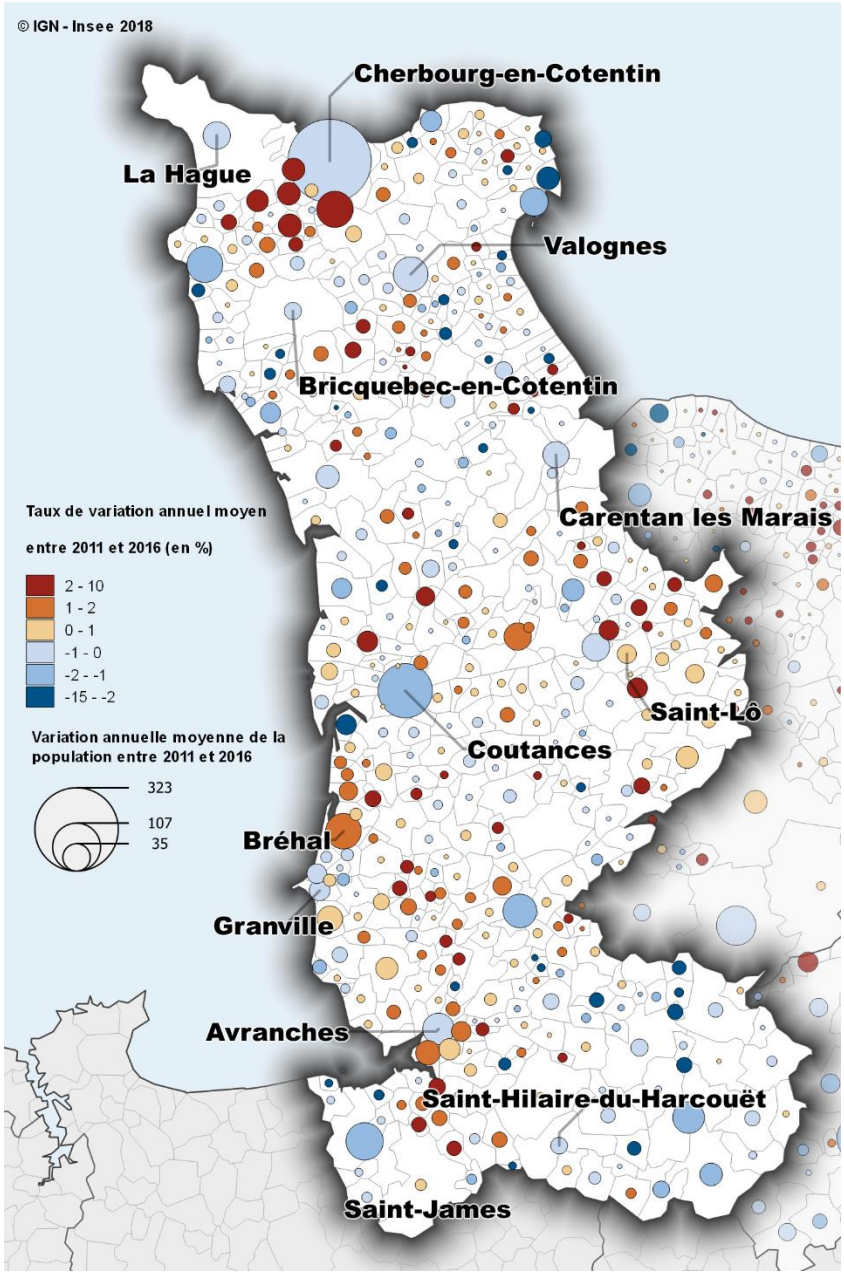


Figure 105 : Carte de l'évolution de la population des villes de la Manche, INSEE, 2018

1.4.1.1. A l'échelle du Cotentin : des pôles concentrant la population

L'arrondissement de Cherbourg, dont les contours administratifs ont été retenus dans cette étude pour définir le territoire du Cotentin, compte 190 200 habitants, répartis dans 168 communes au 1er Janvier 2017 (*INSEE, 2016*).

Cherbourg-en-Cotentin fait figure de **pôle principal** pour le canton du Cotentin avec son statut de deuxième agglomération de l'ex-Basse-Normandie, et quatrième de la région (83 790 habitants). On observe également l'importance de La Hague (11 785 habitants), de Valognes (7 140 habitants), et de Bricquebec-en-Cotentin (5 939 habitants) (*INSEE, 2016*).

En plus de ces communes, un **réseau de petites villes** à la population inférieure à 4 000 habitants structure le territoire. Certains secteurs sont des pôles d'emplois importants et ont des rôles importants dans l'économie (Cherbourg-en-Cotentin, La Hague, Flamanville, Valognes).

Les communes situées à proximité de Barneville-Carteret ou de Saint-Vaast-la-Hougue ont un **attrait touristique important** et donc une population saisonnière importante.

La densité de population moyenne de l'arrondissement est de 79.5 habitants/km². La carte des densités de population à l'échelle du Cotentin fait apparaitre de manière prépondérante la commune de Cherbourg-en-Cotentin (1 176 habitants/km²), ainsi que Valognes, Montebourg, Saint-Vaast-la-Hougue (plus de 239 habitants/km²), et Barfleur (965 habitants/km²) (*cf. Figure 106 : Carte des densités de population des communes du Cotentin, P. EMILE, 2019*). Les deux premières communes apparaissent en raison de leurs rôles de **villes importantes**, tandis que les deux dernières sont des **communes touristiques reconnues**, dont une partie importante de la population ne vit pas à l'année.

La partie occidentale du canton apparait plus densément peuplée, en particulier près des côtes, de même qu'une petite couronne autour du Val de Saire (alentours de Saint-Vaast-la-Hougue). Cela s'explique ici par l'influence de la **proximité du littoral**.

A l'inverse, on remarque une zone importante à **l'intérieur des terres** autour de Valognes et de Bricquebec-en-Cotentin où la **population est moins dense** (moins de 45 habitants/km²). Cette faible densité s'explique à la fois par l'éloignement par rapport aux pôles d'emplois que sont Cherbourg-en-Cotentin ou Les Pieux, ainsi que l'éloignement par rapport à la mer. Il s'agit ici de paysages de bocages, plus ruraux avec moins de services, qui rendent ces **communes moins attractives**.

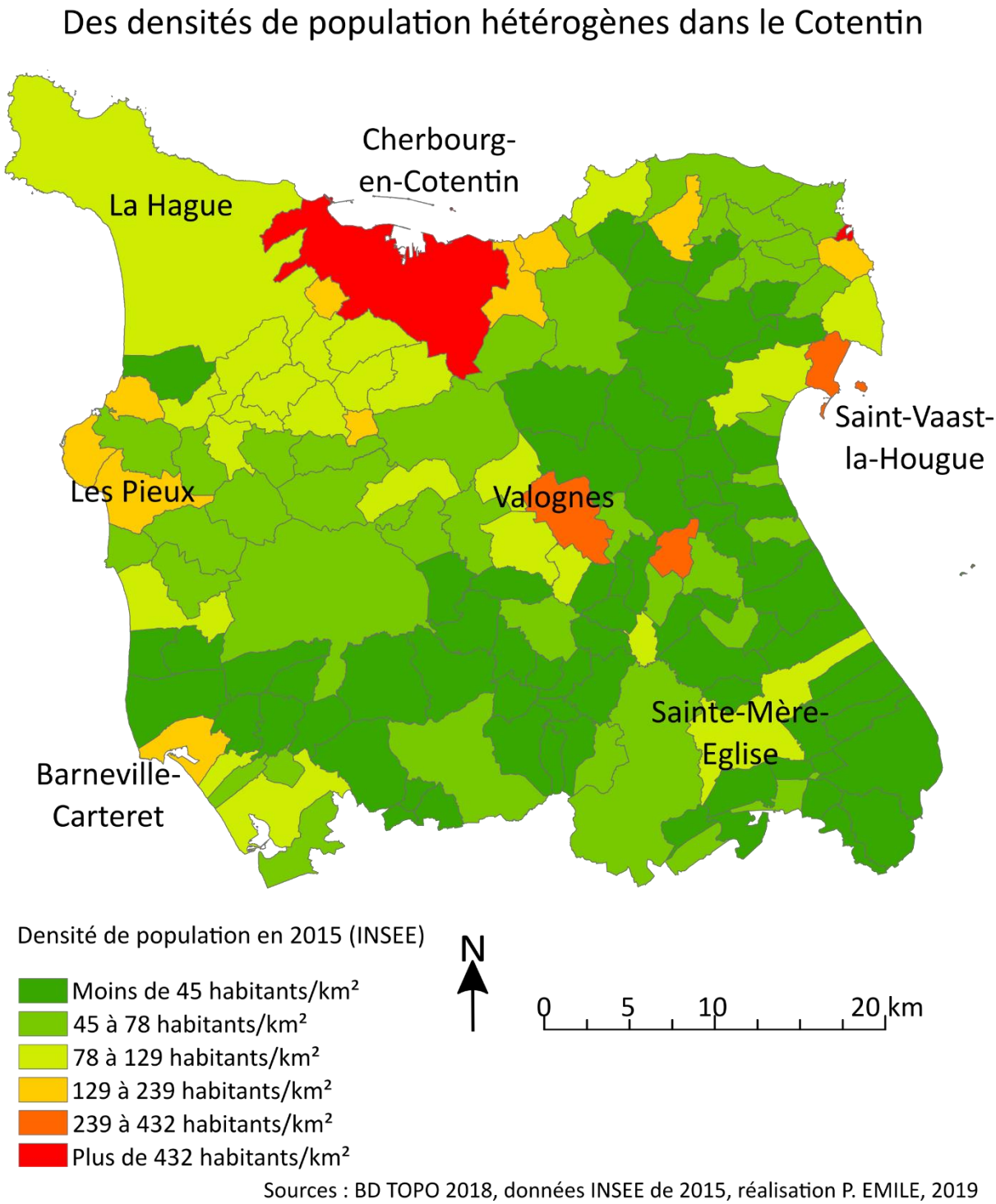


Figure 106 : Carte des densités de population des communes du Cotentin, P. EMILE, 2019

1.4.1.2. Le secteur de l'Ouest-Cotentin, entre Flamanville et Baubigny : de fortes dissimilarités de population

Les communes de **Les Pieux et Flamanville** ont des **populations importantes** (3 253 habitants aux Pieux en 2017) et des densités de population supérieures à 200 habitants/km² (*cf. Figure 107 : Graphique des populations communales du secteur Ouest, données INSEE, P. EMILE, 2019*). Ces chiffres relativement importants s'expliquent par le **nombre important d'emplois** à la centrale EPR de Flamanville et par la fonction de pôle exercée par Les Pieux, chef-lieu de canton. Cependant, il est important de préciser que les bourgs de ces deux communes ne se situent pas le long du littoral, mais quelques kilomètres en arrière, à une centaine de mètre d'altitude. Les populations données par les graphiques ne sont donc majoritairement pas concernées par les aléas côtiers.

A contrario, la commune de **Surtainville** et ses 1 237 habitants (*INSEE, 2016*) est quasiment intégralement située à des altitudes inférieures à 30 mètres, dont un hameau implanté en partie dans les zones basses des mielles.

Les **autres communes** sont **faiblement peuplées**.

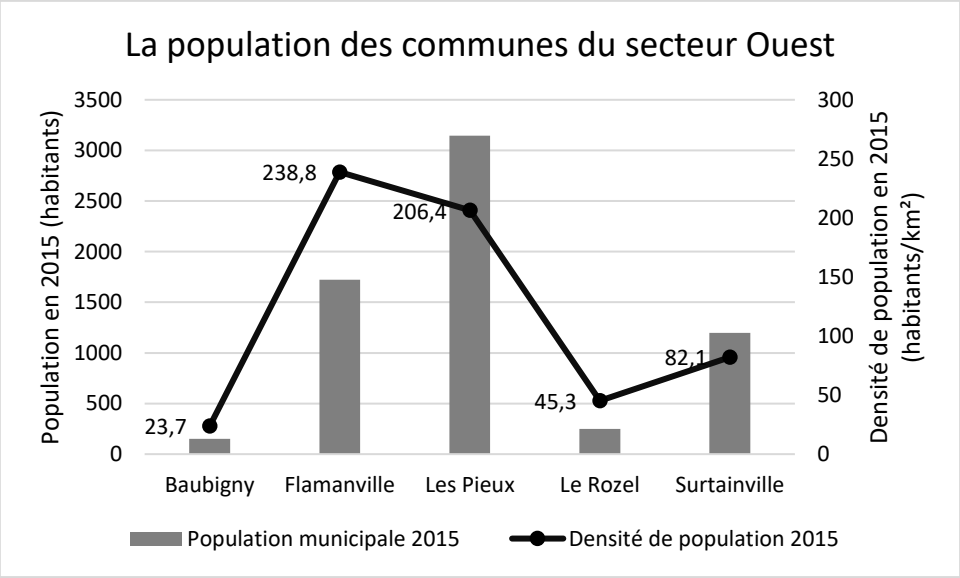


Figure 107 : Graphique des populations communales du secteur Ouest, données INSEE, P. EMILE, 2019

1.4.1.3. Le secteur de l'Est-Cotentin, entre Saint-Vaast-la-Hougue et Quinéville, deux communes qui polarisent l'ensemble

Sur ce secteur Est, les communes de **Saint-Vaast-la-Hougue** (1 924 habitants en 2017) et **Quettehou** (1609 habitants) sont de loin **les plus peuplées** (*cf. Figure 108 : Graphique des populations communales du secteur Est, données INSEE, P.* EMILE, 2019) et il s'agit de deux **pôles d'activités** dans cette zone. Ils concentrent de nombreux emplois, notamment dans les domaines de la pêche, et notamment la conchyliculture, et le tourisme. L'extension très importante de Quettehou rend sa densité de population nettement moins importante (98 habitants/km²) par rapport à celle de Saint-Vaast-la-Hougue.

Les **autres communes** du secteur présentent chacune une **population inférieure à 400 habitants** et une densité comprise entre 33 et 63 habitants/km². Hors Saint-Vaast-la-Hougue qui est depuis longtemps très artificialisée, ces communes sont composées d'une surface importante de terrains humides (marais) qui n'est que **rarement mise en valeur** en dehors de l'élevage. Ces zones basses se situent généralement en arrière immédiat du littoral (Aumeville-Lestre, Crasville, Lestre) ou bien quelques dizaines de mètres en arrière de hameaux habités le long de la côte (Quettehou, Morsalines, Quinéville).

La commune de **Quinéville**, et dans une moindre mesure ses voisines, bien que peu peuplée à l'année, est une **commune historiquement très touristique** avec de nombreuses villas le long de la mer, quelques infrastructures et une grande plage. Il importe donc de prendre en compte cette population saisonnière.

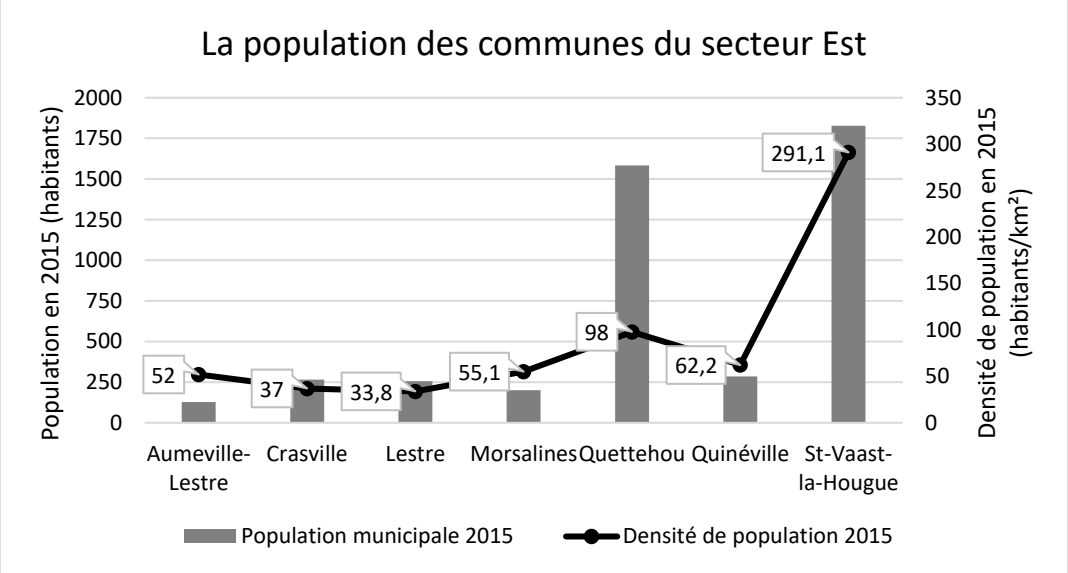


Figure 108 : Graphique des populations communales du secteur Est, données INSEE, P. EMILE, 2019

1.4.2. Le rôle non négligeable du tourisme et des estivants dans la population du Cotentin

1.4.2.1. A l'échelle du Cotentin : l'observation flagrante du rôle du littoral pour les taux de résidences secondaires

Le Cotentin est une destination qui attire de nombreux acquéreurs de **résidences secondaires**. En moyenne, 15.4 % des logements sont des résidences secondaires. Cependant, il y a de fortes disparités avec un **effet littoral très élevé** (*cf. Figure 109 : Carte des taux communaux de résidences secondaires du Cotentin, P. EMILE, 2019*).

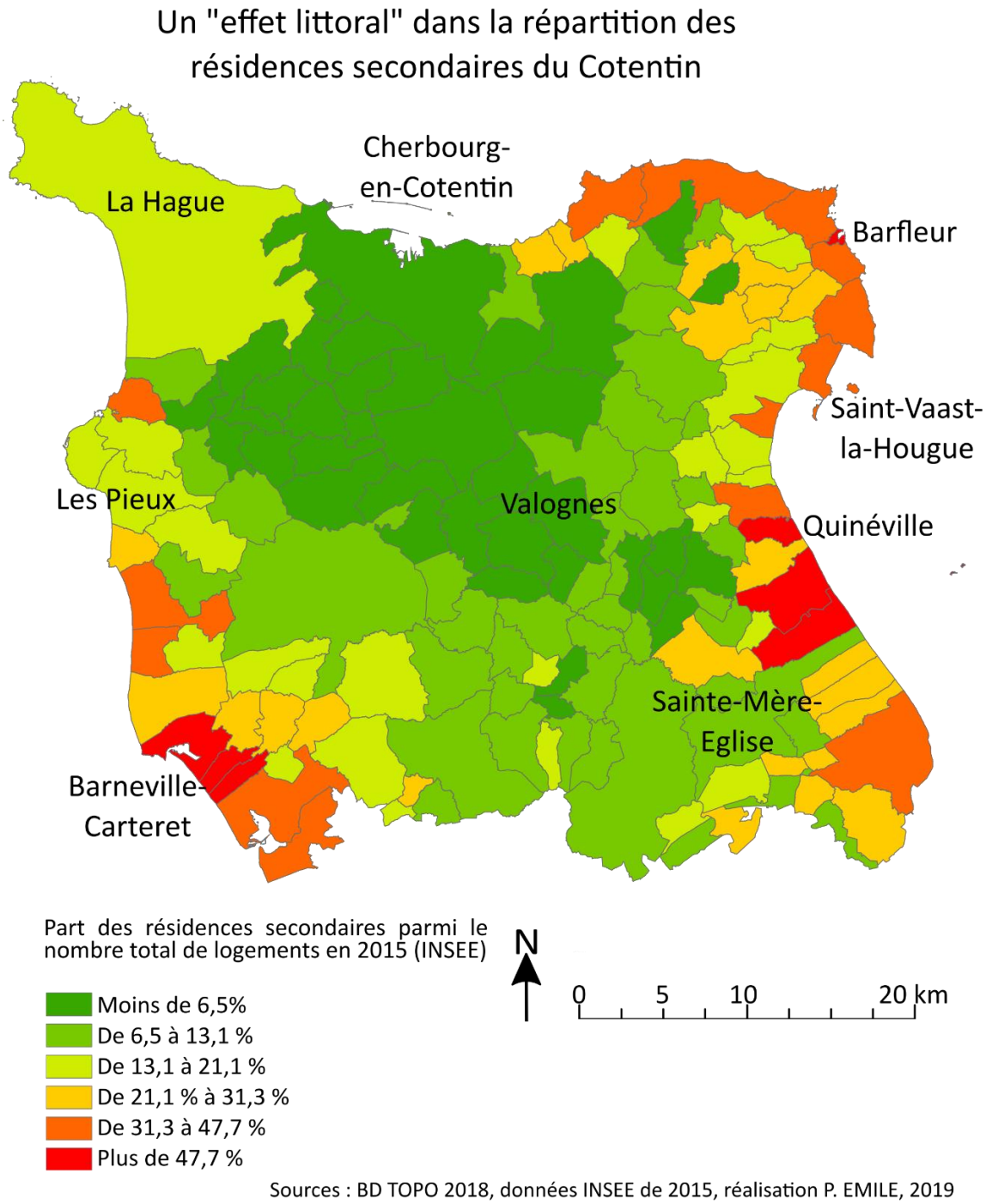


Figure 109 : Carte des taux communaux de résidences secondaires du Cotentin, P. EMILE, 2019

1.4.2.2. Un taux important de résidences secondaires sur le secteur Ouest, au Sud de Sciotot

Les communes de Le Rozel, Surtainville et Baubigny présentent des **taux de résidences secondaires** supérieurs à 30 %, qui **augmentent vers le Sud** et la commune touristique de Barneville-Carteret et la Côte des Isles (*cf. Figure 110 : Graphique des taux communaux de résidences secondaires dans le secteur Ouest, P. EMILE, 2019*). Les communes de Flamanville et Les Pieux présentent des taux inférieurs à 20 %, qui sont tout de même relativement importants quand on prend en compte les caractéristiques présentées précédemment concernant la population de celles-ci (plus de 3000 habitants à Les Pieux), leur situation non-immédiate en front de mer et leur rôle de pôle. Pour la vaste commune de Les Pieux, ce taux cache de **fortes disparités** non-visibles par les statistiques à l'échelle intercommunale. En effet, le hameau de **Sciotot**, en bordure littorale et très touristique, regroupe nettement plus de résidences secondaires que le bourg situé plus loin de la côte. A Sciotot, ce taux doit se rapprocher des communes voisines, voire le dépasser.

A **Flamanville**, historiquement une **commune ouvrière** qui voit aujourd'hui la présence de la centrale EPR, ce taux n'est pas non plus homogène. En effet, deux parties s'opposent avec d'un côté une population importante qui travaille notamment à la centrale et qui est basée, soit dans le centre-bourg, soit dans les anciennes cités ouvrières. D'un autre côté, au niveau du hameau de Diélette et plus généralement le long de la mer ou sur les falaises, ou dans des anciens corps de ferme près du bourg, apparait une population qui ne vit pas ici à l'année.

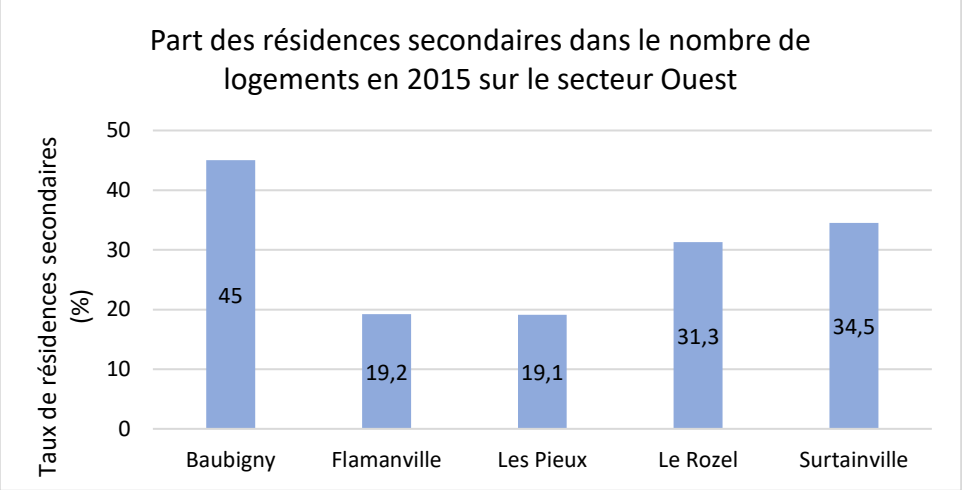


Figure 110 : Graphique des taux communaux de résidences secondaires dans le secteur Ouest, P. EMILE, 2019

1.4.2.3. Un taux important de résidences secondaires mais non homogène sur l'ensemble du secteur Est, en particulier quand le bourg est proche de la mer

Sur ce secteur, on remarque **d'importantes disparités** quant au **taux de résidences secondaires**. Ce taux est relativement important, surtout quand on prend en compte le fait que la moyenne de l'arrondissement de Cherbourg est de 15.4 %. Les taux sont tous supérieurs à cette moyenne mais s'étendent de 15.8 % à Quettehou jusqu'à 56.6 % à Quinéville (*cf. Figure 111 : Graphique des taux communaux de résidences secondaires dans le secteur Est, P. EMILE, 2019*). Le taux plus faible de Quettehou s'explique par la place centrale du **secteur de la pêche**, et éventuellement des nuisances que cela peut causer (olfactives, bruit des engins, …), il s'agit de toute façon d'une commune moins tournée vers le tourisme que ces voisines, sauf quelques hameaux tels que Le Rivage, composé de villas en bord de mer.

Pour les autres communes, les **taux sont plus importants**, en particulier pour les communes dont des hameaux, voire le bourg, se situent le **long du littoral** (Quinéville, Morsalines, Saint-Vaast-la-Hougue). Dans ces communes, **l'implantation historique du tourisme** est bien visible quand on observe les anciennes villas imposantes qui siègent en front de mer. A Quinéville, de nombreuses infrastructures existent pour le tourisme, et sur l'ensemble de la zone prennent place de nombreux campings. Saint-Vaast-la-Hougue est une commune très connue et partagée aujourd'hui entre le tourisme (Île de Tatihou, patrimoine Vauban, navigation de plaisance, …) et l'activité portuaire (pêche, conchyliculture).

Les communes de Aumeville-Lestre et Crasville présentent des taux quelques peu moins élevés qui peuvent s'expliquer par leur **éloignement relatif à la mer** (plus de 1 km) et leur histoire moins tournée vers le tourisme, avec un **patrimoine plus rural** qui n'attire pas le même public. Il faut cependant rappeler que les taux sont assez largement supérieurs à la moyenne du Cotentin.

En règle générale, à l'exception des communes de Saint-Vaast-la-Hougue et Quettehou qui bénéficient d'autres secteurs d'activité et d'une population annuelle plus importante, ces communes sont **très différentes d'une saison à l'autre du fait de la population nettement plus importante en période estivale**. Cela peut leur procurer une impression de vide en période hivernale.

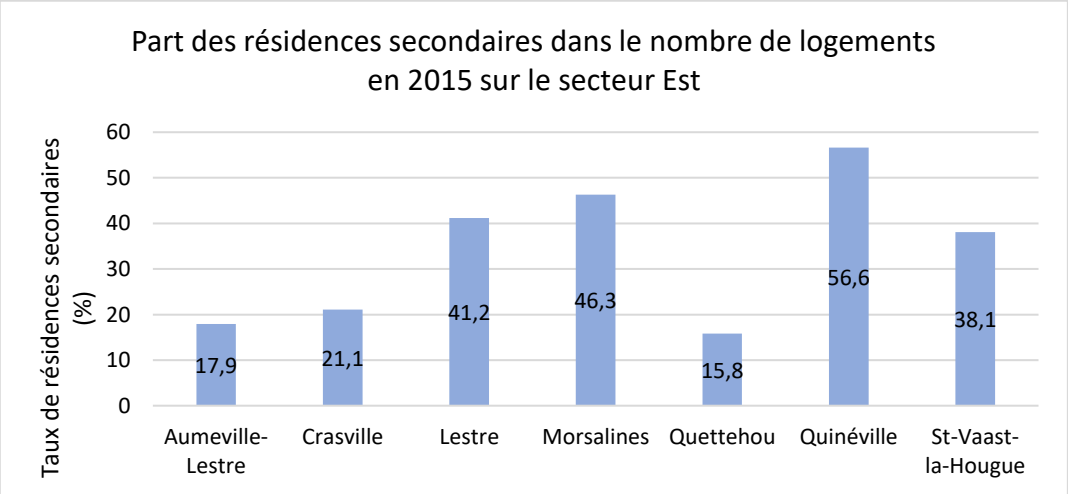


Figure 111 : Graphique des taux communaux de résidences secondaires dans le secteur Est, P. EMILE, 2019

1.4.3. Des Modes d'Occupation des Sols et des enjeux en évolution dans le temps

Pour étudier les **Modes d'Occupation des Sols** (MOS), plusieurs bases de données existent. La BD **Littomos** est spécifique aux littoraux et présente un niveau de détail intéressant. Cependant, sa dernière version sur les secteurs d'étude date de 1995. La BD **CORINE Land Cover** est plus récente (2012) mais n'est pas spécifique aux littoraux, et donc son niveau de détail pour ce type de secteur est moins important. Ces deux bases de données sont abordées plus en détail en *Partie 2.1.5.2 Données sur les Modes d'Occupation du Sol, p. 145*.

Pour décrire les secteurs d'étude, j'ai choisi d'utiliser en priorité la BD Littomos pour sa **plus grande précision** et sa vocation **littorale**. Malgré tout, une cartographie des MOS en 2012 a été réalisée pour permettre la comparaison des MOS à deux dates.

1.4.3.1. Les MOS du secteur Ouest de Sciotot à Baubigny en 1995 et en 2012

Sur ce secteur Ouest, en 1995, la **végétation dunaire** (type végétation arbustive et/ou herbacée) est prédominante (*cf. Figure 112, Figure 113, Figure 114, Figure 115*). Dans la bande des 100 m, ce type occupe plus de 70 % de la surface. Dans un espace plus large, cette végétation dunaire est également importante avec 46 % dans les 200 m, 44 % dans les 500 m et 29 % dans les 1000 m.

Le taux de **zones urbanisées** est plus important dans la bande comprise entre les 100 et les 500 m (12 à 13 %). Au-delà, les aménagements peuvent être contraints par le relief et par le fait que la mer soit plus éloignée, donc les espaces moins attirants (8 % de la surface).

Au-delà des 200 m, les taux de **prairies** et de **terres arables** augmentent et atteignent le niveau de la végétation dunaire au-delà des 500 m (33 % de la surface dans la bande des 1000 m).

Le paysage est **typique du littoral Ouest-Cotentin** avec des cordons dunaires importants et des massifs qui peuvent aller jusque quelques centaines de mètres en arrière du littoral. On peut retrouver un paysage de **mielles**, ces espaces humides, à la végétation dunaire, peu mis en valeur. En arrière du littoral, on peut retrouver assez rapidement des prairies et des parcelles cultivées. Les champs sont relativement étroits et il y a de nombreuses cultures sous serres. Les habitations sont majoritairement regroupées en hameaux.

Entre 1995 et 2012, les principales évolutions ont concerné **l'augmentation de la surface bâtie** aux dépens de terres arables. Les deux sources de données ne respectant pas la même nomenclature, il est difficile de remarquer des évolutions précises et quantifiables (*cf. Figure 116, Figure 117 et Annexe 3, Annexe 4, Annexe 5, Annexe 6*).

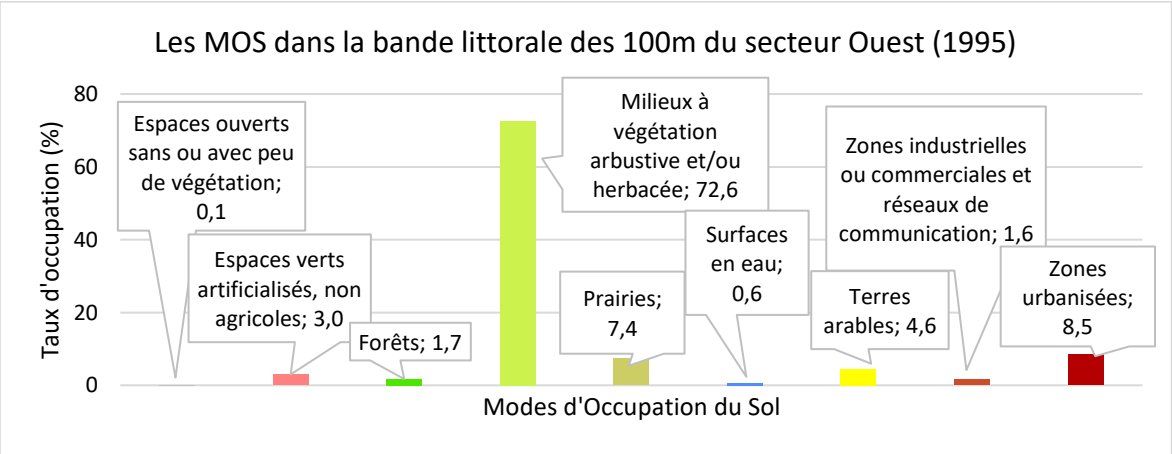


Figure 112 : Graphique des MOS dans les 100 m sur le secteur Ouest (Littomos 1995), P. EMILE, 2019

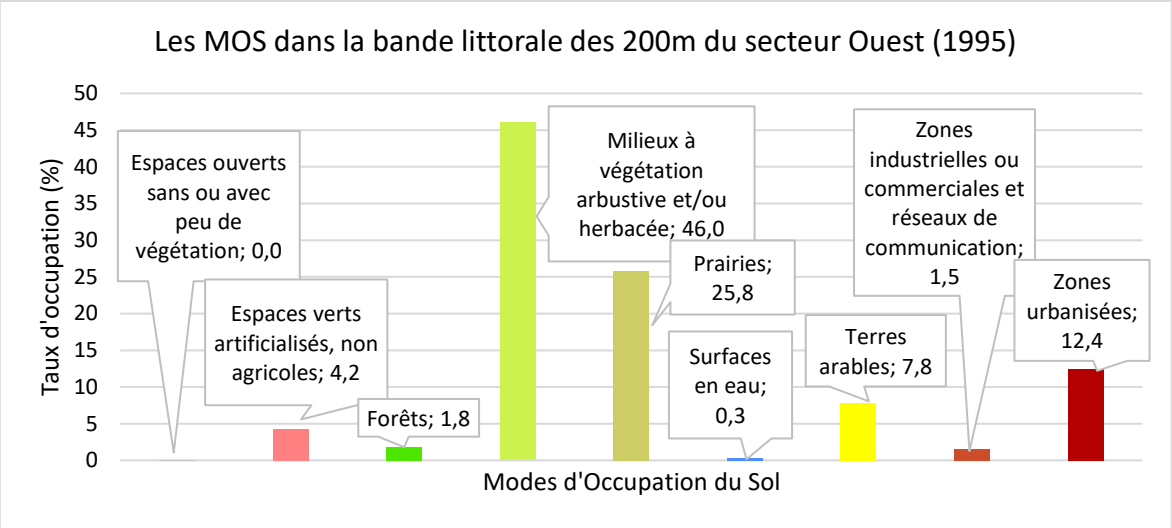


Figure 113 : Graphique des MOS dans les 200 m sur le secteur Ouest (Littomos 1995), P. EMILE, 2019

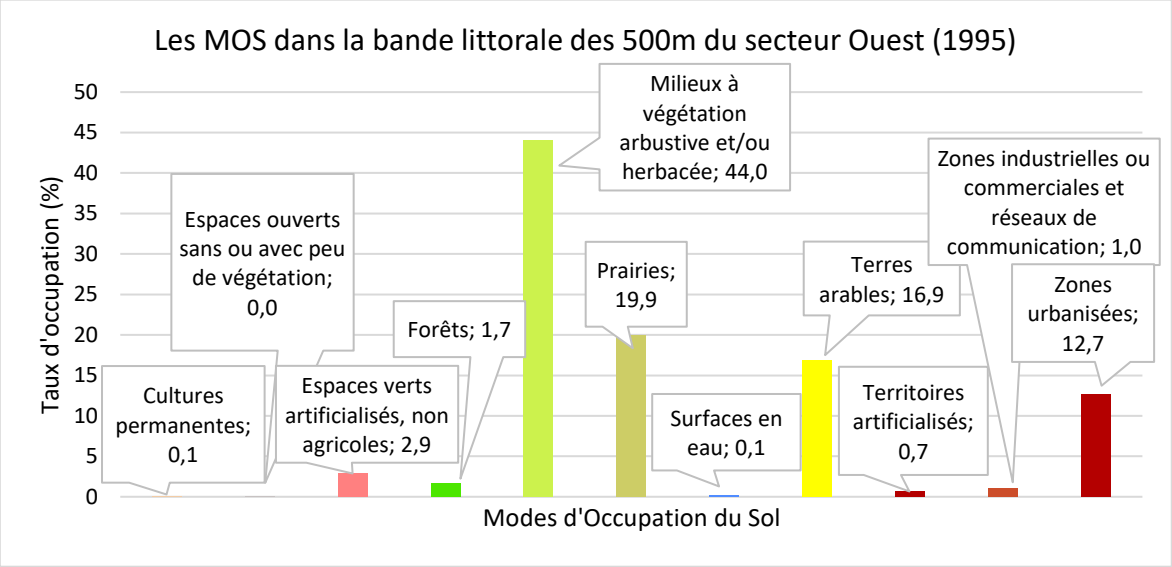


Figure 114 : Graphique des MOS dans les 500 m sur le secteur Ouest (Littomos 1995), P. EMILE, 2019

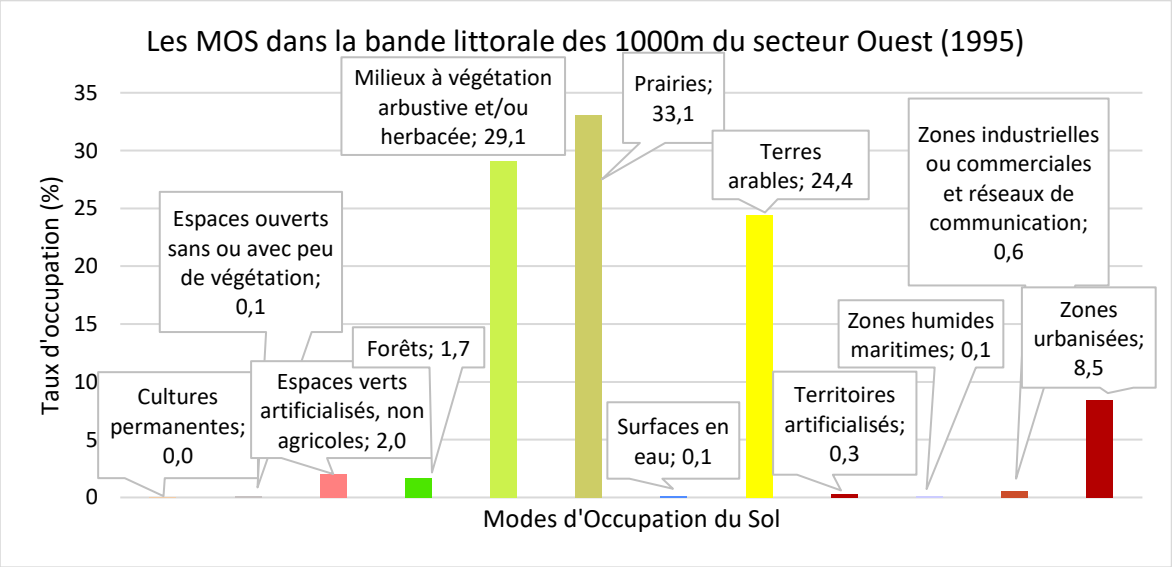


Figure 115 : Graphique des MOS dans les 1000 m sur le secteur Ouest (Littomos 1995), P. EMILE, 2019

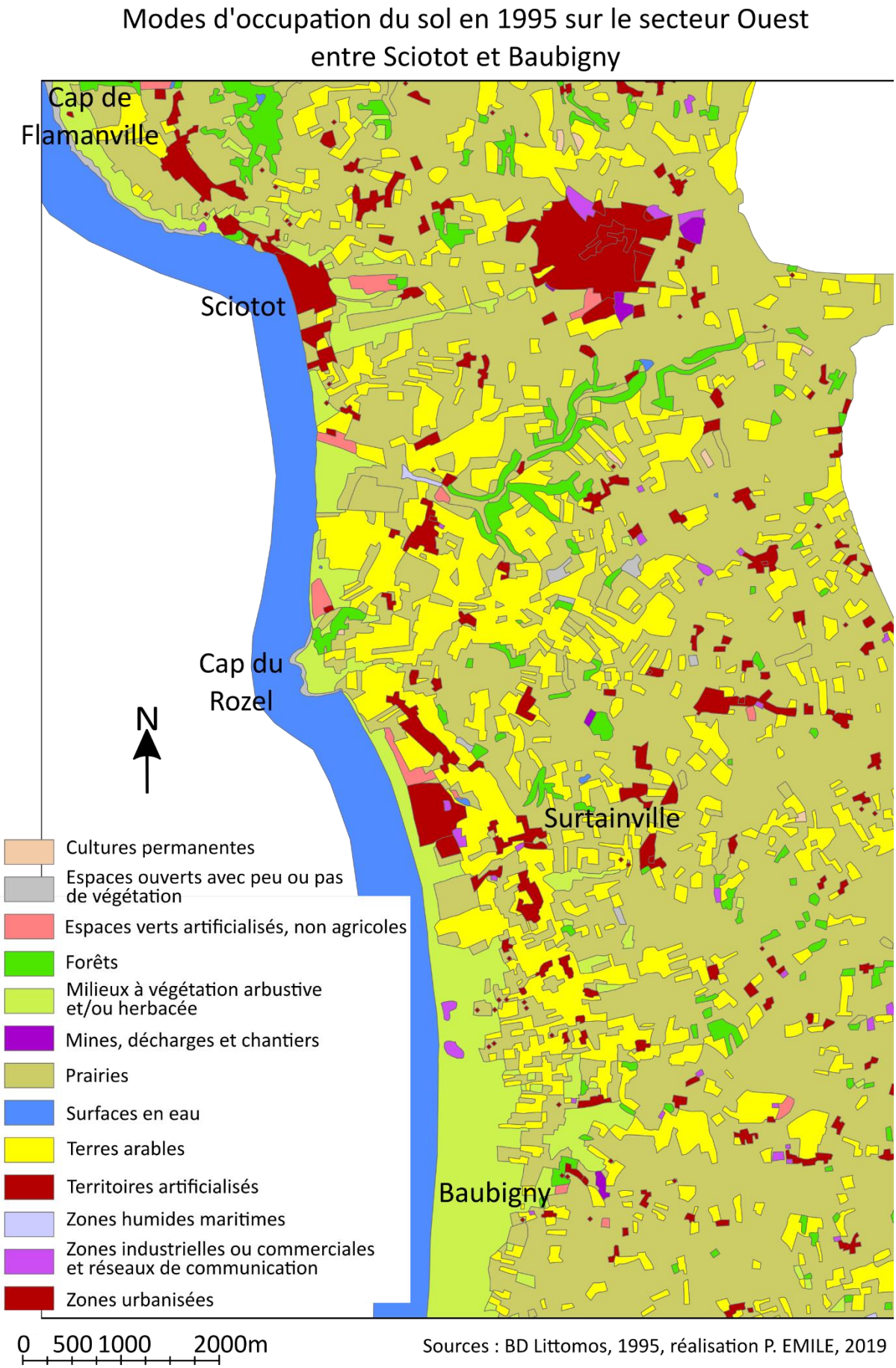


Figure 116 : Carte des MOS du secteur Ouest en 1995 d'après la Littomos, P. EMILE, 2019

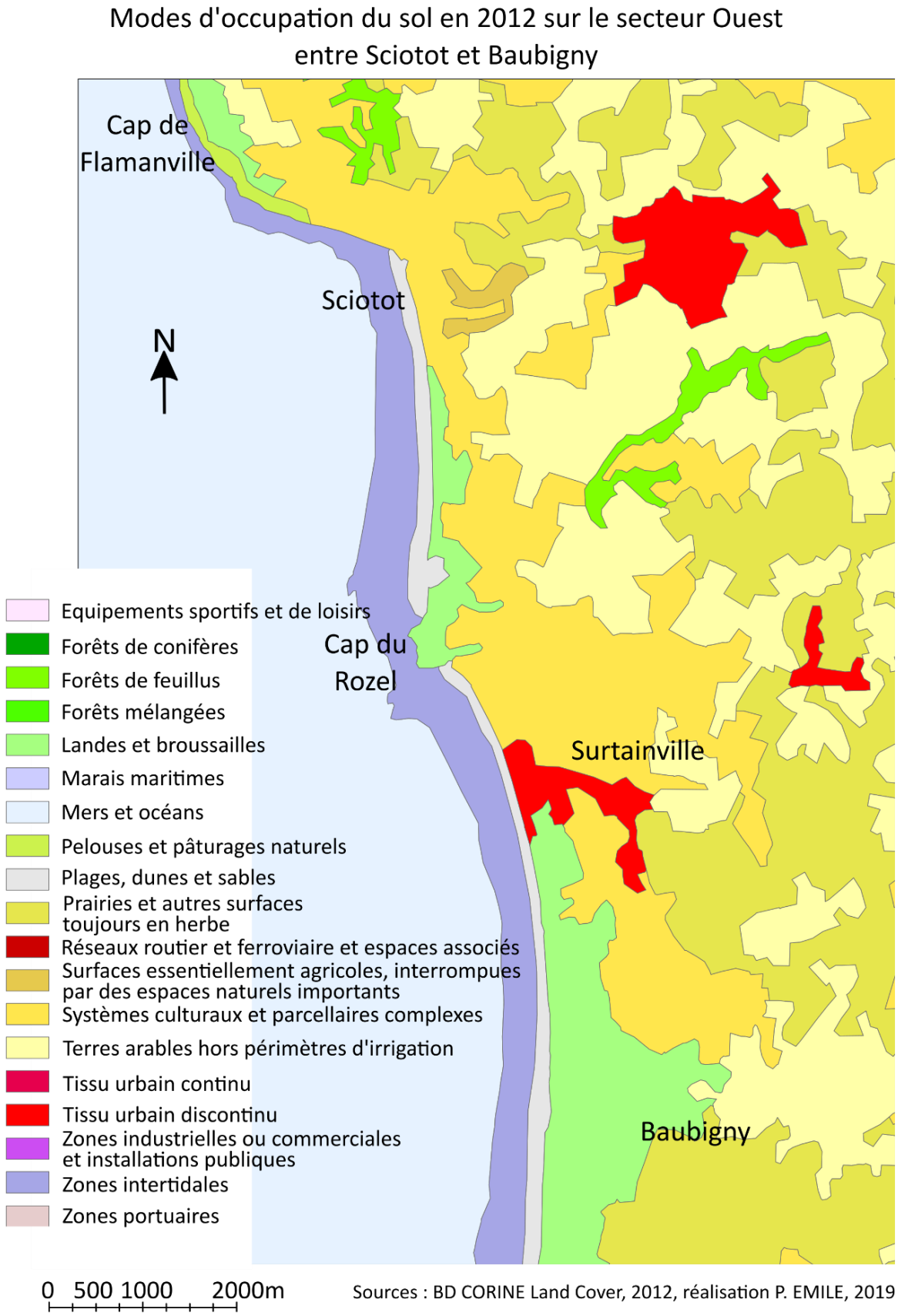


Figure 117 : Carte des MOS du secteur Ouest en 2012 d'après le CORINE Land Cover, P. EMILE, 2019

1.4.3.2. Les MOS du secteur Est : de Saint-Vaast-la-Hougue à Quinéville en 1995 et en 2012

L'arrière-littoral du secteur Est était en 1995 majoritairement composé de **prairies**. Son taux d'occupation est en augmentation régulière avec la distance au littoral et montre une faible évolution des autres MOS. Ce taux est de 40 % dans les 100 m et atteint les 64 % dans la bande des 1000 m. Le taux d'occupation en **zones urbanisées** est lui aussi plutôt régulier avec près de 14 % dans la bande des 100 m et 11 % dans les 500m.

D'après la BD Littomos, il y a relativement **peu d'espaces constitués de terres cultivées** (moins de 6 % de terres arables dans les 1000 m). Ce mode d'occupation du sol est nettement plus important au Nord de Saint-Vaast-La-Hougue avec les nombreuses parcelles légumières.

Le paysage peut s'apparenter à un **paysage de bocage** avec ses nombreuses prairies et un réseau parfois important de haies. Il s'agit d'un espace relativement vallonné à environ 1 km des côtes. Sur toute une partie entre Quettehou et le Nord de Morsalines, la topographie très peu marquée et les caractéristiques du sol le rendent humides dans certaines parcelles. En période hivernale, certaines parcelles sont en partie inondées, rendant un paysage de marais.

Les habitations sont majoritairement regroupées en hameaux.

De même façon que sur le secteur Ouest, les évolutions majeures font état d'une **augmentation des surfaces artificialisées** entre 1995 et 2012.

Cette fois aussi, les deux sources de données ne respectant pas la même nomenclature et n'étant pas aussi précises, il est difficile de remarquer des évolutions précises et quantifiables (*cf. Figure 118, Figure 119, Figure 120, Figure 121 et Annexe 7, Annexe 8, Annexe 9, Annexe 10*).

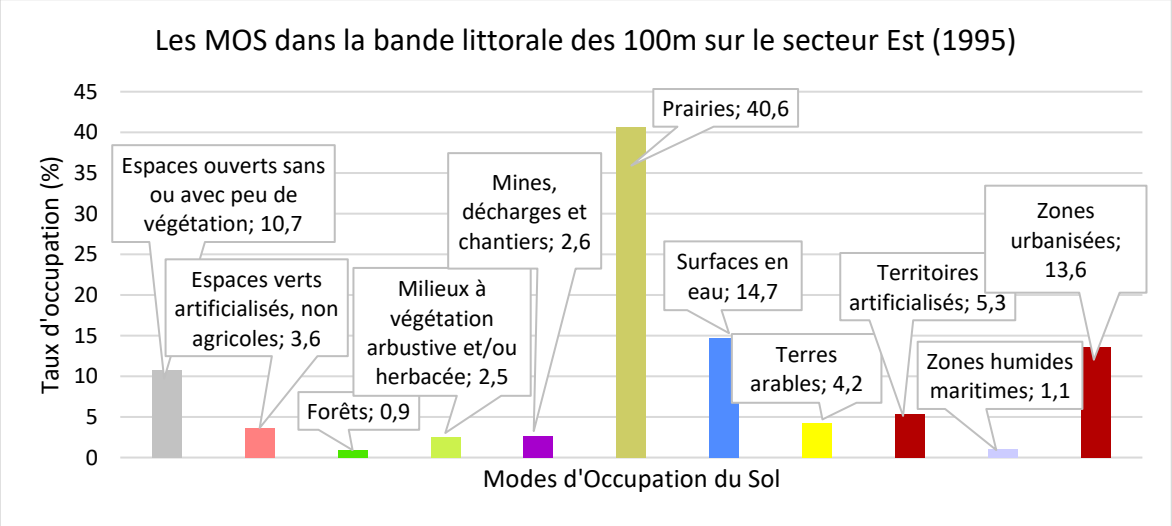


Figure 118 : Graphique des MOS dans les 100 m sur le secteur Est (Littomos 1995), P. EMILE, 2019

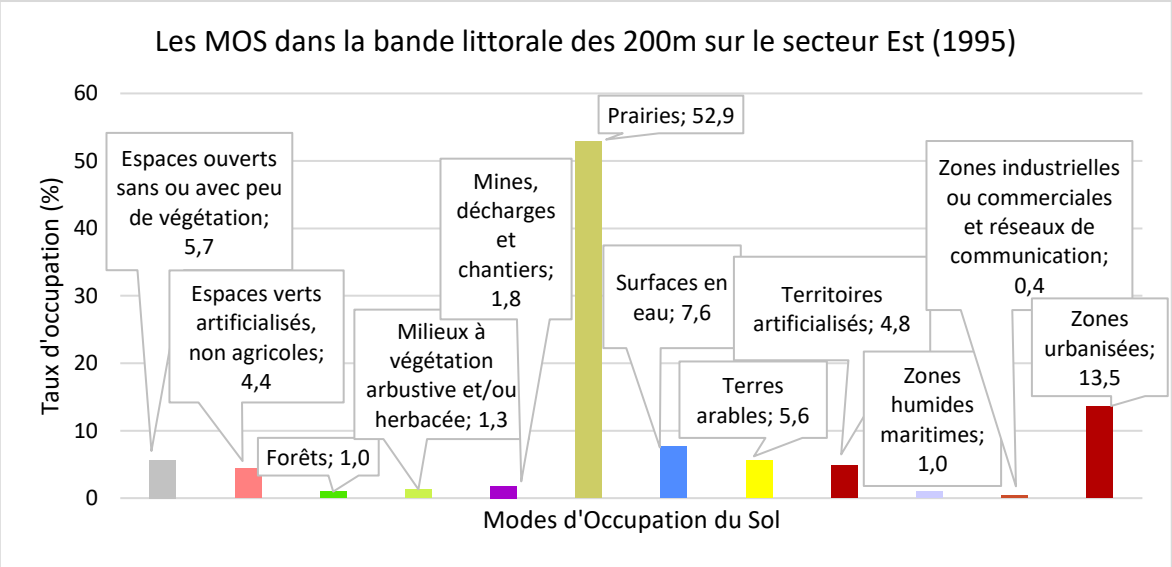


Figure 119 : Graphique des MOS dans les 200 m sur le secteur Est (Littomos 1995), P. EMILE, 2019

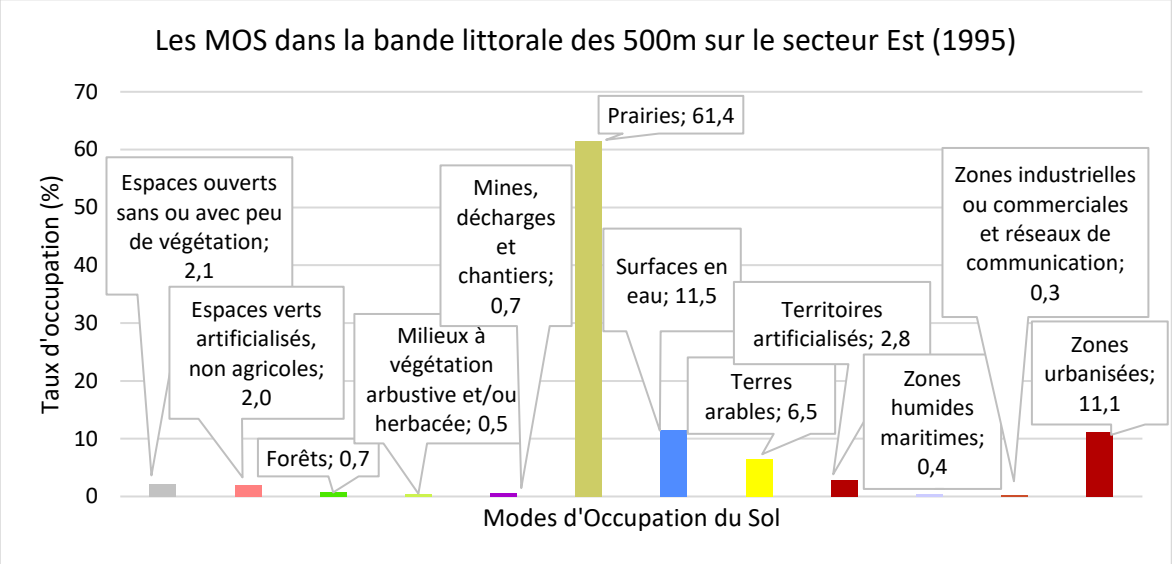


Figure 120 : Graphique des MOS dans les 500 m sur le secteur Est (Littomos 1995), P. EMILE, 2019

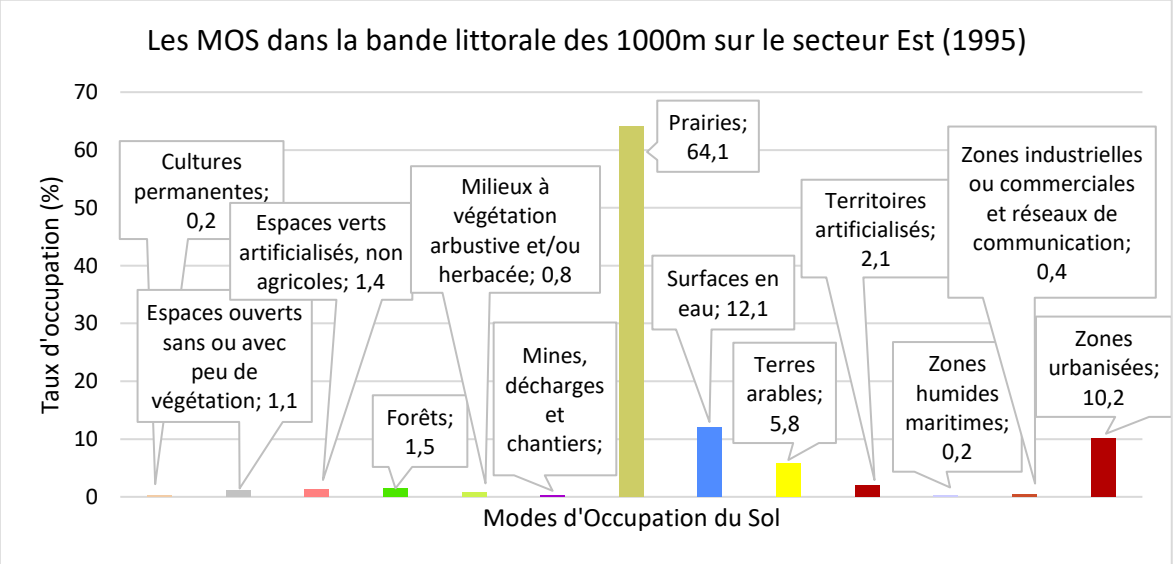


Figure 121 : Graphique des MOS dans les 1000 m sur le secteur Est (Littomos 1995), P. EMILE, 2019

Modes d'occupation du sol en 1995 sur le secteur Est
entre Saint-Vaast-la-Hougue et Quinéville

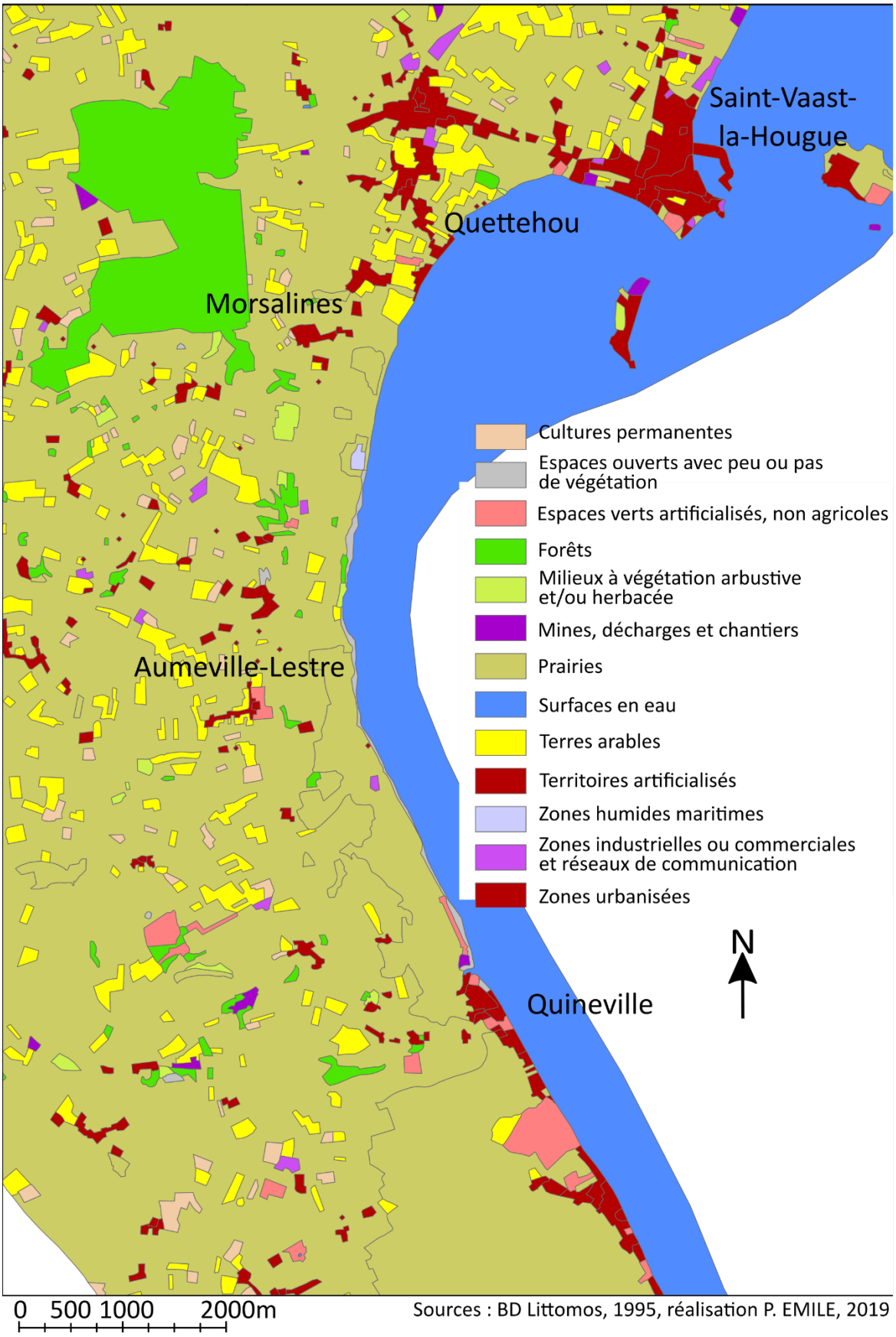
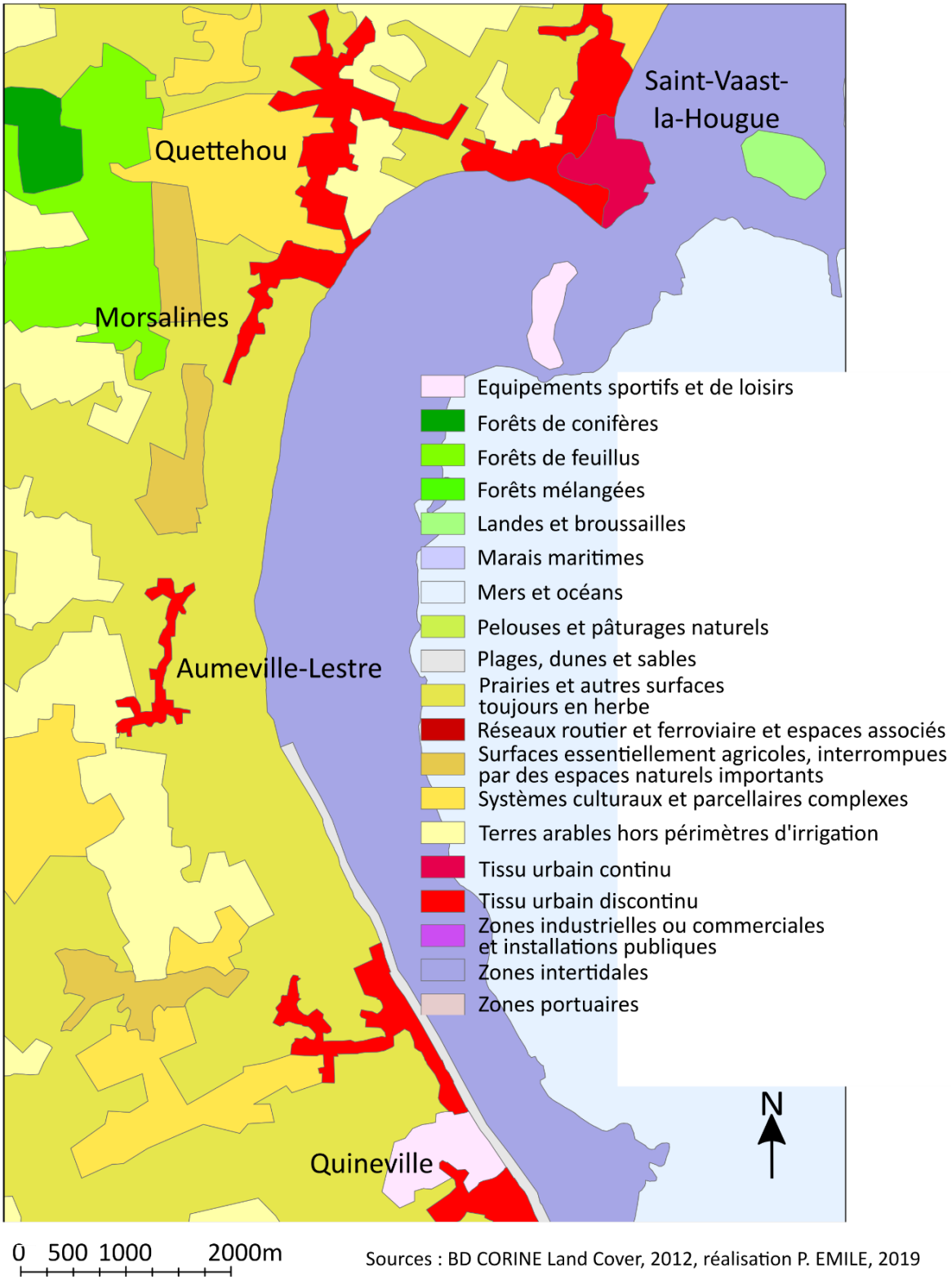


Figure 122 : Carte des MOS du secteur Est en 1995 d'après la Littomos, P. EMILE, 2019

Modes d'occupation du sol en 2012 sur le secteur Est
entre Saint-Vaast-la-Hougue et Quinéville



Sources : BD CORINE Land Cover, 2012, réalisation P. EMILE, 2019

Figure 123 : Carte des MOS du secteur Est en 2012 d'après le CORINE Land Cover, P. EMILE, 2019

1.4.4. Des éléments exposés inégalement répartis au sein des secteurs

Le littoral du Cotentin n'est pas un espace aussi artificialisé que les côtes méditerranéennes. C'est avant tout un espace à dominante rurale avec de nombreux espaces couverts par les **prairies et terres cultivées**. Cependant, le long des côtes, certaines communes et hameaux se sont développés de façon importante et de **nombreuses infrastructures ont été construites le long de la mer**. Certaines communes sont des destinations balnéaires reconnues depuis longtemps comme Barneville-Carteret, Quinéville ou encore Urville-Nacqueville et présentent des villas datant de la fin du XIXe siècle à proximité de la mer. D'autres espaces se sont tournés plus tard vers la mer, en raison de terres difficiles à mettre en valeur ou à construire (mielles, zones humides) ou de changement de politiques, c'est le cas par exemple à Surtainville ou à Sciotot depuis les années 1980 à 1990.

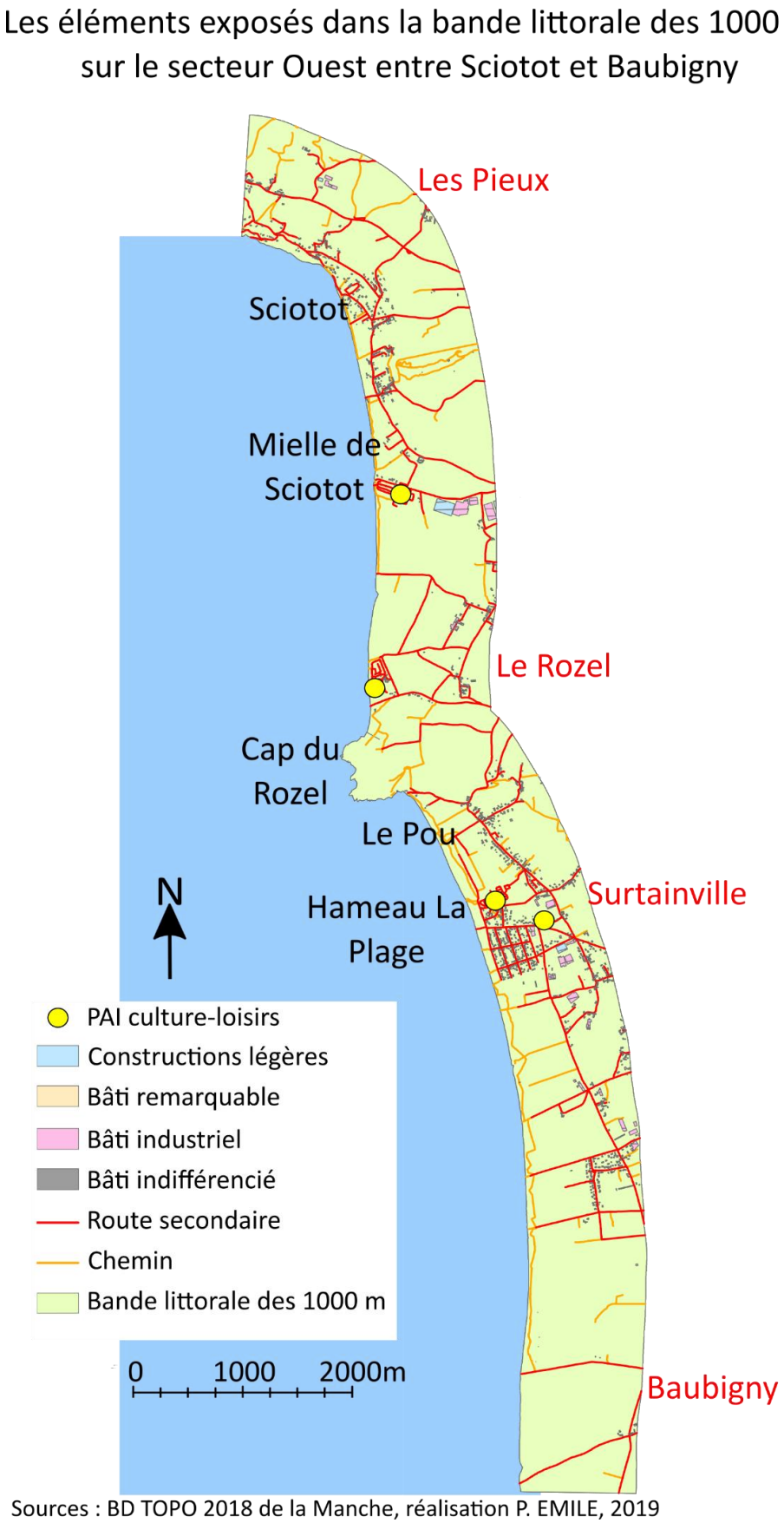
Même si quelques anciens bâtis se retrouvent atteint par le rivage actuel, il n'est pas rare que ce soit les aménagements construits après-guerre qui posent problème quant à l'érosion ou la submersion marine. Il s'agit souvent d'aménagements qui n'ont pas pris en compte les évolutions futures ou qui n'ont pas respecté les précautions architecturales nécessaires.

Parallèlement à ces résidences, dont une partie importante sont des **résidences secondaires** (*cf. Partie 1.4.2. Le rôle non négligeable du tourisme et des estivants dans la population du Cotentin, p. 110*), les activités portuaires et conchylicoles occupent des places importantes. Le Cotentin est reconnu pour ses productions de moules et d'huitres. Sur la côte Ouest comme sur la côte Est, de grands parcs prennent place et de nombreuses zones d'activité conchylicole se sont implantées en bordure de littoral.

Dans un **contexte de changements climatiques**, le littoral normand et notamment de la Manche pourrait être vu comme un « *refuge climatique* » (*David, 2018*). En effet avec l'augmentation de la température, certains lieux pourraient devenir difficilement supportables en période estivale. Un transfert des estivants vers d'autres espaces pourrait alors s'observer. Malgré le recul du trait de côte sur de nombreux tronçons, le littoral de la frange Nord de la France pourrait alors accueillir plus de monde. Pour établir des prospectives et des quantifications d'enjeux, il est nécessaire de prendre en compte les prévisions pour les changements climatiques.

D'après la **BD TOPO 2018** du département de la Manche (IGN), il est possible de recenser de nombreuses informations localisables qui concernent à la fois le bâti, l'occupation du sol ou encore la population. Ces informations sont détaillées avec une table attributaire bien renseignée, et sont spatialisables à l'aide d'un SIG. Cette base de données a permis de réaliser des cartes et tableaux de synthèses pour **quantifier et localiser les enjeux et élément exposés** dans les deux secteurs d'étude.

1.4.4.1. Quelques zones d'importantes expositions d'éléments sur le secteur Ouest



Sources : BD TOPO 2018 de la Manche, réalisation P. EMILE, 2019

Figure 124 : Carte des éléments exposés du secteur Ouest, d'après BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019

La bande littorale du secteur Ouest se compose de **deux zones principales de fortes densités**, Sciotot au Nord et le Hameau La Plage à Surtainville au Sud (*cf. Figure 124 : Carte des éléments exposés du secteur Ouest, d'après BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019*).

Ce secteur se compose essentiellement de « **bâtis indifférenciés** », au nombre de 1318 dans la bande des 1000 m. Ce terme regroupe l'ensemble des bâtiments « *plus de 20 m², ne possédant pas de fonction particulière pouvant être décrit dans les autres classes de bâtiments surfaciques* » (*IGN, 2011*). Il s'agit en grande partie de bâtiments d'habitation. Le nombre de bâtis indifférenciés reste important dans la bande des 500 m (près de 60 % des bâtis dans 50 % de la surface par rapport à la bande des 1000 m) et dans les 200 m (43 % dans 40 % de la surface par rapport à la bande des 500 m). Ensuite, à l'approche du rivage, le nombre relatif de bâtis par rapport à la surface diminue. Ainsi, dans les 100 m, il n'y a que 35 % du bâti dans 50 % de la surface par rapport à la bande des 200 m. cette diminution s'explique par la réglementation contrainte dans la bande littorale des 100 m (Loi Littoral).

Les **bâtis industriels** (« *bâtiment de plus de 20 m² à caractère industriel, commercial ou agricole* » (*IGN, 2011*)), les **bâtis agricoles** et les **serres** sont quasiment exclusivement situés à plus de 500 m du rivage. Cela peut s'expliquer par la présence de zones humides et de mielles difficiles à cultiver ou à mettre en valeur et du prix plus important du foncier près des côtes.

Une **construction légère** est une « *structure légère non attachée au sol par l'intermédiaire de fondations ou bâtiment quelconque ouvert sur au moins un côté* » (*IGN, 2011*). Il peut s'agir par exemple de bâtiments utilisés saisonnièrement, dans un camping par exemple. Ces constructions légères sont en grande partie présentes dans la bande des 500 m, et plutôt dans les 200 m les plus proches du rivage. De nombreux **mobil-homes et caravanes** sont présents dans des champs à proximité du trait de côte. Il s'agit de champs qui sont loués à des particuliers qui souhaitent venir l'été ou les week-ends. C'est le cas de façon très développée à Surtainville et au Rozel.

Bâtis	Bande des 1000 m	Surface dans les 1000 m (m²)	Bande des 500 m	Surface dans les 500 m (m²)
Bâti indifférencié	1318	110440,88	763	64700,49
Bâtiment agricole	30	14164,92	2	284,79
Bâtiment industriel	69	12010,17	27	6585,39
Serre	31	59493,56	1	100,00
Fort, blockhaus, casemate	6	201,00	5	49,69
Construction légère	184	36400,98	104	18890,16
	Bande des 200 m	**Surface dans les 200 m (m²)**	**Bande des 100 m**	**Surface dans les 100 m (m²)**
Bâti indifférencié	324	28655,35	113	8431,20
Bâtiment agricole	0	0,00	0	0,00
Bâtiment industriel	5	577,38	1	100,56
Serre	0	0,00	0	0,00
Fort, blockhaus, casemate	5	49,69	2	44,11
Construction légère	43	681,78	12	201,84

Figure 125 : Tableau de synthèse des bâtis exposés dans la bande littorale du secteur Ouest, d'après BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019

Le linéaire de **voirie** est important dans la bande des 1000 m avec près de 40 km cumulés. Le nombre relatif l'est encore plus à mesure que l'on se rapproche de la mer, jusqu'aux 100 m où la densité diminue, due notamment aux zones humides et dunes où il y a moins de routes.

Les sentiers sont majoritairement dans la bande des 100 m (plus de 70 % par rapport à la bande des 1000 m). Il s'agit ici majoritairement de **sentiers littoraux**, quasi continus le long du rivage.

Voirie	Longueur dans les 1000 m (m)	Longueur dans les 500 m (m)	Longueur dans les 200 m (m)	Longueur dans les 100 m (m)
Route à 1 chaussée	38684,26	23190,97	11055,43	4980,39
Route empierrée	14546,60	10971,21	5721,41	2718,89
Chemin	11574,20	5534,97	2753,28	1035,99
Sentier	13208,75	12155,40	10191,65	9437,30

Figure 126 : Tableau de synthèse des voiries exposées dans la bande littorale du secteur Ouest, d'après la BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019

Sur ce secteur Ouest, il y a 3 **campings** dans la bande littorale des 500 m, dont 1 est situé dans la bande des 100 m. Il s'agit d'éléments exposés assez importants en raison de la forte population saisonnière qui peut y séjourner et de la protection presque nulle face aux aléas côtiers. Souvent, auprès de ces campings, des enrochements et des mesures visant à fixer les dunes sont mis en place comme c'est le cas pour le camping du Grand Large à Sciotot.

Plusieurs **parkings** sont également présents sur cet espace littoral, 6 étant situés dans la bande des 200 m. ces parkings sont presque tous situés auprès d'accès à la plage. Souvent, comme à Sciotot, ils sont protégés par des enrochements pour contrer l'érosion. Il n'est pas rare que les parkings situés le long de la mer se retrouvent inondés lors de grandes marées, ou en partie atteints par des galets.

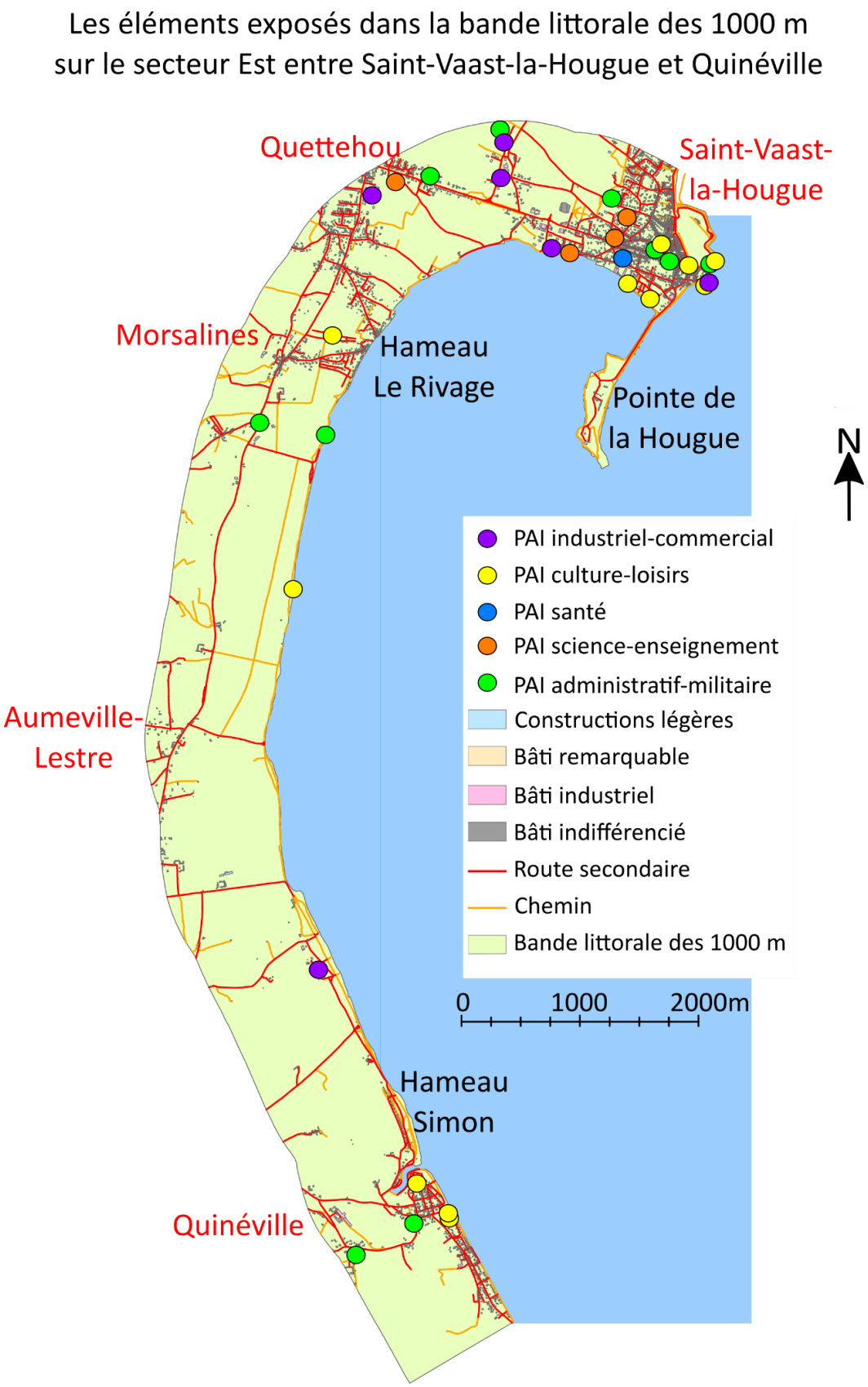
Il n'y a **pas d'autres enjeux importants** dans la bande côtière sur ce secteur Ouest. Les infrastructures de santé, ou autres services publics et commerces principaux sont plus éloignés des côtes. Cela s'explique par le fait que les communes littorales ne sont pas très peuplées et que les grands bourgs sont un peu éloignés des côtes (Les Pieux, Flamanville).

Structures	Bande des 1000 m	Bande des 500 m	Bande des 200 m	Bande des 100 m
PAI administratif-militaire	0	0	0	0
Camping	3	3	1	1
Espace public	1	0	0	0
Espace-naturel non habité	8	6	3	2
Usine de traitement des eaux	1	0	0	0
PAI industriel-commercial	0	0	0	0
PAI santé	0	0	0	0
Croix	3	1	0	0
Stade	1	1	0	0
PAI science-enseignement	0	0	0	0
Autre point d'eau	1	0	0	0
Parking	6	6	6	2

Figure 127 : Tableau de synthèse des PAI (Points d'Activité ou d'Intérêt) dans la bande littorale du secteur Ouest, d'après la BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019

Pour résumer, sur ce secteur Ouest, il y a de **nombreux bâtis** dans la bande côtière, majoritairement dans une bande qui s'étend de 100 à 500 m des côtes (*cf. Figure 124 : Carte des éléments exposés du secteur Ouest, d'après BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019*). Ces nombreux bâtis traduisent une population qui peut être importante saisonnièrement. Il y a quelques campings et autres éléments à vocation de loisirs et de tourisme tels qu'une école de voile ou des restaurants temporaires sur les parkings des plages. Les **enjeux les plus importants** sont situés **en retrait du littoral**, dans les grands bourgs.

1.4.4.2. Des zones de forte implantation de bâtiments d'activité conchylicole au Nord et de nombreuses habitations au Sud du secteur Est



Sources : BD TOPO 2018 de la Manche, réalisation P. EMILE, 2019

Figure 128 : Carte des éléments exposés du secteur Est, d'après la BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019

Le secteur Est présente de **nombreuses zones de concentration d'enjeux** à proximité du littoral. Les principales se situent au Sud de Saint-Vaast-la-Hougue, au Carvallon dans la Zone Industrielle, au Hameau Le Rivage, au Hameau Simon et dans le bourg de Quinéville (*cf. Figure 128 : Carte des éléments exposés du secteur Est, d'après la BD TOPO 2018, P. EMILE,* 2019).

Les **bâtis indifférenciés** sont nombreux dans la zone, au nombre de 3608 dans la bande des 1000 m. le nombre relatif est plus important dans la bande des 500 m, avec 60 % du bâti dans 50 % de la surface par rapport à la bande des 1000 m. Le nombre relatif est également plus important dans les 100 m avec près de 55 % du bâti dans 50 % de la surface par rapport aux 200 m.

Le nombre de **bâtiments commerciaux** est de 7 dans la bande des 1000 m, dont 5 situés entre les 500 m et les 200 m du rivage. Il s'agit essentiellement de bâtiments situés à Saint-Vaast-la-Hougue.

Les **bâtiments industriels** sont au nombre de 228 dans la bande des 1000 m dont 96 situés dans la bande des 200 m, c'est-à-dire 42 % dans 20 % de la surface. Cela s'explique par l'importance de l'activité conchylicole qui nécessite d'être proche de la mer.

Bâtis	Bande des 1000 m	Surface dans les 1000 m (m²)	Bande des 500 m	Surface dans les 500 m (m²)
Bâti indifférencié	3608	303498	2229	176837
Bâtiment agricole	15	7294	1	142
Bâtiment commercial	7	4552	5	3306
Bâtiment industriel	228	44774	155	25397
Bâtiment sportif	4	1509	4	1509
Chapelle	1	104	0	0
Château	4	1412	1	302
Eglise	8	2652	4	1786
Fort, blockhaus, casemate	19	1505	13	1142
Mairie	3	487	1	233
Tour, donjon, moulin	7	315	5	198
Tribune	2	316	2	316
Construction lègère	272	14138	159	6326
	Bande des 200 m	Surface dans les 200 m (m²)	Bande des 100 m	Surface dans les 100 m (m²)
Bâti indifférencié	883	69092	483	36934
Bâtiment agricole	0	0	0	0
Bâtiment commercial	3	1865	0	0
Bâtiment industriel	96	20688	44	9291
Bâtiment sportif	1	142	1	142
Chapelle	0	0	0	0
Château	0	0	0	0
Eglise	0	0	0	0
Fort, blockhaus, casemate	13	1142	12	1086
Mairie	0	0	0	0
Tour, donjon, moulin	4	171	4	171
Tribune	0	0	0	0
Construction lègère	75	1962	43	1098

Figure 129 : Tableau de synthèse des bâtis exposés dans la bande littorale du secteur Est, d'après BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019

La **voirie** est répartie de façon relativement homogène avec une légère augmentation à proximité du littoral. 53 km de routes à une chaussée sont recensés dans la bande des 1000 m et 7.7 km dans la bande des 100 m.

Les sentiers sont en grande partie des **sentiers littoraux** sur l'ensemble du secteur.

Voirie	Longueur dans les 1000 m (m)	Longueur dans les 500 m (m)	Longueur dans les 200 m (m)	Longueur dans les 100 m (m)
Route à 1 chaussée	53130	27866	14861	7735
Route empierrée	16305	11669	9456	7154
Chemin	16286	10558	6928	4946
Escalier	23	23	23	23
Piste cyclable	683	328	0	0
Sentier	19084	14841	11822	10646

Figure 130 : Tableau de synthèse des voiries exposées dans la bande littorale du secteur Est, d'après BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019

Les PAI (Points d'Activité ou d'Intérêt) sont assez nombreux sur le secteur Est (*cf. Figure 131 : Tableau de synthèse des PAI (Points d'Activité ou d'Intérêt) dans la bande littorale du secteur Est, P. EMILE, 2019*).

Les **PAI administratif-militaire** (« *désignation d'un établissement, site ou zone ayant un caractère public ou administratif ou militaire* » (*IGN, 2011*)) sont au nombre de 10 dans la bande littorale des 1000 m. Parmi eux, il y a 3 mairies, 1 caserne de pompiers et 1 gendarmerie qui sont toutes situées au-delà de 200 m du trait de côte.

Les autres PAI recensés sont les PAI industriel-commercial, culture-loisirs, santé et science-enseignement.

3 **campings** sont recensés sur le secteur, ils se situent à Saint-Vaast-la-Hougue, Quettehou et Quinéville. Il s'agit de campings de bord de mer donc proches du trait de côte.

Un Etablissement d'Hébergement pour Personnes Agées Dépendantes (**EHPAD**) est situé à Saint-Vaast-la-Hougue dans la bande littorale des 200 m.

4 **établissements d'enseignement** sont situés dans la bande des 1000 m. L'un de ceux-ci se situe dans la bande littorale des 100 m, c'est un lycée situé à Saint-Vaast-la-Hougue.

Structures	Bande des 1000 m	Bande des 500 m	Bande des 200 m	Bande des 100 m
Bureau ou hôtel des postes	2	2	0	0
Caserne de pompiers	1	0	0	0
Divers public ou administratif	2	0	0	0
Gendarmerie	1	0	0	0
Mairie	3	1	0	0
Ouvrage militaire	1	1	1	1
Camping	3	3	2	1
Construction	1	1	1	1
Digue	1	0	0	0
Espace public	1	1	0	0
Monument	1	1	1	1
Musée	2	2	1	1
Culture-loisirs NR	2	2	1	1
Espace-naturel non habité	2	2	1	1
Station de pompage	2	1	0	0
Usine de traitement des eaux	2	0	0	0
Aquaculture	2	2	2	1
Usine	1	0	0	0
Zone industrielle	2	0	0	0
Etablissement hospitalier	1	1	1	0
Croix	5	1	0	0
Culte catholique ou orthodoxe	7	3	0	0
PAI sport NR	4	3	1	1
Stade	1	1	0	0
Enseignement primaire	2	1	0	0
Enseignement secondaire	2	2	1	1
Fontaine	1	0	0	0
Source	2	1	1	1
Station de pompage	2	1	0	0
Parking	9	4	2	2
Port	2	1	0	0
Rond-point	2	2	0	0

Figure 131 : Tableau de synthèse des PAI (Points d'Activité ou d'Intérêt) dans la bande littorale du secteur Est, P. EMILE, 2019

Pour synthétiser, il y a une **concentration des enjeux et des éléments exposés au Nord de la zone** à Saint-Vaast-la-Hougue et Quettehou. Ce sont des enjeux liés à la fois aux activités touristiques et conchylicoles. Au Sud, à Quinéville, il s'agit majoritairement **d'enjeux touristiques** et de nombreux bâtis (*cf. Figure 128 : Carte des éléments exposés du secteur Est, d'après la BD TOPO 2018, P. EMILE,* 2019).

1.4.5. Conclusion de partie

Les **éléments exposés** à proximité du littoral diffèrent selon les secteurs. En règle générale, les bâtis sont plutôt regroupés en hameaux. Entre ces zones bâties, les espaces sont plutôt vides, et souvent peu mis en valeur par l'agriculture en raison de leur situation en **zones humides** ou sableuses (**mielles**). La population n'est pas très élevée à l'année dans ces communes littorales. Le **tourisme** représente une part importante dans l'activité avec de nombreux campings et résidences secondaires. Sur la côte Est, il y a plus d'éléments exposés avec la plus grande importance de **l'activité conchylicole**, visible à travers les nombreux bâtis industriels et parcs à moules et huitres sur l'estran.

Les **Modes d'Occupation du Sol** sont variés, avec une prédominance de la **végétation dunaire** et des **prairies** destinées au pâturage. Les surfaces artificielles sont en évolution dans le temps autour des zones déjà bâties.

Partie 2 : Apports des SIG pour repérer les rythmes d'évolution du trait de côte et combiner les informations sur le littoral

2.1. De nombreuses informations à regrouper, à croiser et à représenter : l'intérêt des SIG pour l'étude des littoraux

2.1.1. Les SIG : outil du géographe

Comme cela a été évoqué en introduction, le littoral fonctionne comme un système et nécessite d'être approché comme tel. On parle alors de **système littoral** (*Suzanne, 2018*). Le littoral doit être vu comme un **géosystème**, notion qui permet une analyse des « *interactions entre données géomorphologiques, climatologiques, hydrologiques, biogéographiques et pédologiques* » (*Bertrand, 1968*) avec la prise en compte de l'action humaine dans ce système.

Les **Systèmes d'Information Géographique** sont des outils indispensables du géographe, et notamment pour avoir une **approche systémique** et multiscalaire (*cf. Introduction II.2 Les outils du géographe et l'approche globale au service de l'étude du littoral, p. 24*).

Il s'agit d'une **représentation de la réalité** par des séries de couches d'informations attributaires diverses selon plusieurs types de format (vecteur point / ligne / polygone, raster). Chaque élément peut faire l'objet d'une variable dans la base de données et ses caractéristiques pourront être recensées dans une **table attributaire** organisée.

Les SIG permettent de mixer de **nombreuses informations spatialisables** et de simplifier et combiner d'importantes bases de données. C'est un outil intéressant en préalable aux statistiques et à la cartographie pour comprendre un espace et visualiser l'ensemble des interactions en jeu à plusieurs échelles temporelles ou spatiales.

Ils sont utilisés dans de **nombreux domaines**, de la géographie à la logistique des transports en passant par le marketing et l'implantation des grandes enseignes de commerce.

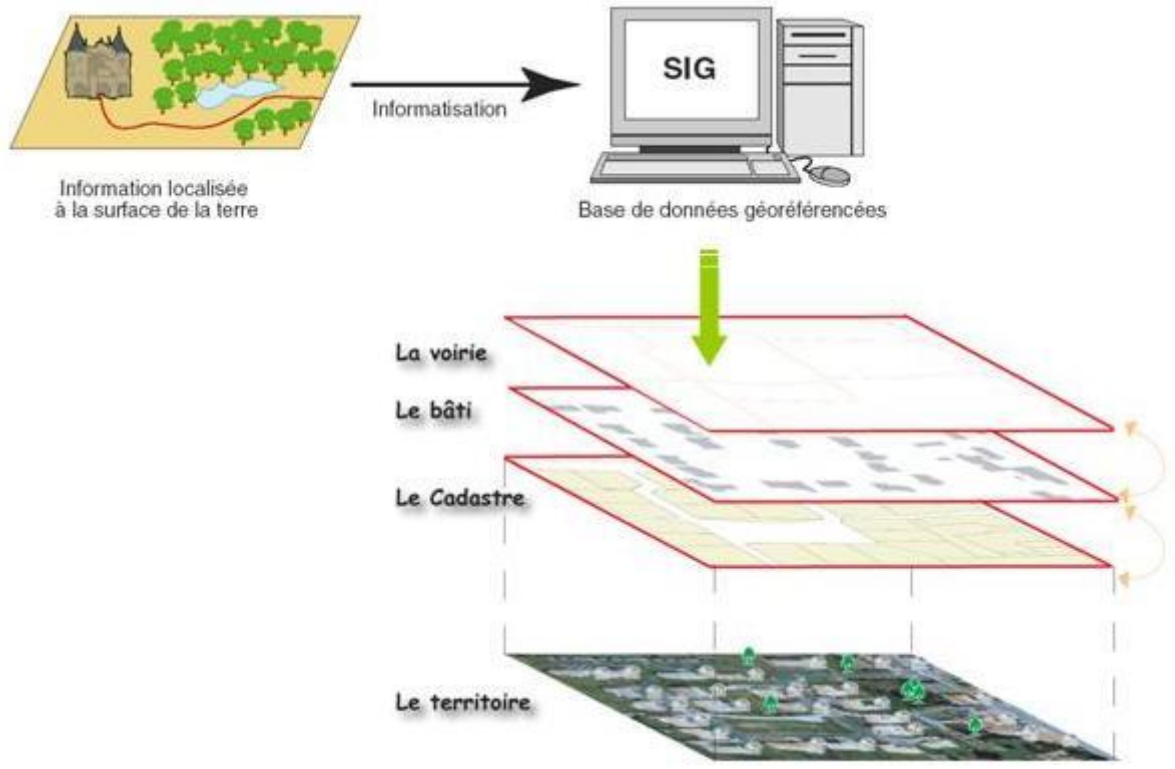


Figure 132 : Schéma du fonctionnement d'un SIG, Communauté de Communes d'Erdre et Gesvres, 2005 (sur gestionorienteeverslimpact.org)

Dans le cadre de mon mémoire, les SIG sont nécessaires pour combiner des informations variées, notamment sur **l'occupation du sol** des secteurs à **différentes dates** (MOS, bâtis, éléments exposés, natures d'estran), sur la **géomorphologie** (zones basses, géologie), sur les emplacements successifs du **trait de côte** ainsi que des informations à l'échelle **administrative** (population).

Les informations sont sous plusieurs formats, le format **raster** (photographies), **vectoriel point** (Points d'Activité et d'Intérêt), **vectoriel ligne** (voirie, trait de côte) ou **vectoriel polygone** (bâti, MOS).

2.1.2. De nombreux rapports et organismes producteurs de données

De **très nombreuses informations** statistiques et spatialisées sont aujourd'hui disponibles pour tous les territoires. Il peut être difficile de **faire le tri** entre ces informations en raison de la **multitude d'organismes** qui effectuent des études variées à la fois sur la population, l'occupation du sol, les activités, l'économie ou encore les évolutions géomorphologiques ou biologiques.

Le **domaine littoral** est très étudié en raison de son interface entre terre et mer, de son attractivité et des nombreuses problématiques qui y prennent place. Pour de nombreux organismes, ces milieux offrent **plusieurs objets d'étude** tels que l'évolution du trait de côte, les dynamiques sédimentaires, l'hydrodynamisme, la météorologie, les évolutions de population et de bâti, le transit maritime ou encore l'économie portuaire ou touristique.

2.1.2.1. La bibliographie et l'étude sur le terrain

La bibliographie et l'approche par le terrain sont des préalables nécessaires à la compréhension du territoire et à réaliser tout au long de la recherche

Avant de faire une étude poussée sur les dynamiques et les évolutions futures d'un espace, il est nécessaire de **comprendre son fonctionnement actuel** et de connaitre les dynamiques hydrosédimentaires et la géomorphologie des secteurs.

J'ai commencé par **parcourir les secteurs** et consulter de nombreux documents. Pour avoir des **données générales**, j'ai utilisé des données numériques de différents formats et de sources variées

Pour comprendre les phénomènes et processus en jeu, de nombreux ouvrages ont été réalisé sur la thématique des littoraux. Leur consultation et la compréhension des processus de base sont indispensables à toute étude sur le littoral. J'ai également consulté des documents et des études qui informent sur le **contexte particulier des secteurs** étudiés (*SOGREAH, 1986, Catalogue sédimentologique des Côtes françaises* ; ROLNP ; *Levoy, 1994*).

Pour recenser tous ces documents, j'ai choisi d'utiliser le logiciel *Zotero* qui permet de renseigner des informations sur les documents consultés et de les regrouper selon la thématique.

2.1.2.2. Données de recensements de population ou d'occupation du sol

L'**Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques** (INSEE) est le principal organisme de recensement et de statistiques en France. Des **recensements détaillés** de populations sont effectués régulièrement et permettent de fournir une base de données très importante pour comprendre les spécificités des territoires (démographie, logement, économie) à plusieurs échelles spatiales (IRIS, commune, aire urbaine, zone d'emploi, Etat) et temporelles (évolutions des populations, des emplois). Cet organisme effectue également de **nombreuses études et publications** dans des domaines variés.

L'**Observatoire National de la Mer et du Littoral** (ONML) propose des études sur la population, le logement et les activités économiques, spécifiquement dans les espaces littoraux, ainsi que des thèmes plus environnementaux tels que les risques ou l'état biologique de la mer.

L'**Institut Géographique National** (IGN) réalise et actualise régulièrement de nombreuses cartographies. Il alimente notamment l'Outil **Géoportail**. Il élabore et tient à jour un Référentiel géographique à Grande Echelle (RGE). Celui-ci se décompose en plusieurs composantes, la BD ORTHO (image), la BD TOPO (topographique), la BD PARCELLAIRE et la BD ADRESSE. Il s'agit d'un référentiel de « *précision métrique* » qui intègre des « *données de référence, issues de ses propres bases ou provenant d'autres producteurs* » (*IGN, 2011*).

La partie qui s'avère la plus utile pour ce travail est la **BD TOPO**. Il s'agit d'une base de données topographique à l'échelle du département et qui est actualisée ponctuellement. La dernière version pour le département de la Manche est de 2018. Ce sont des données au format vectoriel.

Cette BD TOPO a été utilisée **à l'échelle des secteurs d'étude**, notamment pour avoir un aperçu général de la répartition puis un recensement des éléments exposés. Les sorties graphiques sont principalement des cartographies et des tableaux de synthèse et de statistiques.

2.1.2.3. Données d'imagerie aérienne (outil Remonter le temps et BD Ortholittorale)

Les images aériennes sont nombreuses et varient selon la résolution et le type de prise de vue (satellite, avion, drone). Il s'agit de données au format Raster. Les principales sont celles disponibles par Google Earth et la **BD ORTHO** de l'IGN. Plusieurs séries de photographies aériennes à dates différentes sont disponibles sur l'Outil Remonter le temps de Géoportail. Celles-ci sont utiles dans le cadre d'une **approche diachronique** pour étudier l'évolution entre plusieurs périodes. Il existe des versions destinées aux littoraux, les **BD Ortholittorale V1 et V2**. Ces deux bases ont été constituées en 2000 et à partir de 2011 et sont disponibles sur la plate-forme Géolittoral. Elles ont été réalisées par l'IGN sur les façades de la Manche et d'Atlantique pour la première version et sur l'ensemble du littoral métropolitain pour la seconde version (*CETE Normandie-Centre, 2012*). La base de données utilisée dans ce mémoire est la BD Ortholittorale V2.

Les images aériennes permettent d'avoir une autre vision sur les secteurs d'étude que des données vectorielles et des observations au sol. Tous ces types de données se complètent pour avoir une vision globale et identifier l'ensemble d'une zone d'étude.

2.1.2.4. Données générales et spécialisées utilisées dans le cadre du mémoire

2.1.2.4.1. Des données numériques qui peuvent être traitées sous SIG

La plate-forme **Géolittoral** recense de nombreuses bases de données spécifiques aux littoraux et utilisables via les SIG. Il y a par exemple des informations sur les zones basses, les cellules hydrosédimentaires, la houle, les MOS ou encore les catastrophes naturelles liées à la mer.

L'**Institut Français de la Recherche pour l'Exploitation de la Mer** (IFREMER) réalise et regroupe de nombreuses bases de données et études sur les littoraux. Les domaines d'études sont très vastes et s'étendent de la biologie à la navigation en passant par la nature des sédiments et des estrans.

Le **Service Hydrographique et Océanographique de la Marine** (SHOM) étudie principalement l'environnement marin, les conditions marines et la bathymétrie. Ces données sont beaucoup utilisées pour la navigation Il met notamment en ligne des cartographies des fonds marins.

Le **Centre de Recherches en Environnements Côtiers** (CREC) de l'Université de Caen-Normandie a réalisé des études sur les côtes du département de la Manche, en particulier un suivi de l'évolution des plages et du trait de côte depuis 1991, et qui est actualisé de manière régulière. Les objectifs sont « *d'ajuster les hypothèses retenues en termes d'évolution prévisionnelle du trait de côte* » et « *d'affiner, à moyen terme, l'évolution du volume du stock sédimentaire côtier* » (*crec.unicaen.fr*).

Le **Bureau de Recherches Géologiques et Minières** (BRGM) a pour objets d'étude la géologie, les risques et les ressources du sous-sol. Par le biais de sa plate-forme *Infoterre*, des données à différentes échelles des structures de géologie sont disponibles.

L'organisme de **Météo-France** met en ligne des données climatiques pour de nombreuses villes. La Normale climatique sur 30 ans et l'historique des événements tempétueux sont notamment des éléments intéressants dans l'étude des littoraux.

Les principales informations hydrodynamiques ont été présentées dans la *Partie 1.2 Des conditions hydrodynamiques et météorologiques plus exigeantes sur la côte Ouest, pour des dynamiques hydrosédimentaires distinctes de la côte Est plus abritée, p 52*).

2.1.2.4.2. Structures d'observation du littoral

De nombreux **suivis de l'évolution du littoral** sont réalisés, à différentes échelles et selon différentes méthodes.

Des distinctions se font entre les opérations, les observatoires et les méta-observatoires (*cf. Figure 133 : Tableau de la typologie des observatoires de suivi du trait de côte, Bulteau et al, 2011 (in Suanez et al, 2012)*).

Type	Catégorie	Fréquence	Valorisation ou utilisation	Echelle spatiale	Déclenchement	Mise à jour
1	Opération	Mesures période unique, étude ponctuelle	Projet d'aménagements littoraux, risque	Réduite (locale)	Ponctuel	Opportuniste voire jamais
2		Mesures multi-dates, non planifié	Aménagements littoraux, risque, activité de recherche	Réduite (locale)	Ponctuel	Opportuniste
3	Observatoire	Suivi pluriannuel de courte durée / plutôt mono-paramètre	Activité de recherche, aide à la décision	Plusieurs communes, département	Programmé	Fréquence programmée
4		Observatoires pérennes (longue durée de vie, multi paramètres)	Aide à la décision, bases de données, activité de recherche	Département(s), région	Programmé	Fréquence programmée et action si évènement exceptionnel (tempête)
SIL	Méta-observatoire	Pas d'acquisition	Suivi du littoral (indicateurs autres que le trait de côte)	Régionale à nationale	Pas d'acquisition propre	Fonction des accords avec les fournisseurs de données

Figure 133 : Tableau de la typologie des observatoires de suivi du trait de côte, Bulteau et al, 2011 (in Suanez et al, 2012)

A l'échelle de la France, une étude a été réalisée dans le cadre de la **Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de Côte**. Un Indicateur National de l'Erosion Côtière a ainsi été créé. Cette étude s'est basée sur la photo-interprétation de photographies aériennes d'époques différentes. Il a ainsi fallu choisir une définition du trait de côte qui correspond ici selon les cas « *à la limite de végétation* », « *la limite de haut de falaise* » ou encore « *la limite supérieure du jet de rive* » (*Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2018)*. Des calculs d'évolution ont ensuite pu être réalisés. Ce travail a été réalisé par le Centre d'Etude et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA) sur commande du Ministère en charge de l'Environnement. Le niveau de précision est de 200 m et les résultats sont visibles sur le site Géolittoral.

A une échelle interrégionale, le **Réseau d'Observation du Littoral de Normandie et des Hauts de France** (ROL), anciennement nommé Réseau d'Observation du Littoral Normand-Picard (ROLNP), est un organisme incontournable pour les littoraux. Avec l'aide de la Direction Régionale de L'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Normandie (DREAL), le ROL a notamment réalisé une étude de l'évolution du trait de côte sur son territoire. Celle-ci est basée sur la comparaison des photographies aériennes de 1947, 1977, 1982, 1992, 2001 et 2010. La précision est de 10 m et les données sont disponibles sur le site du ROLNP. Un relevé au LIDAR (Light Detection and Ranging) a été réalisé en 2017 et permet la comparaison avec un trait de côte plus récent selon une mesure au radar. C'est-à-dire que l'image obtenue correspond au temps d'aller-retour de l'onde sur le sol, ou le fond-marin. Il est ainsi possible de réaliser un MNT (Modèle Numérique de Terrain) sur la zone d'étude.

2.1.3. Des informations sur les positions successives du trait de côte

2.1.3.1. L'approche diachronique pour connaitre l'évolution et les rythmes passés

Les évolutions et les dynamiques passées permettent de mieux comprendre l'état actuel d'un espace et son évolution future.

Pour observer l'évolution historique sur un secteur, il faut adopter une **approche diachronique**, c'est-à-dire comparer un même espace à plusieurs dates. En effet, l'observation et la comparaison de documents réalisés à des dates différentes permet de remarquer les différences, et donc les processus en jeu.

Parmi les études diachroniques, **plusieurs échelles de temps** sont envisageables, l'étude sur le temps long (quelques décennies) ou sur un temps plus court (avant et après un événement). On peut notamment citer la comparaison entre des photographies aériennes du littoral d'époques différentes, des photographies (cartes postales, …) et des photographies actuelles. Le littoral étant un ensemble en constante transformation, la comparaison de plusieurs photographies permet de se rendre compte des différents états successifs.

Dans ce mémoire, j'ai **comparé la position du trait de côte à différentes dates** pour connaître les rythmes. Plusieurs indicateurs sont envisageables. Les éléments artificiels bétonnés peuvent s'avérer être de bons points de comparaison. En effet, les blockhaus, les perrés, les digues permettent de se rendre compte des changements de hauteurs de sable sur la plage. Cependant, il ne faut pas forcément s'y fier pour une comparaison sur le temps long puisque ces éléments peuvent être déplacés en raison de tempêtes ou de destruction et reconstruits plus loin.

En termes d'approche diachronique, il peut également être intéressant d'étudier l'**évolution de la largeur de la dune** sur certains secteurs et la proximité avec le bâti car il peut y avoir des impacts en arrière de celles-ci (ensablement des routes, facilité de rupture de brèches sur un sol artificialisé). Souvent, l'évolution de l'urbanisation est étudiée sous l'angle de l'approche diachronique par comparaison de photographies.

2.1.3.2. Le Centre Régional des Etudes Côtières (CREC)

Le **CREC de l'Université de Caen-Normandie** procède à un **suivi de l'évolution des plages et du trait de côte de la Manche depuis la fin des années 1990**. Un réseau de **108 stations** a été créé pour permettre les suivis, et des relevés réguliers, jusque 3 fois par an, sont réalisés de manière terrestre ou aérienne. Les données informent sur l'évolution du trait de côte, le volume sédimentaire et le profil de plage.

Les données récoltées depuis le début du relevé sont présentées dans le tableau suivant (*cf. Figure 134 : Tableau des relevés du CREC pour le trait de côte, le volume sédimentaire et le profil de plage, données CREC, P. EMILE, 2019*).

Numéro de station	Localisation	Niveau d'enjeux (sur 9)	Evolution du tdc (m) Déc 97 à sept 18	Tendance d'évolution du tdc (m/an) Déc 97 à sept 18	Evolution du tdc (m/an) Sept 16 à sept 18	Evolution du volume sédimentaire (m3/ml) Déc 97 à sept 18	Tendance d'évolution du volume sédimentaire (cm/an) Déc 97 à sept 18	Evolution du volume sédimentaire (cm/an) Sept 16 à sept 18	Evolution du profil de plage (m3/ml) Déc 97 à sept 18	Tendance d'évolution du profil de plage (cm/an) Déc 97 à sept 18	Evolution du profil de plage (cm/an) Sept 16 à sept 18
SNW49	Les Pieux au Nord de Sciotot	9				9,67	1,47	-2,91	60,27	2,1	2,68
SNW50	Les Pieux à Sciotot	6	-9,3	-0,46	-0,09	-20,07	-2,12	-1,73	65,86	1,08	2,27
SNW51	Le Rozel au Sud du camping Le Grand Large	6	-1,34	-0,21	-0,47	14,25	0,97	-2,42	93	1,16	2,63
SNW52	Le Rozel au niveau du camping Le Ranch	6	2,88	-0,47	2,24	13,17	-2,46	4,88	-8,34	0,23	3,86
SNW53	Surtainville au Hameau Le Pou	3	-10,7	-0,45	3,59	-29,87	-2,1	19,67	49,68	1,57	-3,02
SNW54	Surtainville au niveau du Hameau La Plage	4	-10,78	-0,5	4,14	-67,68	-4,46	22,4	-120,03	-0,36	-15,81
SNW55	Surtainville au Sud du Hameau La Plage	3	-25,57	-1,08	-1,44	-155,22	-7,31	-29,14	-16,12	-0,28	-1,15
SNW56	Baubigny au niveau de la D131	3	-20,56	-0,66	-0,78	-122,92	-5,64	-7,31	-103,37	-0,15	1,23
SE12	Quinéville au niveau du centre de vacances	9				-9,4	-0,38	-1,48	-3,92	0,11	-1,29
SE13	Lestre au Nord de l'embouchure de la Sinope	9	5,99	0,93	-2,43	-5,65	3,9	-13,55	-34,93	0,63	-5,14
SE15	Aumeville-Lestre au niveau de la ferme Le Manoir	6	-2,31	-0,64	-0,26	5,2	0,17	-0,3	4,5	0,35	-1,31
SE16	Crasville au niveau du lieu-dit Le Pavillon	3	6	0,34	0,78	16,95	1,11	1,79	25,86	0,54	0,33
SE17	Morsalines au niveau du lieu-dit Le Triolet	3	0,29	0	0,06	-0,81	-0,45	1,28	-6,24	-0,17	-0,29
SE18	Morsalines au Hameau Le Rivage	9				1,1	-0,16	-0,55	17,19	0,19	0,37
SE19	Saint-Vaast-la-Hougue au Carvallon	9				8,69	0,67	-0,14	29,88	0,46	0,34

Figure 134 : Tableau des relevés du CREC pour le trait de côte, le volume sédimentaire et le profil de plage, données CREC, P. EMILE, 2019

2.1.3.3. La photo-interprétation de photographies aériennes

2.1.3.3.1. Du géoréférencement à la digitalisation

L'outil **Remonter le temps** de Géoportail permet de comparer et de télécharger des cartes et des photographies aériennes de différentes époques. En effet, il est possible de télécharger des photographies aériennes issues de nombreuses missions depuis 1947, et des cartes d'époques différentes parmi lesquelles la carte de Cassini du XVIIIème siècle, celle de l'Etat-major de 1820 à 1866, la Scan 50 historique de 1950, et les cartes actuelles (Top 25 de l'IGN).

Ces photographies aériennes doivent, pour être interprétées et comparées, être géoréférencées, c'est-à-dire se superposer et avoir un même système de projection (utilisation du RGF 93-Lambert 93).

Sur chacune de ces photographies, il faut **repérer un trait de côte qui correspond à une même définition**. En effet, pour effectuer une comparaison et observer une évolution, il est nécessaire d'avoir des éléments comparables. Le fait que les documents de dates différentes soient géoréférencés permet une comparaison de ces traits de côte une fois ceux-ci digitalisés.

Pour les côtes sableuses et dunaires, il s'avère difficile de distinguer les différences pour repérer le trait de côte. En effet, les photographies n'ont pas toujours une résolution suffisante. C'est pourquoi, dans ce cas, c'est souvent la végétation (notamment l'oyat) qui sert de limite (*Berre et al, 2005, dans BRGM, 2012*). Dans l'idéal sur les côtes d'accumulation mésotidales et macrotidales, c'est-à-dire à marnage moyen ou fort, c'est « *la limite entre la dune et la plage* » qui est préconisée (*BRGM, 2012*).

A partir des traits de côte et à l'aide d'un logiciel de SIG, il est possible de calculer l'évolution entre les différentes dates en mesurant la distance ou la surface entre chacune des lignes.

L'objectif dans ce mémoire sera de repérer les rythmes d'évolution en m/an entre chaque date, sous forme de couleurs différentes et d'histogrammes pour des tronçons de 50 m.

2.1.3.3.2. Les traits de côte du ROLNP de 1947 à 2010

Dans le cadre de ce mémoire, j'ai bénéficié de **traits de côte déjà digitalisés et géoréférencés par le ROL**. Ces traits de côtes ont été obtenus à partir de la photo-interprétation de photographies aériennes et suivent dans la mesure du possible une même définition du trait de côte. Ils ont été réalisés pour les dates de **1947, 1977, 1982, 1992, 2001 et 2010** sur le domaine littoral allant du Mont St-Michel jusqu'à l'Est de la Picardie.

Les traits de côte ne sont pas digitalisés de façon régulière dans le temps, il n'est donc pas possible de faire une étude à échéances fixes. De plus, la date de prise de vue de la photographie aérienne qui a servi de base pour la digitalisation n'est pas renseignée. Il s'avère impossible de savoir s'il s'agit d'une période de l'année à laquelle il y a plutôt démaigrissement ou engraissement de la plage, ce qui peut pourtant avoir des incidences sur la position du trait de côte.

Pour **uniformiser les traits de côte et les rendre continus** sur l'ensemble des secteurs, j'ai décidé de digitaliser à partir de la couche « trait de côte artificiel » les tronçons qui n'étaient pas représentés sur la couche. En effet, sur la base de données ROL de départ, les traits de côte artificiels font l'objet d'une couche spécifique et non d'un tronçon dans les couches de chaque série de trait de côte. Lorsque l'ouvrage est détruit ou supprimé, le trait de côte se situe ailleurs et est digitalisé dans la couche du trait de côte, l'espace libre est alors comblé dans cette série. On peut ainsi connaitre l'évolution dans le temps de la position du trait de côte, même lorsque celui-ci a été artificialisé à une période donnée. Dans la table attributaire de chaque trait de côte, j'ai annoté ces tronçons comme étant des « **traits de côte artificiels** ».

D'autres endroits présentant des discontinuités (embouchures, erreurs de digitalisation), j'ai choisi de les digitaliser à partir d'une photographie aérienne ou en joignant les deux tronçons séparés. J'ai indiqué ces tronçons dans la table attributaire comme « **estimation** ».

Ainsi, les **traits de côte sont continus** pour les 6 dates, et l'étude de l'évolution est rendue possible sur l'ensemble des secteurs d'étude.

Pour simplifier l'étude et permettre de joindre d'autres informations, j'ai choisi de créer un nouvel identifiant « **numéro de l'objet** » pour chaque tronçon des deux secteurs d'étude en les numérotant du Nord au Sud pour pouvoir les retrouver plus simplement dans la table attributaire et les études synthétiques qui en découlent.

La table attributaire de chacune des 6 couches « trait de côte » disponibles sur le site du ROL a été complétée par les opérateurs en respectant une **notice** précise expliquant chacun des champs à remplir et définissant les possibilités de réponse (cf. *Figure 135 : Tableau descriptif des attributs retenus pour la digitalisation du trait de côte de 2010 du ROLNP, Notice TC BN, ROLNP, 2014*).

Chaque couche est constituée d'un certain nombre d'objets que sont les tronçons du trait de côte étudié. Ceux-ci sont continus tant qu'ils sont identiques, les tronçons se différencient quand les critères ne sont pas les mêmes. Pour chaque objet, la notice détaille les types de réponse attendues pour l'ensemble des attributs.

Nom du champ	Description	Valeurs possibles - Correspondance des valeurs
OBJECTID	Identifiant unique de l'objet	/
ANNEE1	Année	2010 (Manche), 2005 (Calvados), 2000, 1991-1992, 1982, 1977, 1947
FOURNISSEUR	Fournisseur de la donnée	CETE NC, DREALBN/ROLNP
MOA	Maître d'ouvrage	CETMEF, DREALBN/ROLNP
PI	Projection initiale	L93 - Lambert 93
INDICATEUR	Indicateurs	8 - Pied de dune
		9 - Haut de falaise dunaire
		11 - Limite côté mer de la végétation dunaire
		13 - Limite de végétation (hors dune)
		14 - Pied de falaise
		15 - Haut de falaise
		17 - Limite supérieure du schorre
LEVE	Type de levé	NUM - Numérisation
SUPPORT	Référentiel utilisé	3 - Orthophotographies
RESOLUTION	Résolution du référentiel	0,5
ECH_PDV	Echelle de la prise de vue	/
ZOOM_NUM	Echelle de digitalisation	2500 - 1/2500e
COULEUR	Radiométrie	IND - Indéterminé
		NB - Noir et blanc
		RVB - Couleurs
CONDITIONS	Etats de mer, conditions de la mer	2 - Non significatif
		3 - Ridée ou belle
		4 - Calme
		5 - Peu agitée
ERREUR	Erreur estimée par l'opérateur (m)	10
DATE_PROD	Date de production	/
NOM	Nom de l'opérateur	/

Figure 135 : Tableau descriptif des attributs retenus pour la digitalisation du trait de côte de 2010 du ROLNP, Notice TC BN, ROLNP, 2014

Le champ « **identifiant unique de l'objet** » correspond à un numéro attribué pour retrouver chaque tronçon parmi l'ensemble des tronçons de la couche.

6 séries de traits de côte sont disponibles et correspondent aux **6 années** où ont été réalisées des photographies aériennes verticales (1947, 1977, 1982, 1992, 2001 et 2010).

Pour les traits de côte de 1947 et 2010, le **fournisseur de la donnée** est le CETE Normandie-Centre (Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement), et le **maître d'ouvrage** est le CETMEF (Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales). Pour les traits de côte de 1977 à 2001, le fournisseur et le maître d'ouvrage sont la DREAL de Basse-Normandie et le ROLNP.

La projection initiale, c'est-à-dire le système de projection dans lequel a été réalisé la photo-interprétation, est le système **Lambert 93**.

Plusieurs **indicateurs de traits de côte** sont envisagés pour la photo-interprétation. Ces indicateurs vont du pied de dune à la limite de végétation en passant par le haut de falaise. L'opérateur a donc le choix de l'indicateur le plus approprié selon la situation. L'indicateur choisi renseigne donc sur le trait de côte existant.

Chacun des 6 levés de trait de côte réalisés s'est fait par **numérisation**.

Les référentiels utilisés sont chaque fois des **orthophotographies géoréférencées**. Celles-ci ont une résolution de 0.5 m pour 2010, cette résolution n'est pas renseignée pour les autres séries.

L'échelle retenue pour la digitalisation de chaque série est le **1/2500^{e}**. Ainsi, les mêmes éléments ne sont pas tous visibles de même manière selon l'échelle de l'orthophotographie. Le fait de garder la même échelle permet de ne pas fausser le résultat à travers les pixels de l'image. Cette échelle permet une vision à la fois assez large sur un certain espace tout en distinguant les éléments plus petits.

Les orthophotographies aériennes sont en **noir et blanc** de 1947 à 1982 et sont disponibles en couleur selon une **radiométrie rouge/vert/bleu** pour 2001 et 2010.

Sur la plupart des orthophotographies, **l'état de la mer** était satisfaisant pour permettre la photo-interprétation avec souvent une mer calme, voire ridée ou belle (en 1947 et 2010).

L'erreur estimée par l'opérateur pour l'emplacement du trait de côte est de 50 m pour 1947, et de 10 à 20 m pour les autres séries, selon les tronçons. Il est nécessaire de prendre en compte cette erreur dans les résultats car elle se répercutera ensuite sur toutes les études réalisées à partir de ces données. Avec une erreur potentiellement plurimétrique, il s'avère non réaliste de présenter des résultats à une précision centimétrique voire décimétrique. Il faut rappeler qu'il s'agit d'une photo-interprétation d'image, c'est-à-dire que c'est une **interprétation par un opérateur** et qu'elle dépend du point de vue de celui-ci et de son attention, ainsi que de la qualité de l'image.

Pour chaque tronçon, la **date et le nom de l'opérateur** ont été renseignés.

Un champ « **longueur du tronçon** » a également été ajouté et correspond à la longueur en mètres de chacun des tronçons du trait de côte.

2.1.3.4. La télédétection

2.1.3.4.1. Principes de la télédétection

Les données de **télédétection** présentent un apport intéressant pour repérer les évolutions. Il s'agit de données acquises par rayonnements électromagnétiques depuis une station qui peut être terrestre, ou située dans un avion ou un satellite dans le cas d'une télédétection aéroportée. Ces acquisitions de données s'accompagnent la plupart du temps par la prise de photographies aériennes pour compléter les données.

Les données de télédétection permettent de déceler des « ***informations sur la surface de la Terre (y compris l'atmosphère et les océans)*** » (*Centre canadien de télédétection sur rncan.gc.ca*). Autrement dit, elles permettent de connaitre la topographie, et éventuellement la bathymétrie des zones étudiées. Les données obtenues peuvent compléter des photographies aériennes en y ajoutant des informations sur les altitudes des éléments observés. La résolution peut être très grande selon la fréquence des ondes envoyées sur la surface observée.

Pour pouvoir utiliser les données obtenues, il importe de connaitre avec précision la position de la station. Lorsqu'il s'agit d'une station terrestre, celle-ci est couplée à un DGPS (*BRGM, 2012*), et les avions et satellites suivent des plans de vol précis et les données sont corrigées par « *des outils de levé terrestre* ».

Les données du SHOM (Service Hydrographique Océanographique de la Marine) peuvent informer sur la **bathymétrie**, c'est-à-dire la topographie sous-marine. L'intérêt est de mieux comprendre les dynamiques hydrographiques grâce à la topographie.

2.1.3.4.2. Le trait de côte de 2017 à partir des données LIDAR du ROLNP

Le **LIDAR** (Light Detection And Ranging) est une méthode de télédétection par laser. Ceux-ci utilisent des signaux infra-rouges et des lasers verts qui permettent de mesurer la topographie et de traverser les zones en eau peu profondes pour mesurer la bathymétrie (*lidar-nantes-rennes.eu*).

Dans mon cas, je vais utiliser les **données LIDAR de 2017** acquises par le ROLNP pour y repérer le trait de côte. Il s'agit d'un relevé par télédétection aéroporté effectuée par un avion. A partir du nuage de point obtenu par le relevé, il est possible de réaliser sur un logiciel de SIG un Modèle Numérique de Terrain (MNT) qui est donc géoréférencé, c'est-à-dire placé sur un système de projection (RGF 93-Lambert 93). Ce MNT permettra de repérer les différences d'altitude repérées par le LIDAR et ainsi de voir la limite du trait de côte. Ici encore, il s'avère délicat de le repérer. Souvent, la limite plage/dune est la plus facile à prendre car une différence d'altitude assez marquée peut exister. Ce n'est donc pas toujours la même définition du trait de côte que pour les photographies aériennes, les comparaisons avec les autres types de relevés doivent donc être relativisées.

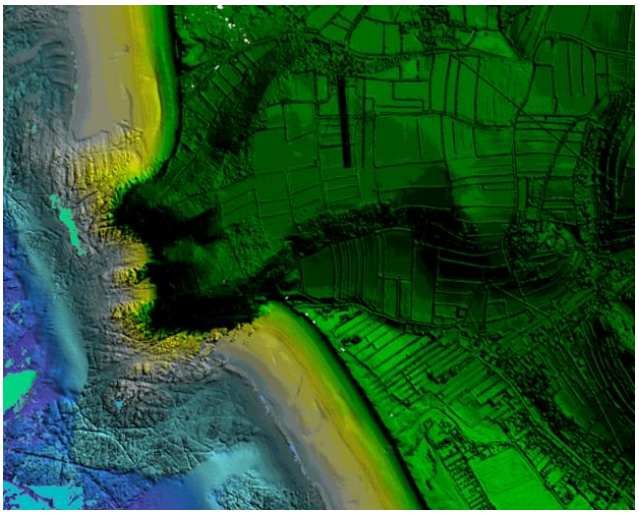


Figure 136 : Image extraite du relevé LIDAR de 2017 réalisé par le ROLNP au niveau du Cap du Rozel, SHOM, 2018

Grace à ce relevé LIDAR 2017, j'ai pu digitaliser sur un SIG le trait de côte de 2017. Le fait de représenter le MNT obtenu en couleur permet de mieux se rendre compte des différences d'altitudes. Les difficultés principales de la digitalisation sont dues au choix de l'altitude qui semble adéquate comme référence pour le trait de côte. Les altitudes ne seront pas tout à fait les mêmes selon la nature de ceux-ci. De plus, lorsque la pente est faible au niveau du trait de côte, il s'avère difficile de choisir une ligne comme limite. Il s'agit là-encore d'une **interprétation de l'opérateur**, qui est nécessairement critiquable. Pour approcher la réalité, il est indispensable de réaliser la digitalisation à plusieurs reprises et de choisir enfin la trace qui semble la plus représentative. Cela rejoint le problème de définition du trait de côte et son caractère simpliste et figé. Cependant, pour comparer deux éléments, il faut fixer des limites précises, et c'est ce à quoi cherche à répondre la notion de trait de côte.

7 séries de traits de côte à dates différentes (**1947, 1977, 1982, 1992, 2001, 2010 et 2017**) sur les deux secteurs d'étude sont donc digitalisées (*cf. Figure 137 : Image de la succession des positions du trait de côte au niveau de Surtainville, P. EMILE, 2019*). Cela permettra une **étude de l'évolution et des rythmes pendant 6 périodes**.

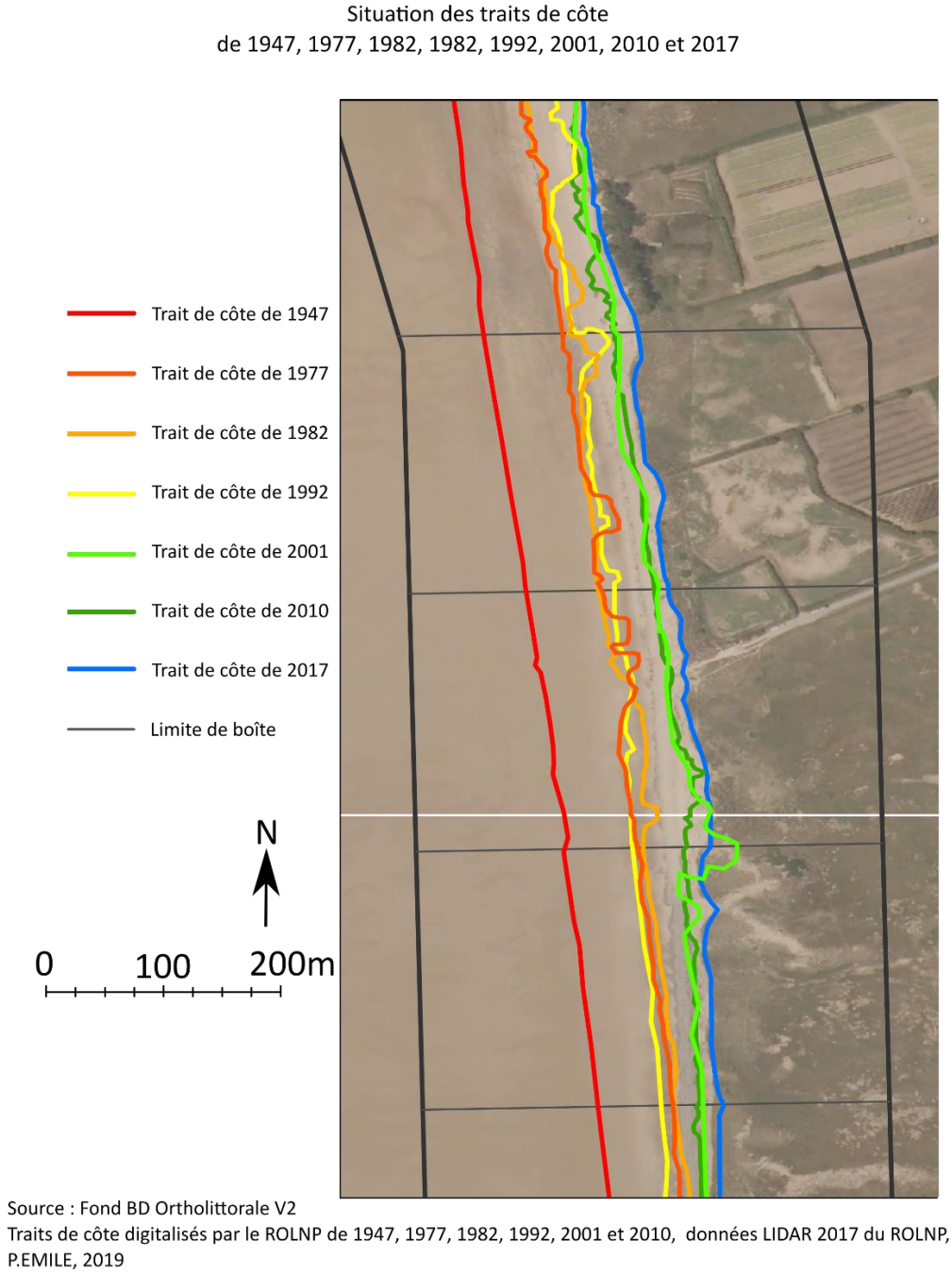


Figure 137 : Image de la succession des positions du trait de côte au niveau de Surtainville, P. EMILE, 2019

2.1.3.5. Les autres méthodes pour repérer la position du trait de côte

En plus des approches par photographies aériennes ou par télédétection, il existe d'autres méthodes pour connaitre la position du trait de côte à un moment donné.

Le **GPS** (Global Positioning System) est un outil portatif, donc assez pratique à utiliser. Il n'y a pas besoin d'autre matériel puisqu'il s'agit d'un « *procédé de radio-positionnement* » et « *la localisation d'un point s'appuie par la mesure du temps de trajet des signaux radioélectriques émis à partir de satellites* ». La position est « *déterminée par triangulation* » (*BRGM, 2012*).

Pour repérer un trait de côte, il faudra relever de nombreux points à intervalles réguliers et prendre en compte toutes les discontinuités. Le levé par GPS est rapide et les données pourront être transférées sur un logiciel de SIG par la suite. Sa précision peut varier de « *1 à 10 m en fonction du lieu et du matériel* » (*BRGM, 2012*), cet outil n'est donc pas à privilégier dans le cadre d'un suivi de trait de côte dont les évolutions ne sont pas très importantes. Lorsque la marge d'erreur est proche des valeurs d'évolution, le résultat est très critiquable.

Le **DGPS** (GPS Différentiel) suit le même fonctionnement que le GPS, c'est-à-dire qu'il s'agit également d'un système de radio-positionnement. La différence notable est la présence d'un « *récepteur GPS appelé* ***base*** » dont les coordonnées sont connues précisément (précision infracentimétrique), soit car le point est connu, soit parce que la base est stable longtemps et les échanges nombreux avec les satellites par la méthode de la triangulation diminuent la marge d'erreur. L'outil utilisé pour le repérage est composé d'un autre **récepteur mobile**. Un « *système radio relie les deux récepteurs* » (*BRGM, 2012*) et permet d'obtenir des valeurs plus précises car les positions acquises par le récepteur mobile sont corrigées par la base.

L'inconvénient évident de cette méthode est le temps de traitement plus long qu'elle nécessite car il faut installer la base et la changer de place régulièrement pour qu'elle soit assez proche du récepteur mobile et qu'elle corrige au mieux les résultats obtenus. La précision est « *d'ordre centimétrique* » et les résultats sont également transférables sur SIG. Il s'agit de la méthode la « *plus fréquemment* » utilisée pour le suivi des indicateurs de trait de côte (*BRGM, 2012*).

Des **mesures topographiques** du trait de côte peuvent également être réalisées. Celles-ci se basent sur un point dont les coordonnées exactes sont connues et par mesures et calculs, les coordonnées des points souhaitées peuvent être connues.

Le **théodolite** et le **tachéomètre** sont des instruments de mesure composés d'une lunette à travers laquelle l'opérateur effectue des « *visées* » des points dont il souhaite connaitre la position (*BRGM, 2012*). Le théodolite permet de mesurer des angles tandis que le tachéomètre n'effectue que des mesures horizontales, c'est à dire qu'il faudra placer un repère (mire graduée) sur le point visé, qui atteindra la même altitude que la station, et qui permettra de connaitre la dénivelée.

Dans les deux cas, l'instrument réalisera les calculs pour connaitre la distance entre la station et le point, et la dénivelée. Les coordonnées (x ; y ; z) seront ainsi connues et il faudra les garder en mémoire pour les retranscrire sur SIG. Les usages concernent principalement la réalisation de transects de plage, mais également le repérage de linéaires de traits de côte.

Les **suivis photographiques** ou les suivis par vidéo visent « *à établir des successions de prises de vues, faites à partir d'un même point d'observation depuis le sol et selon la même direction, à des intervalles réguliers* » (*BRGM, 2012*). Ils permettent de repérer les évolutions notables de la morphologie et d'en repérer les temporalités. Il est cependant impossible de connaitre les volumes d'évolution.

La **photogrammétrie** consiste à réaliser de nombreuses photographies d'un même espace selon plusieurs angles de vues en ayant des repères fixes toujours dans l'axe. Cette méthode permet de réaliser un Modèle Numérique de Terrain de la zone photographiée. Réaliser à plusieurs reprises cette opération permettra de connaitre les variations de position et de volume de la zone ou élément observée. Il s'agit d'une méthode qui est beaucoup utilisée pour le suivi des falaises (cas des falaises des Vaches Noires dans le Calvados).

2.1.4. Des informations sur le trait de côte et l'estran

De nombreuses bases de données permettent d'avoir des informations sur le **domaine littoral**, et notamment sur le trait de côte et l'estran. Pour l'ensemble de ces données, à l'aide d'un SIG, j'ai utilisé les limites des secteurs préalablement définies, en les utilisant pour effectuer une découpe de la base de données à l'aide de l'outil « Intersecter ».

2.1.4.1. Données du ROLNP

A partir des **traits de côte digitalisés par le ROL** (*cf. Partie 2.1.3. Des informations sur les positions successives du trait de côte, p 135*), il est possible d'avoir des informations sur les traits de côte artificiels ou encore sur les natures de trait de côte.

Il est possible de connaitre la **nature des traits de côte** à partir de la table attributaire des 6 séries de traits de côte, à travers l'indicateur qui a été retenu par l'observateur du ROL. J'ai choisi l'indicateur du trait de côte de 2010 comme étant la nature du trait de côte actuel.

Pour recenser et étudier les **traits de côte artificiels**, j'ai choisi de retenir comme informations issues de la couche « trait de côte artificiel » l'identifiant unique de l'ouvrage, le type d'ouvrage (perré, enrochement, …), l'orientation de l'ouvrage, l'année d'observation la plus ancienne, l'année la plus récente où l'ouvrage est toujours visible, et la longueur de cet ouvrage. Pour compléter ce recensement des ouvrages artificiels, j'ai numéroté les ouvrages du Nord au Sud. Ils sont au nombre de 12 sur le secteur Ouest et de 31 sur le secteur Est. Enfin, la localisation a été précisée dans une nouvelle colonne.

Il est intéressant de connaitre la nature des traits de côte car de celle-ci peut dépendre la dynamique d'évolution. Un trait de côte artificiel sera plus stable qu'un cordon dunaire. Les traits de côte végétalisés ou non traduisent également des dynamiques différentes, plus ou moins rapides. Connaitre la nature des ouvrages artificiels est également important par rapport aux conséquences qu'elles présentent sur le voisinage et sur l'ensemble des processus.

Les données sur les traits de côte des secteurs d'étude sont présentées en *Partie 1.3.1. Les traits de côte : des longs cordons dunaires, des tronçons végétalisés et des traits de côte artificialisés, p. 66*.

2.1.4.2. Données sur les natures d'estran

Les **natures d'estran** du département de la Manche ont été numérisées par la Direction Départementale de l'Equipement (DDE) de la Manche en 2009 à partir des données de l'atlas POLMAR de la Manche (*CEDRE, 1995*) et d'observations de terrain. Cette base de données est disponible sur le portail de l'IFREMER sous l'identifiant DDE50_ESTRAN_P. Les natures d'estran sur les secteurs d'étude ont été présentées dans la *Partie 1.3.2. Des estrans de sables moyens et des platiers rocheux sur la façade Ouest ; des sables fins, des sédiments vaso-sableux et du schorre à l'Est, p. 99*.

Les estrans peuvent être de natures très variables, même entre deux espaces spatialement proches. Il s'agit d'un indicateur important pour l'étude des littoraux, et la répartition granulométrique des sédiments renseigne sur les processus hydrodynamiques et les sédiments disponibles au large et au voisinage.

2.1.5. Des informations sur l'arrière-littoral

Pour avoir une connaissance globale sur un système littoral, il importe de compléter les informations sur le domaine océanique et la bande littorale par des **informations sur l'arrière-littoral** (ou hinterland). Les informations préalables à connaitre en termes de **géographie physique** concernent la géologie, la topographie et les zones basses. Pour une **approche des enjeux** et éléments exposés, il faut avoir des données sur la population et l'occupation du sol.

L'ensemble de ces éléments de base ont été présentés pour les secteurs dans les parties *1.1. Des contextes physiques distincts : le Golfe normand-breton et la Baie de Seine, p. 28* et *1.4.* Les enjeux dans la bande littorale : des espaces peu mis en valeur et des zones de concentration de population et d'activités*, p. 105).*

2.1.5.1. Données sur les éléments exposés

Pour repérer les éléments exposés sur les zones d'étude la BD TOPO 2018 de la Manche produite par l'IGN a été utilisée. Cette base de données est composée de **nombreuses couches d'informations**.

Des **informations communales** sont indiquées (population, arrondissement). Les **bâtis** sont décomposés selon plusieurs types (bâti indifférencié, bâti remarquable, bâti industriel, construction légère), de même que la **voirie** selon l'importance hiérarchique (primaire, secondaire) ou le type (route, chemin, sentier). Les cours d'eau, points d'eau ou zones de végétation sont aussi répertoriés. Les **PAI** (Points d'Activité et d'Intérêt) sont également localisés et triés. Il existe des PAI administratif-militaire, culture-loisirs, santé, science-enseignement, industriel-commercial, transport, sport ou encore religieux. Chaque couche fait l'objet d'une **table attributaire** où sont recensés, entre autres, la nature, les coordonnées et la taille (hauteur, longueur, surface).

Pour présenter les éléments exposés, j'ai fait le choix d'une **cartographie de la bande littorale des 1000 m** pour avoir une carte lisible et se concentrer sur l'espace arrière-littoral. Pour les études statistiques qui en découlent, quatre zones ont été retenues, les bandes littorales des 1000 m, des 500 m, des 200 m et des 100 m à partir du trait de côte de 2017, digitalisé à partir des données LIDAR 2017. Ces limites ont été choisies pour permettre d'avoir une vision à différentes échelles temporelles des enjeux et pour avoir une idée de la répartition des éléments dans l'arrière-littoral. La bande littorale des 100 m fait référence à la Loi Littoral de 1986 qui limite les constructions dans cet espace.

La présentation des éléments exposés sur les secteurs d'étude a été réalisée dans la *Partie 1.4.4. Des éléments exposés inégalement répartis au sein des secteurs, p. 121*.

2.1.5.2. Données sur les Modes d'Occupation du Sol

Les **Modes d'Occupation du Sol** (MOS) sont repérables de plusieurs façons. Il est possible de faire un repérage manuel en parcourant la zone d'étude ou en observant les photographies aériennes. Cette méthode s'avère être la plus convenable car la plus précise dans le cas de zones de faible surface mais n'est pas envisageable dans le cas de grands espaces d'étude.

Plusieurs bases de données sur les MOS sont disponibles sur l'ensemble de la Métropole ou de la Terre. Il s'agit la plupart du temps d'interprétation automatique à partir de la couleur d'images aériennes prises par des satellites. La plus utilisée en France est le **CORINE Land Cover**, il s'agit d'une

base de données européenne dont 4 versions ont été réalisées de 1990 à 2012. Elle est issue d'une « *interprétation visuelle d'images satellitaires* » (*data.gouv.fr*). Sa nomenclature est détaillée en 3 niveaux principaux. Elle n'est pas spécialement adaptée aux littoraux, il n'y a par exemple pas de catégorie spécifique à la végétation dunaire qui appartient à la thématique des landes et broussailles.

D'autres bases de données existent spécialement pour les littoraux, avec une nomenclature plus adaptée, c'est le cas de l'Inventaire Permanent du Littoral (IPLI) et de la **Littomos**. L'IPLI a été réalisé en 1977 et en 1982 sur l'ensemble du littoral français et visait à recenser les MOS sur ces espaces. Il n'y a pas eu de de mise à jour de cet IPLI depuis 1982, ce qui rend les valeurs trop anciennes pour être traitées aujourd'hui.

La BD Littomos est une réactualisation de l'IPLI, réalisée sur la demande du MEDDE entre 2000 et 2006 sur l'ensemble du littoral. Il y a eu « *adaptation de la nomenclature CORINE Land Cover pour la base de données de l'IPLI* » (*CETE Normandie-Centre, 2008*), la nomenclature est donc plus adaptée que celle du CLC. Cette base de données est disponible sur la plate-forme Géolittoral. Pour la Basse-Normandie, les données datent de 1995, elles sont donc anciennes mais permettent d'avoir un ordre d'idée sur les MOS.

Dans le cadre de cette étude, j'ai choisi de développer les méthodes du CORINE Land Cover et de la Littomos avec une **priorité pour la BD Littomos** en raison de sa plus grande précision et de sa vocation littorale. Cependant, la version Littomos datant de 1995, j'ai également réalisé une étude des MOS en 2012 à partir de la dernière version du CORINE Land Cover.

J'ai effectué un découpage de ces MOS par les limites des secteurs et selon les bandes littorales des 1000, 500, 200 et 100 m par rapport au trait de côte de 2017. Dans les tables attributaires des MOS, j'ai ajouté une colonne par bande littorale et indiqué par 0 ou 1 selon la présence ou non de la MOS dans la zone. Pour chaque entité, j'ai ensuite calculé la surface (en m²). Pour connaitre les totaux et les pourcentages de chaque type de MOS de chacune des bandes littorales, il est intéressant d'élaborer un tableau croisé dynamique. L'idée est de connaitre la répartition des MOS à certaines distances du littoral.

Les documents produits sont des graphiques des pourcentages des MOS pour chaque bande littorale et une cartographie générale de chacun des secteurs. Ces MOS de 1995 et 2012 sont détaillées dans la *Partie 1.4.3. Des Modes d'Occupation des Sols et des enjeux en évolution dans le temps, p. 113*.

2.1.5.3. Données sur la géologie

Les informations sur la **géologie** sont disponibles sur la plate-forme Infoterre du BRGM. Une base de données au format *shape (.shp)*, utilisable sous des logiciels de SIG, est disponible. Cette base de données apporte des indications sur la nature des roches, leur période géologique de formation, ou encore leur datation. J'ai choisi de retenir l'indicateur « *Description géologique* » pour mon étude, ainsi que les datations.

A partir de cette base de données, une **carte géologique du Cotentin** et **des deux secteurs d'étude** ont pu être réalisées. La géologie a ensuite pu être traitée au sein de la bande littorale des 1000 m pour connaitre les taux de chaque nature de géologie au sein des secteurs à l'aide de la réalisation de tableaux croisés dynamiques.

Connaitre les taux de chaque type de géologie permet d'avoir des indications concernant la dureté des roches et les possibilités d'érosion ou d'infiltration de l'eau. Les données sur la géologie sont présentées dans la *Partie 1.1.2. Géologie et géomorphologie du Cotentin : le massif armoricain à l'Ouest et l'extrémité du bassin sédimentaire à l'Est, p. 39*.

2.1.5.4. Données sur les zones basses

Les **zones basses** sont un « *indicateur pertinent pour connaitre la vulnérabilité des territoires littoraux aux submersions marines* » (*Pehrerin, 2009*), il s'agit dans le cas de cette étude des zones topographiques situées sous le niveau marin centennal.

La base de données **N_zb_France_shape** a été réalisée par le CETE Méditerranée et le DREC / Service hydraulique en 2009. Elle est disponible sur la plate-forme Géolittoral. Sa vocation est d'être « *une base pour la détermination des zones vulnérables à l'aléa submersion* marine » (*Pehrerin, 2009*).

Pour élaborer cette couche, 3 bases de données ont été utilisées. Il s'agit du **trait de côte Histolitt** (IGN-SHOM) qui définit le trait de côte comme « *laisse des plus hautes mers astronomiques de coefficient 120, avec des conditions météorologiques normales* » (définition du SHOM), du **Modèle Numérique de Terrain de la BD TOPO Pays** de l'IGN, et de la **cote de mer de référence**.

Les altitudes issues du MNT de la BD TOPO Pays sont indiquées par pas de 1 m (de 0.5 à 11.5 m) pour permettre « *le croisement avec d'autres données* » (*Pehrerin, 2009*).

Les **submersions marines**, qui sont l'objet principal de la couche des zones basses, se définissent comme des « *inondations temporaires de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologique (forte dépression et vent de mer) et marégraphique sévères provoquant des ondes de tempête. Elles envahissent en général des terrains situés en dessous du niveau des plus hautes mers mais aussi parfois en dessus si des projections d'eau marine franchissent des ouvrages de protection* » (*Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement, 1997*).

Elles sont dues « *à la rupture ou à la destruction d'un cordon dunaire à la suite d'une érosion intensive ; au débordement ou à la rupture de digues ou d'ouvrages de protection, ou encore à leur franchissement exceptionnel par des paquets de mer ; à des vagues de fortes amplitudes provoquées par des glissements sous-marins* » (*MATE et METL, 1997*).

L'aléa centennal est le « *niveau marin extrême de période de retour 100 ans* ». Pour le cartographier, « *on superpose la cote du plan d'eau retenu à la topographie, pour cartographier les espaces continentaux situés à une altitude inférieure à la cote de référence. On en déduit les hauteurs d'eau* » (*Pehrerin, 2009*).

Plusieurs types de zones basses sont distinguées. Il y a les zones situées sous le niveau marin centennal (ZBNM100), les zones situées sous le niveau marin centennal moins 1m (ZBNM100-1m), et les zones situées sous le niveau marin centennal plus 1m (ZBNM100+1m). Les niveaux d'occurrence d'aléa ont été définis (faible, moyen, fort).

Il faut préciser que les zones basses ne tiennent pas « *compte de la microtopographie ou des autres éléments qui ralentissent l'écoulement* » (*Pehrerin, 2009*). Elles nécessitent donc des **études précises localement** dans le cadre d'aménagements.

La base de données présente également les zones qui seraient **potentiellement exposées en 2100**. La valeur qui a été retenue comme « *valeur d'élévation du niveau marin* » à cette échéance est de 1 m, indiquée par le rapport du GIEC de 2007.

Pour étudier les zones basses sur les **secteurs d'étude**, il a fallu commencer par découper la couche selon les limites du secteur, dans une bande de 1000 m côté mer et 200 m côté terre par rapport au trait de côte de 2017. Ces distances ont été retenues pour étudier simplement les zones

basses littorales et non les zones situées plusieurs kilomètres en arrière, qui ne peuvent pas être soumises à la submersion marine. Une bande de 200 m côté mer a également été retenue pour parer aux différences de définition du trait de côte entre celui digitalisé à partir des données LIDAR et le trait de côte Histolitt qui a servi de base à cette couche. Ensuite, la surface de chaque zone basse a été calculée et un tableau croisé dynamique a pu être réalisé pour connaitre les surfaces pour chaque niveau d'occurrence de l'aléa (faible, moyen, fort).

2.1.6. Conclusion de partie

De **nombreuses données et sources d'information** sont disponibles sur le domaine du littoral. Il faut donc savoir faire le tri et connaitre les organismes producteurs pour connaitre la précision et l'objectif initial de ces données.

Ce mémoire se base sur une **approche diachronique de la position du trait de côte**. Ces traits de côte ont été interprétés par le ROL à partir de **6 photographies aériennes de 1947 à 2010**, et celui de **2017** a été **digitalisé à partir d'un relevé LiDAR**.

Le littoral étant un **système**, de **nombreux éléments** sont à prendre en compte car en **interaction**. C'est le cas d'informations sur le trait de côte et la partie marine, ainsi que sur la partie arrière-littorale (géographie physique et occupation du sol). Des données sur ces éléments ont été traitées pour chaque secteur pour connaitre les spécificités.

2.2. La méthode de la segmentation par boîte : utilisation pour l'évolution du trait de côte et la combinaison d'informations sur le littoral

2.2.1. Principes de la segmentation par boîte et utilisation dans le mémoire

2.2.1.1. Différentes méthodes de segmentation aux applications variées

La **segmentation** consiste à découper géométriquement un espace en tronçons, segments ou polygones, de mêmes longueurs ou surfaces. Le but est d'obtenir des **espaces de tailles similaires**, qui peuvent être comparés dans le cadre d'une étude. Des conclusions pourront être tirées sur les **rapports entre différentes variables** au sein d'un espace géographique réduit.

Dans le cadre de ce mémoire, la segmentation visera à définir les rapports entre l'évolution du trait de côte et des variables telles que les éléments exposés en arrière-littoral ou dans les zones basses.

Il existe **plusieurs méthodes de segmentation** pour repérer l'évolution du trait de côte, les plus courantes sont la segmentation par carroyage (découpage en carreaux), par transect (linéaires identiques), par région (limites « réelles » physiques ou administratives) et par boite (polygone de même surface ou de même longueur) (*cf. Figure 138 : Tableau des différentes méthodes de segmentation en géographie, Juigner,* 2017).

2.2.1.1.1. La segmentation par boite pour étudier le littoral de manière systémique

La méthode suivie dans ce mémoire est la **segmentation par boite.** Elle est adaptée pour connaitre les **évolutions des positions de traits de côte** entre chaque date (1947, 1977, 1982, 1992, 2001, 2010 et 2017) et pour **étudier les rapports entre différentes variables littorales** sur les deux secteurs d'étude. Cette méthode a été étudiée ces dernières années en détail dans des travaux universitaires (*Juigner, 2017 ; Suzanne, 2018*). Ces travaux ont permis de voir la potentialité de cette méthode dans le cadre d'études sur les littoraux et les aléas côtiers.

Cette segmentation par boite a été définie par Juigner comme « *un* ***découpage continu et régulier de la côte à l'aide de polygones*** *(appelées boites) qui sont des unités spatiales pour une observation fine de processus locaux* ». Ces boites sont composées « *de quatre limites : deux transects perpendiculaires au trait de côte et deux limites longitudinales (une côté mer, une côté terre)* ». **La taille des boites « *est régulée par deux valeurs constantes****, la largeur (espacement entre les transects) et la profondeur de la boite* » (*Juigner, 2017*).

Dans le cas de cette étude, les transects perpendiculaires au trait de côte ont été réalisés à partir de la ligne de base et sont espacés de 50 m. Plusieurs profondeurs de boites ont été retenues selon la nécessité des variables mais la profondeur finale est de 400 m.

Les boites obtenues sont des polygones qui pourront intersecter d'autres couches d'informations sous SIG pour avoir une information de chaque type par polygone. Les indicateurs qui sont retenus dans ce travail sont l'évolution du trait de côte, les éléments exposés, les MOS, et l'ensemble des informations de types physiques et géomorphologiques sur ces tronçons côté mer et côté terre (estran, nature de trait de côte, géologie)

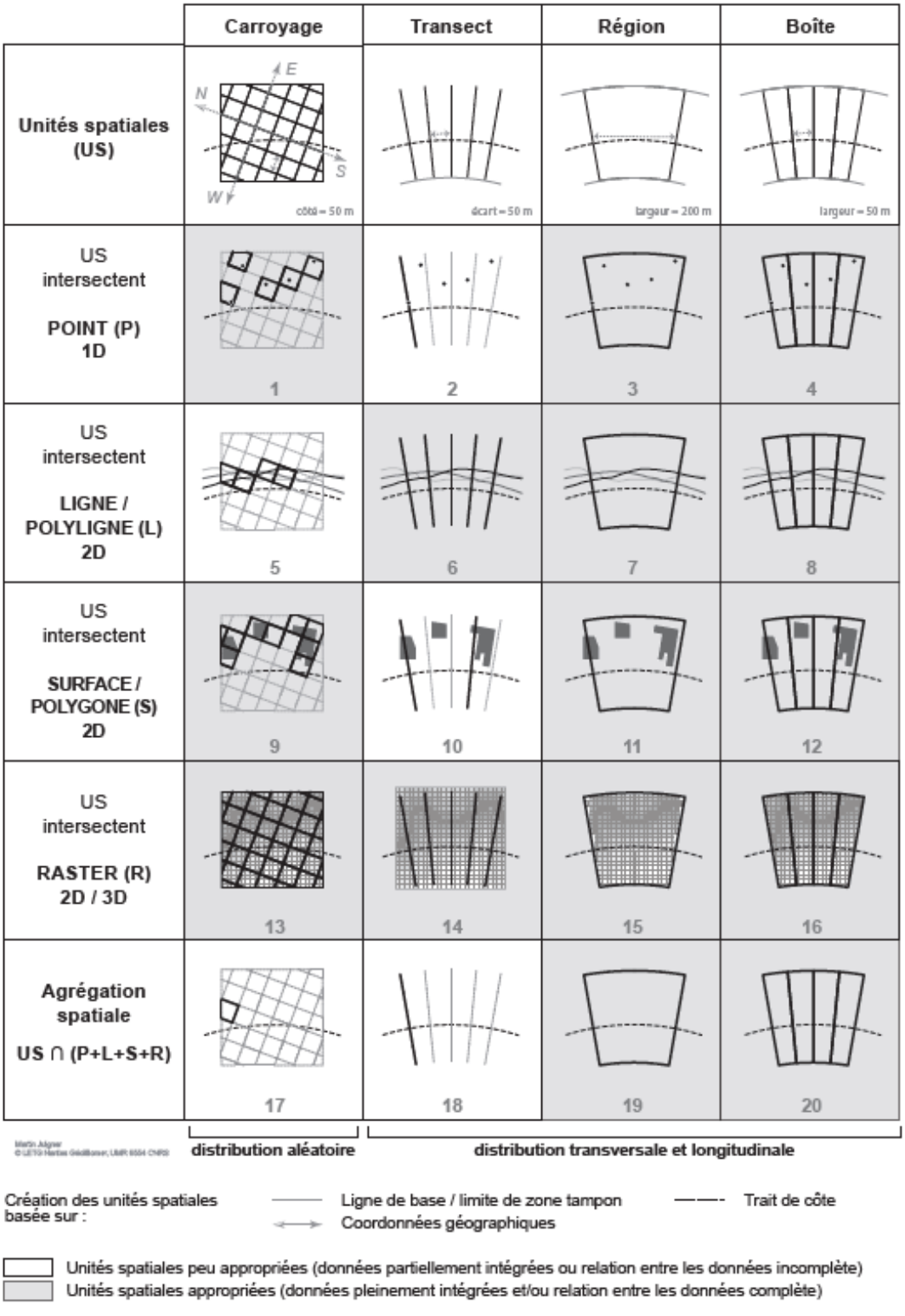


Figure 138 : Tableau des différentes méthodes de segmentation en géographie, Juigner, 2017

2.2.1.2. Une démarche précise à suivre pour la segmentation

Pour avoir une **information précise localement**, j'ai choisi de réaliser une segmentation par pas de **50 m**. Avant cette segmentation, un travail de préparation des données est nécessaire.

2.2.1.2.1. Préparation de la base de données

Sur un logiciel de SIG, il faut s'assurer **que les traits de côte soient continus** sur l'ensemble de la zone d'étude et que les limites de celle-ci soient les mêmes pour tous. Il a d'abord fallu tracer sous SIG les limites précises des deux secteurs d'études (*cf. Partie 1.1.1. Présentation géographique des secteurs d'étude, p 28*). Ces limites serviront de points de découpe aux autres données.

Comme expliqué précédemment (*cf. Partie 2.1.3.3.2. p 138*), j'ai utilisé les traits **de côte digitalisés par le ROLNP** à partir de photographies aériennes de 1947, 1977, 1982, 1992, 2001 et 2010. J'ai complété les tronçons vides en les digitalisant à partir de la base de données des traits de côte artificiels ou de photographies aériennes et en fusionnant l'ensemble pour obtenir un trait de côte continu et uni.

Dans un second temps, j'ai digitalisé le **trait de côte de 2017 à partir des données LIDAR** recensées par le ROLNP (*cf. Partie 2.1.3.4.2. Le trait de côte de 2017 à partir des données LIDAR du ROLNP, p. 141*), ce trait de côte est continu et suit les mêmes limites que les précédents.

L'objectif est de parvenir à une base de données « propre » avec **7 traits de côte continus** pour limiter les erreurs de l'étude et avoir une **étude sur 6 périodes**.

Figure 139 : Image du menu du logiciel MOBITC, capture d'écran, P. EMILE

2.2.1.2.2. Réalisation des traces espacées de 50 m

Pour réaliser la segmentation, j'ai utilisé le logiciel **MOBITC** développé par le CEREMA Direction Territoriale Méditerranée. Il s'agit d'un logiciel spécifique à l'étude des littoraux, permettant de réaliser des transects espacés de la distance souhaitée, dans le but d'étudier la **mobilité du trait de côte dans le temps**. Une notice de ce logiciel a été réalisée sur *wikhydro.developpement-durable.gouv.fr* et est très utile pour comprendre le fonctionnement du logiciel.

Il faut commencer par choisir les traits de côte observés, j'ai donc sélectionné les **traits de côte de 1947, 1977, 1982, 1992, 2001, 2010 et 2017**, ces traits de côte devant se présenter sous le format MapInfo (.mif). Sur le logiciel MOBITC, il faut commencer par créer une enveloppe qui recouvre l'ensemble des traits de côte, ensuite il faut créer un squelette à partir de cette enveloppe puis effectuer un « nettoyage » et une fusion des éléments obtenus. Le but est de parvenir à une **ligne de base** homogène qui va moyenniser les positions des traits de côte étudiés. Cette ligne de base doit être orientée, pour cela j'ai utilisé la BD GEOFLA Département. Le but de cette orientation est principalement d'indiquer au logiciel où se situe la partie marine.

A partir de la ligne de base, les **traces** peuvent alors être créées sous MOBITC. Il s'agit de **segments perpendiculaires à la ligne de base** et qui sont, dans le cadre de ce mémoire, **séparées de 50 m**. J'ai réalisé des segments aux longueurs différentes (50, 100, 200, 400, 1000 m), à

partir de la même ligne de base, pour répondre aux différents besoins selon les variables étudiées. Quelques soient leurs longueurs, ces segments ont toujours la même position, leurs longueurs ne servant qu'à délimiter les boites pour la segmentation (profondeur de la boite).

2.2.1.2.3. Réalisation des boites de la segmentation

Les boites utilisées pour la segmentation étant composées de « *deux transects perpendiculaires au trait de côte et deux limites longitudinales (une côté mer, une côté terre)* », celles que j'ai réalisées ont une **largeur de 50 m** et une **profondeur variable** selon les indicateurs étudiés. Comme précisé précédemment, la profondeur finale retenue pour la représentation est de 400 m.

Pour réaliser les boites sous SIG, j'ai donc utilisé les traces espacées de 50 m obtenues avec le logiciel MOBITC. Pour fermer les polygones, une zone tampon de la largeur souhaitée a été réalisée (200 m autour de la ligne de base). Cette zone-tampon a ensuite été découpée par les traces pour obtenir des polygones de largeurs et de profondeurs égales sur l'ensemble des deux secteurs d'étude.

Ces boites ont été numérotées du Nord au Sud de chaque zone pour plus de simplicité en ajoutant un nouveau champ « *num_boite* ». Sur le secteur Ouest, il y a 219 boites et à l'Est, 267 boites. Elles serviront de base pour effectuer les jointures avec les informations des différents indicateurs.

2.2.2. L'intérêt de la segmentation pour la compréhension de l'évolution de la position du trait de côte entre 1947 et 2017 : présentation méthodologique

2.2.2.1. Le trait de côte : une évolution non linéaire dans le temps et dans l'espace

Le trait de côte n'est **pas un élément figé**, sa position varie dans le temps, selon plusieurs échelles. A une échelle séculaire ou millénaire, à une échelle saisonnière ou à l'échelle d'un événement météo-marin. Il est important de **raisonner sur un temps long**, voire très long pour l'étude des littoraux, mais surtout de ne pas prendre en compte que les données moyennes mais les événements ponctuels, d'occurrence faible et aux conséquences importantes. L'étude des **rythmes d'évolution** présente alors un intérêt. En effet, « ce *sont les événements météo-marins de faible-fréquence et de forte magnitude, d'occurrence aléatoire, qui sont à l'origine des pics d'érosion, susceptibles d'entrainer des reculs irréversibles pour les plages* » (*Paskoff et Clus-Auby, 2007*).

Il faut aussi étudier les évolutions d'un **point de vue spatial**, c'est-à-dire observer les effets de voisinage qui peuvent jouer un rôle.

2.2.2.1.1. L'évolution du littoral : un processus normal et incontournable

Le littoral est un **système en équilibre dynamique**. De nombreux échanges ont lieu et ces échanges n'étant pas toujours identiques, sur un laps de temps réduit, il y a des différences entre les entrées et les sorties. A un pas de temps plus long, les différences diminuent et le système tend à maintenir un équilibre, notamment en raison de sa résilience. Le littoral connait en particulier des variations saisonnières en fonction des variations des paramètres hydrodynamiques. C'est pourquoi il est important de raisonner sur le temps long lors d'une étude de littoral.

A diverses échelles de temps, plusieurs paramètres vont influencer la morphologie littorale. Sur le temps long, le niveau marin connait des **transgressions et régressions**. Les transgressions marines sont dues à plusieurs paramètres qui provoquent des différences de plusieurs ordres de grandeur sur des périodes plus ou moins longues. L'**effet stérique**, fait se dilater l'eau par le réchauffement de l'atmosphère. La **destruction de la calotte glaciaire** causée par le réchauffement va faire s'élever le niveau de la mer. Sur des temps très longs, par le biais des mouvements tectoniques de la Terre, le bassin océanique connait des **variations de volume** qui vont influer sur la hauteur d'eau.

2.2.2.1.2. L'approche diachronique pour étudier l'évolution littorale

Les évolutions et les dynamiques passées permettent de mieux comprendre l'état actuel d'un espace et son évolution future.

Pour observer l'évolution historique sur un secteur, il faut adopter une **approche diachronique**, c'est-à-dire comparer un même espace à plusieurs dates. En effet, l'observation et la comparaison de documents réalisés à des dates différentes permet de remarquer les différences, et donc les processus en jeu.

Parmi les études diachroniques, plusieurs échelles de temps sont envisageables, l'étude sur le temps long (quelques décennies) ou sur un temps plus court (avant et après un événement). On peut notamment citer la comparaison entre des photographies aériennes du littoral d'époques différentes, des photographies (cartes postales, …) et des photographies actuelles. A une échelle de temps plus fine, je vais réaliser des comparaisons de photographies prises en un même endroit dans des contextes différents (forts coefficients de marée, marée haute et marée basse, avant et après une tempête, l'hiver et l'été). Le littoral étant un ensemble en constante transformation, la comparaison de plusieurs photographies permet de se rendre compte des différents états successifs.

Mon objectif est de **comparer la position du trait de côte à différentes dates** pour connaître les rythmes. Plusieurs indicateurs sont envisageables.

Les éléments artificiels bétonnés peuvent s'avérer être de bons points de comparaison. En effet, les blockhaus, les perrés, les digues permettent de se rendre compte des changements de hauteurs de sable sur la plage. Cependant, il ne faut pas forcément s'y fier pour une comparaison sur le temps long puisque ces éléments peuvent être déplacés en raison de tempêtes ou de destruction et reconstruits plus loin.

Pour une approche diachronique cohérente, il est indispensable de **garder les mêmes définitions** du trait de côte et d'observer les mêmes éléments à deux périodes différentes.

2.2.2.1.3. La segmentation appliquée à l'évolution du trait de côte

La méthode de la segmentation prend pleinement sa place dans **l'étude des littoraux**. Elle permet de traiter des informations sur des tronçons de tailles réduites et ainsi d'obtenir des **données précises localement**.

Dans le cas de la position du trait de côte, le fait de choisir des pas de 50 m permet de minimiser les erreurs ou effets de tailles dues à des valeurs très fortes localement qui ne se retrouvent pas ailleurs. L'approche diachronique, à plusieurs dates, dans des tronçons réduits se justifie alors. « *Seul un suivi accru de l'évolution des côtes basses sableuses permettra de mieux prévoir la position future du trait de côte en apportant des éléments de validation aux codes numériques utilisés à ces fins* » (*Levoy, 1994*).

Cette segmentation peut servir à la fois pour **l'évolution historique** et **l'évolution future**. Elle permet de représenter les rythmes d'évolutions sur des tronçons assez fins entre chaque date d'observation du trait de côte.

Pour chaque tronçon de 50 m, **des indicateurs** seront créés ensuite à partir de plusieurs informations. Il s'agit notamment de l'évolution entre deux dates, des éléments exposés dans la zone arrière-littorale et d'autres informations géomorphologiques.

A partir de ces indices, **des cartographies et des analyses** pourront être réalisées concernant l'aléa sur une période donnée, les enjeux actuels, ou encore l'évolution future.

2.2.2.2. La méthode des polygones d'évolution à partir des tronçons de 50 m

2.2.2.2.1. Réalisation des polygones d'évolution

A partir des **7 positions successives du trait de côte entre 1947 et 2017**, il est possible de connaitre les évolutions pendant chaque période. Il faut alors tracer des polygones représentant les **surfaces d'évolutions** entre deux positions successives. Les limites de ces polygones sont constituées par les traces espacées de 50 m réalisées en amont, ou par les croisements de traits de côtes internes aux boites quand c'est le cas.

2.2.2.2.2. Quantification des évolutions du trait de côte

A partir des polygones d'évolution, la géométrie peut être calculée dans la table attributaire pour obtenir la **surface d'évolution** (en m²). La surface n'étant pas suffisante, il faut connaitre le **type d'évolution** et savoir si elle est positive (accrétion) ou négative (érosion). Ce repérage se fait manuellement, et pour chaque polygone, il faut indiquer dans la table attributaire le type d'évolution sur la période dans un nouveau champ. Les valeurs des surfaces d'évolution des tronçons en érosion devront alors être transformées en valeurs négatives.

A partir des surfaces d'évolution, en connaissant la largeur des boites (50 m) il est possible de connaitre **l'évolution linéaire** (en m), et ainsi, en connaissant la période entre les deux traits de côte, on peut connaitre **l'évolution annuelle** (en m/an).

J'ai choisi de ne pas utiliser les données d'évolution au niveau du Cap du Rozel et du Sud du Cap de Flamanville. L'évolution sur ces tronçons rocheux n'est pas comparable aux évolutions sur les autres secteurs aux formes d'accumulation, et il ne me semblait pas judicieux de les intégrer à l'étude.

2.2.2.2.3. Ajouter l'information sur les rythmes d'évolution dans les boites

Pour chacune des boites, **plusieurs polygones** auront alors été créés en raison des croisements entre les traits de côtes. Il faut alors fusionner ces polygones tout en gardant les valeurs et les types d'évolution (érosion ou accrétion).

Il faut intersecter la couche des polygones d'évolution et celle des boites numérotées. Dans la table attributaire des polygones d'évolution, il sera alors indiqué le numéro de la boite dans laquelle il se situe. A partir de l'outil « Récapituler » du logiciel de SIG, les évolutions (surface, linéaire et annuelle) de chaque polygone d'une même boite seront additionnées en prenant en compte le type d'évolution. Ainsi, les données d'évolutions seront à l'échelle de **boites de 50 m de large** et seront moyennisées. Les boites étant de largeurs égales, une comparaison peut alors être effectuée.

Pour finir, j'ai effectué une jointure attributaire à partir du numéro de la boite entre la couche « *Boite* » de base et les résultats obtenus dans le tableau « *Récapituler* ».

Pour parer à la **marge d'erreur due à la digitalisation**. Il ne faut pas se contenter des deux types d'évolution que sont l'érosion et l'accumulation. J'ai choisi de rajouter le type « **équilibre dynamique** » pour les tronçons dont l'évolution annuelle est inférieure à 20 cm/an. Les calculs étant faits de manières précises, même les tronçons « stables » présentent des valeurs légèrement positives ou négatives.

Une première classification se fait alors en 3 types que sont l'érosion, l'équilibre dynamique et l'accrétion.

Les valeurs d'évolutions étant hétérogènes, pour chaque période, j'ai réalisé une classification plus détaillée en **9 classes d'aléas** (*cf. Figure 140 : Légende de la classification des évolutions annuelles des positions de trait de côte, P. EMILE, 2019*). Ces classes respectent une sémiologie graphique adoptée avec des graduations de couleurs du vert foncé au rouge foncé.

Figure 140 : Légende de la classification des évolutions annuelles des positions de trait de côte, P. EMILE, 2019

Les limites des classes sont inspirées d'autres travaux d'étude sur l'évolution de littoraux aux formes d'accumulation (*cf. Juigner, 2017 et Suzanne, 2018*). Les écarts entre les champs sont relativement importants mais prennent en compte l'amplitude des valeurs recensées sur les secteurs d'étude.

Selon les études, les secteurs observés ne connaissent pas les mêmes rythmes et les valeurs des classes retenues ne seront donc pas les mêmes.

2.2.2.3. Représentation de l'information

Les informations obtenues permettent de connaitre l'évolution sur le temps long, pour une période de 70 ans entre 1947 et 2017. Au sein de cette longue période, les rythmes peuvent être connus entre 7 dates successives. Cela permet une étude à **plusieurs échelles temporelles** sur des tronçons d'emprises spatiales réduites et identiques. Les **valeurs d'évolution sont alors comparables**.

Des cartographies et des synthèses à partir des valeurs d'évolutions sont réalisables et sont présentées en *Partie 3.1. L'évolution du littoral de 1947 à 2017 : une érosion globale sur le secteur Ouest-Cotentin et un équilibre dynamique sur le secteur Est-Cotentin, p. 164*.

Une cartographie de **l'évolution annuelle entre 1947 et 2017** a été faite à partir de la ligne de base des traits de côte et en respectant la classification détaillée précédemment.

La cartographie des **rythmes d'évolution entre 1947 et 2017** a été réalisée à partir de 6 lignes de base du trait de côte du secteur d'étude qui sont placées côte à côte pour pouvoir être comparées. Chacune de ces lignes renseigne sur l'évolution pendant une période. Il faut lire ce document de manière horizontale pour connaitre les successions de rythmes dans le temps d'après la classification en 9 niveaux. Quelques graphiques représentant les variations d'évolutions annuelles à certains endroits sont intégrés à la cartographie. Le but est de regrouper l'information sur un même document et de montrer à la fois les variations temporelles et spatiales des évolutions sur les deux secteurs d'étude.

Ces documents ont été réalisés à partir des données obtenues d'après le logiciel MOBITC après traitement sous SIG et tableur, puis mis en page sur un logiciel de dessin. Il est important que ces documents respectent une **échelle assez fine** pour permettre de distinguer l'ensemble des tronçons (219 et 267 sur plus de 10 km selon les secteurs).

2.2.3. Création d'indicateurs pour la segmentation

2.2.3.1. Informations sur le trait de côte

Les traits de côte étant de natures variées et ces natures pouvant expliquer les évolutions des traits de côte, j'ai inclus la **nature du trait de côte** comme un indicateur dans la segmentation par boite. A partir d'un découpage selon les limites des boites, puis d'un calcul des linéaires (en m) de chaque type de trait de côte dans chaque boite de 50 m de large, j'ai pu connaitre les taux d'occupation (en %) de chaque nature de trait de côte dans chaque boite. La base de données obtenue constitue alors un indicateur qui peut être intégré à l'étude par segmentation par une simple jointure.

Des informations ont été récoltées sur les **ouvrages artificiels** et leurs différentes natures (*cf. Partie 1.3.1.3. Les traits de côte artificiels, p 81*). Un indicateur peut être créé à partir des différentes natures de trait de côte artificiel (perré, enrochement, épis, cales). En effet, la nature d'un ouvrage artificiel va influer sur l'évolution en amont ou en aval. De la même manière que pour les natures de traits de côte, j'ai réalisé une base de données informant sur les taux d'occupation de chaque nature d'ouvrage artificiel dans chaque boite.

2.2.3.2. Information sur les enjeux

Les enjeux peuvent être étudiés sous l'angle des **éléments exposés**. Pour cela la BD TOPO 2018 de la Manche est bien adaptée (*cf. Partie 2.1.5.1. Données sur les éléments exposés, p 145*). Selon le nombre de bâtis d'habitation, de bâtis industriels, de voirie, ou encore de Points d'Activité et d'Intérêt (PAI), des classes peuvent être créées.

J'ai fait le choix de créer des zones tampon à **4 distances côté terre du trait de côte de 2017** (100, 200, 500 et 1000 m) pour étudier les éléments situés dans ces zones. Chacune de ces zones tampons est découpée selon les limites des boites principales. Il s'agit de nouvelles boites de profondeurs différentes qui pourront être croisées aux boites principales.

Le but est de voir s'il y a un effet littoral dans l'emplacement des éléments exposés et si ceux-ci sont nombreux dans les zones les plus impactées par l'érosion, et donc potentiellement concernés par l'aléa dans un avenir proche.

Pour intégrer ces enjeux à la segmentation, il a d'abord fallu intersecté les couches des boites des 4 longueurs différentes et celle des boites numérotées de base pour adopter la même numérotation. Dans un second temps, il a fallu intersecté les couches des boites des différentes longueurs avec les couches des différents éléments de la BD TOPO. A partir de là, en utilisant l'outil Récapituler sur un logiciel de SIG, le nombre total et la surface (ou longueur) des éléments exposés pour chaque boite peuvent être connus. Cette **base de données de l'ensemble des éléments exposés** sur les secteurs d'études, indique, pour chaque boite, le nombre d'éléments et la surface (ou longueur) occupée dans chacune des 4 bandes littorales.

Les résultats se présentent sous forme de cartographie, de graphiques ou de tableaux (*cf. Partie 1.4.4. Des éléments exposés inégalement répartis au sein des secteurs, p 121)*.

Les **Modes d'Occupation des Sols** (MOS) peuvent également prendre part à la segmentation sous l'angle des enjeux. Ces MOS sont digitalisés dans les BD Littomos (1995) et CORINE Land Cover (2012) (*cf. Partie 2.1.5.2. Données sur les Modes d'Occupation du Sol, p 145*). A partir de ces données et des boites réalisées à différentes distances du trait de côte, il est possible de calculer la surface (en m²) de chacun, et en connaissant la surface des boites, de calculer les taux d'occupation (en %) de chaque nature.

2.2.3.3. Autres informations physiques, géomorphologiques présentes dans les boites : taux d'occupation de chacun

L'ensemble des bases de données présentées précédemment apparaissent intéressantes à **traiter comme indicateurs** dans la segmentation (*Partie 2.1.4. Des informations sur le trait de côte et l'estran, p 144 et Partie 2.1.5. Des informations sur l'arrière-littoral, p 145*).

En utilisant les **mêmes méthodes** que pour les autres indicateurs, il sera possible de créer des bases de données sur la **géologie**, **l'estran** ou encore les **zones basses**. En croisant les bases de données brutes et les boites des bandes littorales côté terre (100, 200, 500 et 1000m pour la géologie et les zones basses) et côté mer (500 m pour les natures d'estran), puis en récapitulant les valeurs selon le numéro de la boite, il sera possible de connaitre les taux d'occupations des différents indicateurs au sein de chaque boite numérotée et donc de réaliser des classifications.

2.2.4. Croisement des informations à l'aide de la segmentation par boite

Pour chacune des bases de données obtenues, il suffit d'utiliser le numéro de boite pour faire les **jointures** avec les boites de base. Ce **croisement de données** permettra de rechercher les relations entre l'évolution du trait de côte et les différents indicateurs ou entre des **indicateurs à l'échelle des boites de 50 m de large**.

D'autres croisements de données sont envisageables, sans forcément recourir à la segmentation par boite. J'ai fait par exemple le choix d'étudier les **éléments exposés situés dans les zones basses** dans la bande des 1000 m. Cette étude permettra de connaitre le nombre d'éléments situés dans des zones soumises à divers niveaux d'aléas de différentes occurrences. Les résultats seront présentés dans la *Partie 3.2.2. Le bâti dans les zones basses, p 192*.

2.2.5. Conclusion de partie

Pour connaitre **l'évolution de la position du trait de côte entre 1947 et 2017**, j'ai fait le choix de la méthode de la segmentation. L'ensemble du trait de côte des deux secteurs a été découpé en tronçons de 50 m de large pour avoir des informations à l'échelle locale. Par calcul de la surface entre les positions de trait de côte, **les rythmes d'évolutions annuels** peuvent être renseignés pour chaque intervalle de dates disponibles.

Des **boites** ont été créées à partir de ces tronçons, selon différentes profondeurs (400, 1000 m) pour recenser d'autres informations issues des différentes données disponibles, dans le but de créer des **indicateurs** et d'avoir des **informations complètes sur les caractéristiques de chaque tronçon**. Il s'agit de la méthode de segmentation par boite, ces boites numérotées permettant le croisement d'informations.

2.3. L'intérêt des statistiques dans l'étude du système littoral

2.3.1. Des typologies pour simplifier l'information et créer des niveaux

2.3.1.1. Principe et méthode utilisée

Les données sont sous la forme de **tableaux d'information géographique**, ces tableaux se composent de nombreux individus (ou objets) et de plusieurs variables. Les données étudiées sont majoritairement des taux qui correspondent à des individus géographiques.

Pour étudier ce type de tableau, il faut effectuer des **statistiques multivariées**. Pour simplifier les bases de données, je vais chercher à réaliser des classifications. Le type de classification le plus adapté à ce type de valeurs est la **Classification Ascendante Hiérarchique** (CAH) pour rechercher les facteurs « explicatifs » de certains indicateurs tels que l'évolution du trait de côte. Il s'agit d'un regroupement sous forme d'un dendrogramme des individus ayant des caractéristiques similaires. Pour réaliser ces CAH j'ai utilisé le logiciel XLStat qui est une extension du tableur Excel.

Pour réaliser une CAH, il faut commencer par **déterminer le nombre de classes** souhaité. Pour cela, il faut réaliser des tests et repérer les variances intra-classe et inter-classe des typologies obtenues pour savoir si la classification est représentative ou non. Il est important d'avoir un nombre de classes suffisant pour que la typologie ait une signification. Au contraire, un trop grand nombre de classes avec peu d'individus au sein de chacune ne permet pas de simplifier la base de données et n'est pas représentative car les valeurs extrêmes vont fausser les résultats.

La CAH permet de distribuer chacun des individus dans une classe et présente les barycentres et les cas-types, ainsi que l'arbre de la typologie.

Il s'agit donc d'une méthode intéressante pour simplifier l'information, et ainsi la rendre compréhensible à travers la réalisation de cartes ou de graphiques.

2.3.1.2. Typologie des rythmes d'évolution du trait de côte

Précédemment, nous avons montré comment calculer les rythmes d'évolution du trait de côte pendant 6 périodes de 1947 à 2017 (*cf. Partie 2.2.2.2. La méthode des polygones d'évolution à partir des tronçons de 50 m, p 154*).

Ces données nécessitent d'être regroupées en classes. En effet, sur chacun des deux secteurs d'étude, il y a 219 et 267 tronçons, et 6 périodes sont étudiées. Cela fait donc de nombreux individus et variables à étudier pour comprendre les mêmes types (*cf. Figure 141 : Capture d'écran de la réalisation d'une CAH des rythmes d'évolution sous XLStat, P. EMILE, 2019*).

La réalisation d'une CAH permet de réaliser une **typologie des rythmes d'évolution** dans le temps sur chacun des secteurs. Les deux secteurs ne suivent pas la même typologie car les valeurs et les rythmes ne sont pas similaires dans les deux cas.

Pour déterminer le **nombre de classes**, j'ai effectué les tests pour 5 à 10 classes. La méthode d'agrégation que j'ai retenue est la Méthode de Ward et le type de proximité est la distance euclidienne car il s'agit d'un tableau de mesures. A partir des typologies obtenues, après comparaisons des taux de variances intra-classe et inter-classe, j'ai opté pour retenir 7 classes sur le secteur Ouest et 6 sur le secteur Est.

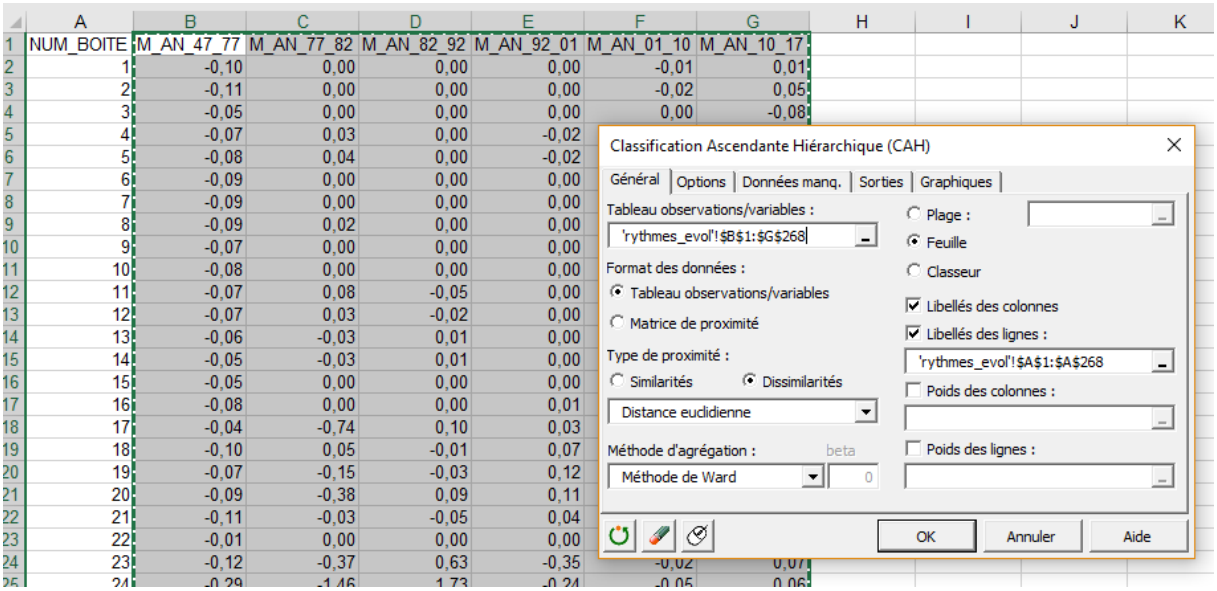


Figure 141 : Capture d'écran de la réalisation d'une CAH des rythmes d'évolution sous XLStat, P. EMILE, 2019

Ces typologies permettront de mieux **comprendre les rythmes d'évolution** et de créer un **nouvel indicateur** dans la segmentation pour chaque tronçon. Les cas-types sont représentés sous formes de graphique et seront ajoutés à la cartographie pour mieux distinguer les **similarités spatiales**.

2.3.1.3. Typologie des zones d'éléments exposés

Afin étudier en détail les éléments exposés, j'ai décidé de focaliser mon attention sur les **bâtis indifférenciés**, dont une partie importante concerne les habitations, sur les **bâtis industriels** qui représentent l'activité économique, et sur la **voirie** (routes secondaires). Pour simplifier les données, j'ai fait le choix de réaliser une **typologie de ces éléments exposés** dans les **bandes littorales des 100 m et des 500 m**. Ces distances par rapport au trait de de côte ont été retenues car permettent des visions à plusieurs échelles temporelles, et surtout permettent de comparer ce qui se fait en arrière immédiat du trait de côte et quelques centaines de mètres en arrière.

Pour élaborer cette typologie, je me suis servi de la base de données préalablement constituée avec les données par boites et par bande littorale, et j'ai ensuite réalisé une **CAH en 4 classes** pour les deux bandes littorales sur les deux secteurs d'étude. En effet, il est nécessaire de changer les limites de classes selon les données rencontrées. Pour élaborer la CAH, il a fallu au préalable centrer-réduire les données pour **éviter les effets de tailles** dans la typologie liés à la présence inégale de bâtis indifférenciés et industriels, les données sont alors placées sur un même ordre de grandeur.

J'ai ensuite pu décrire les **principales caractéristiques de chaque type** pour chacune des typologies et instauré un **gradient de couleur** pour la représentation dans les graphiques.

La représentation cartographique s'est faite en juxtaposant sur une même carte pour chaque secteur les **données pour les deux bandes littorales** étudiées (100 et 500 m) (*cf. Partie 3.2.1. Typologie des éléments exposés dans les bandes littorales des 100 m et des 500 m, p 185*).

2.3.2. Appréhender les interrelations entre variables à l'aide de la régression linéaire

2.3.2.1. Idée générale et objectif

Le littoral étant **un système**, ses éléments constitutifs sont en **interrelation** et la modification de l'un de ces paramètres aura des répercussions sur l'ensemble. Les éléments concernés sont les paramètres hydrodynamiques, physiques et géomorphologiques. Pour comprendre l'évolution de la position du trait de côte, il est important de repérer l'ensemble des éléments qui peuvent avoir un rôle. Les **variabilités d'évolution** s'expliquent en partie par les **variabilités des combinaisons**.

Pour cette recherche de **causalité d'évolution du trait de côte** et des **conséquences de l'évolution sur d'autres paramètres**, j'ai décidé de retenir trois éléments avec pour objectif de repérer si les liens qui semblent logiques entre deux éléments se vérifient par les statistiques et notamment par la méthode de la régression linéaire. Ces éléments sont la **géologie** dans la bande littorale des 1000 m, la **nature du trait de côte** de 2010 et la **nature de l'estran** dans la bande des 500 m côté mer. Les aspects hydrodynamiques et météorologiques ne seront pas traités en raison de l'échelle fine retenue pour l'étude. L'approche se réalisera à l'aide des **tronçons de 50 m obtenus par la segmentation**.

2.3.2.2. Le test de régression linéaire

La régression linéaire est un test statistique visant à repérer si les variations quantitatives d'une variable sont liées aux variations d'une autre variable. Si les variations de 2 variables sont totalement liées et évoluent de façon proportionnelle, on dit que les données sont **corrélées**, et la représentation graphique des variables forme une **droite**. Pour réaliser le test pour ce mémoire, j'ai utilisé le logiciel XLSTAT.

L'hypothèse prise au départ pour le test de régression est que **selon la nature de la géologie, de l'estran ou du trait de côte, l'évolution du trait de côte ne sera pas la même**.

Les « variables explicatives quantitatives » (axe des abscisses) sont les données présentes dans les tables attributaires issues du **croisement entre la donnée brute** (géologie, nature de trait de côte, nature de l'estran, zones basses) **avec les boites de 50 m de largeur**, et de profondeur variable selon les éléments (1000 m côté terre, 500 m côté mer). Dans la table attributaire, les **taux d'occupation des boites** ont été calculés pour chaque nature de chaque élément.

Les « variables dépendantes quantitatives » (axe des ordonnées), ou variables expliquées, sont celles des **évolutions annuelles (en m/an) entre 1947 et 2017 pour chacune des boites de 50 m**.

Ces dernières variables sont **considérées comme dépendantes** des autres éléments (*cf. Figure 142 : Tableau des variables étudiées pour la régression linéaire pour expliquer l'évolution du trait de côte, P. EMILE, 2019*).

Dans certains cas, il faudra déterminer si **l'évolution du trait de côte est la cause ou la conséquence** des éléments présentés. Il pourrait être intéressant de réaliser le test en inversant les variables pour avoir la causalité des éléments présentés en fonction de l'évolution du trait de côte. Les résultats ne seraient pas les mêmes car les variables seraient inversées.

Type de variable	Variables explicatives quantitatives (x)	Variables dépendantes quantitatives (y)
Description de la variable	Taux d'occupation (%) de chaque nature de chacun des types (géologie, nature de trait de côte, nature d'estran, zones basses) pour chaque boite de 50 m de large	Evolution annuelle (m/an) du trait de côte entre 1947 et 2017 à l'échelle des tronçons de 50 m

Figure 142 : Tableau des variables étudiées pour la régression linéaire pour expliquer l'évolution du trait de côte, P. EMILE, 2019

L'étude se fait à chaque fois sur la **totalité des tronçons des secteurs**, c'est à dire 219 sur le secteur Ouest et 267 sur le secteur Est.

Une **étude plus locale** pourrait s'avérer intéressante pour **repérer des disparités** pour des variables qui ne sont présentes qu'en des périmètres limités.

Une étude à partir des **rythmes sur des pas de temps plus réduits, comme les 6 périodes entre 1947 et 2017** pourrait aussi présenter un intérêt mais les 70 ans de la période étudiée permettent d'avoir une vision sur un temps assez long, et de ne **pas tronquer les résultats par des évènements ponctuels** d'évolution (d'origine météorologique ou anthropique).

C'est le **coefficient de détermination R^2** qui va déterminer si le taux d'explication d'une variable par la variable explicative est satisfaisant pour que l'on puisse parler de corrélation entre 2 variables. Il mesure « *la part de la variation totale de X expliquée par le modèle de régression sur X* » et se définit par le rapport entre la variance expliqué par la régression (SCE) et la variation totale des observations autour de leur moyenne (SCT) (*Fermin Rodriguez, 2019*). Le coefficient est compris entre 0 et 1. « *Si R^2=0 : le modèle n'explique rien, les variables X et Y ne sont pas corrélées linéairement* ». Au contraire, « si *R^2=1 : les points sont alignés sur la droite, la relation linéaire explique toute la variation* ».

Le test de Fisher F compare les variances de deux échantillons (ici les variables explicatives et les variables dépendantes). Ce test donne la probabilité associée au test F et ainsi le risque d'erreur (Pr > F), c'est-à-dire la probabilité que les variables explicatives ne soient pas adaptées pour ce modèle. Plus cette probabilité est proche de 0, plus les « *variables explicatives apportent une quantité d'information significative au modèle* » (*help.xlstat.com*).

Le test de régression linéaire renseigne également sur les **bornes inférieures et supérieures** sur l'axe de la variable dépendante pour chaque variable explicative, à un **intervalle de confiance à 95 %**. Cela permet de remarquer s'il y a des particularités pour certains éléments, et si telle ou telle nature de géologie, estran ou trait de côte se rapporte à un type d'évolution précis.

Pour chaque type de causalité, une hypothèse sera proposée et le test permettra de vérifier celle-ci.

2.3.3. Conclusion de partie

Les **statistiques** permettent de simplifier une grande quantité d'informations dans le but de les rendre plus compréhensibles. La réalisation de **typologies** à l'aide de Classifications Ascendantes Hiérarchiques permet de regrouper en grands types des objets (ou des tronçons) présentant des caractéristiques proches. Cela permet ensuite de réaliser des documents plus clairs et de comprendre les **grands ensembles structurants** des secteurs d'étude.

La méthode de la **régression linéaire** a été suivie pour étudier les relations entre différentes variables. Elle a notamment été utilisée à l'échelle des tronçons de 50 m pour une **approche des causes (ou conséquences) de l'évolution de la position du trait de côte** sur différents indicateurs géographiques.

Partie 3 : Des traits de côte aux rythmes d'évolution non homogènes dans le temps et dans l'espace

3.1. L'évolution du littoral de 1947 à 2017 : une érosion globale sur le secteur Ouest-Cotentin et un équilibre dynamique sur le secteur Est-Cotentin

3.1.1. L'évolution depuis 1947 : une hétérogénéité spatiale à plusieurs échelles

Les **évolutions du trait de côte ne sont pas homogènes**, et cela même sur des espaces proches. Des **caractéristiques très locales** vont expliquer ces différences. C'est la combinaison de nombreux éléments qui va provoquer les différences, pour rappeler que le littoral est un système et qu'il doit être approché comme tel. Les éléments qui peuvent avoir une influence sont tous ceux évoqués précédemment, à savoir la nature du trait de côte, les conditions hydrodynamiques, l'artificialisation, la nature des estrans, la géologie, la topographie, ou encore l'occupation du sol. Même s'ils ne vont pas varier de façon importante dans un espace réduit, ils ne sont pas homogènes et les combinaisons de ces éléments caractéristiques sont toutes différentes. **L'hétérogénéité de ces éléments représente à la fois la cause et la conséquence des inégalités d'évolution**.

Les **deux secteurs d'étude ne sont pas très éloignés** l'un de l'autre (50 km) et se situent à la même latitude, cependant, certaines de leurs conditions varient (géologie, conditions hydrodynamiques) et ils présentent des **évolutions totalement différentes**.

Au **sein-même de ces secteurs**, d'importantes variabilités existent, en fonction d'une position d'abri, d'une particularité géologique ou d'une artificialisation plus importante.

3.1.1.1. Le secteur Ouest, un secteur globalement en érosion depuis 1947, notamment au Sud du Cap du Rozel

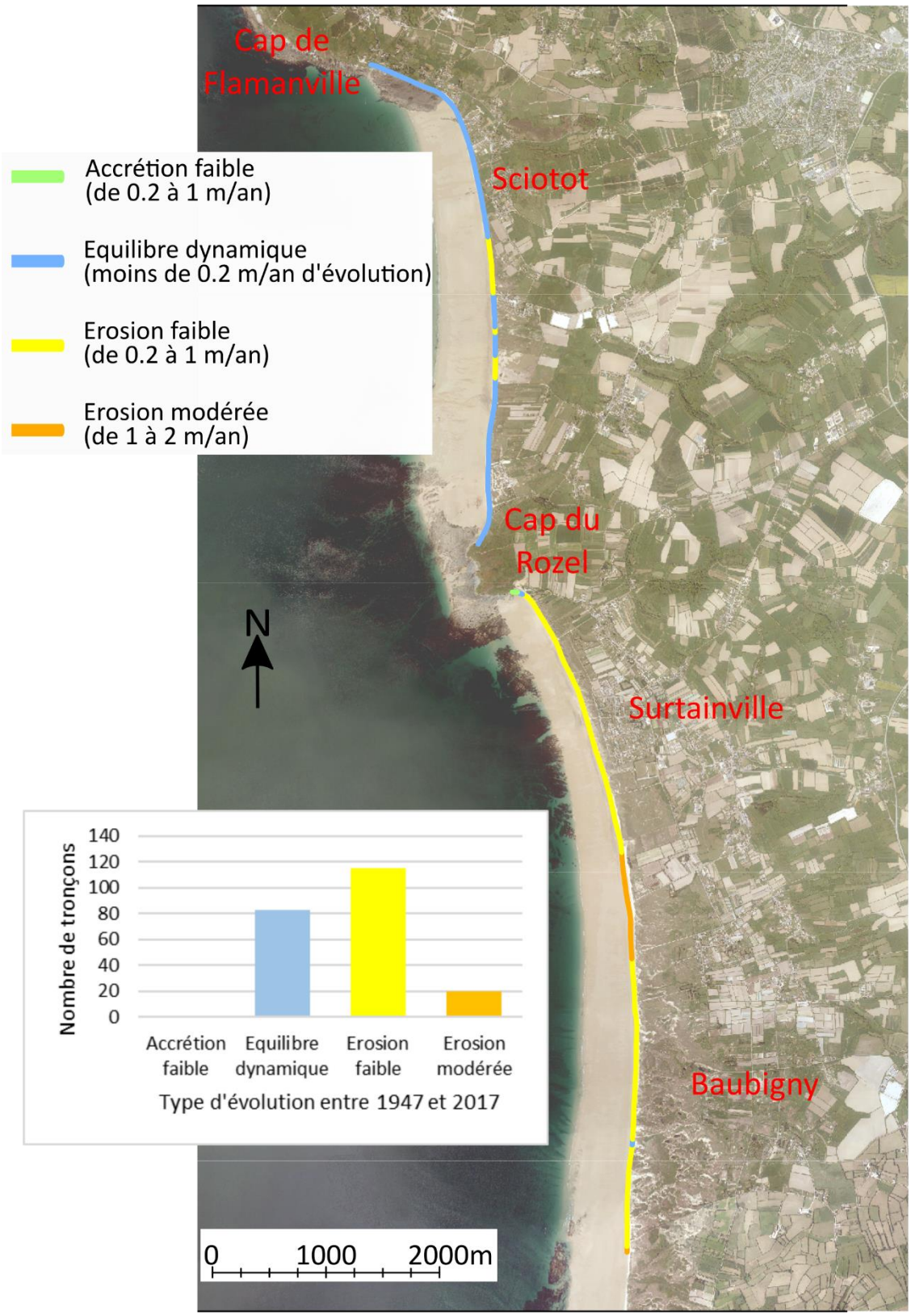
Entre 1947 et 2017, sur le secteur Ouest, le **Cap du Rozel marque une distinction importante** pour les évolutions de trait de côte (*cf. Figure 143 : Carte de l'évolution du trait de côte sur le secteur Ouest entre 1947 et 2017, P. EMILE, 2019*).

Au **Nord** de ce cap, à l'exception de 2 zones en érosion faible au Sud de Sciotot, les tronçons sont en **équilibre dynamique**, c'est-à-dire que l'évolution a été de moins de 0.2 m/ an sur la période.

Au **Sud** du Cap du Rozel, la **quasi-totalité des tronçons est en érosion**. Cette érosion est majoritairement **faible** (entre -0.2 et -1 m/an). Cependant, une partie entre Surtainville et Baubigny est en **érosion moyenne** sur la période (-1 à -2 m/an).

L'érosion plus importante au Sud du Cap du Rozel qu'au Nord peut s'expliquer par l'**abri que représente le Cap de Flamanville** par rapport aux processus hydrodynamiques, et à **l'artificialisation** plus importante sur cette partie Nord. Au Sud, le trait de côte est intégralement constitué de cordons dunaires non végétalisés, donc plus soumis à l'érosion éolienne. On peut remarquer que dans les deux cas, l'érosion est plus forte au centre de l'anse formée par les caps (Flamanville, Le Rozel, et Carteret au Sud), cela peut s'expliquer par le fait que les courants vont être plus importants en fond d'anse.

Evolution moyenne annuelle du trait de côte entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest entre Sciotot et Baubigny



Sources : BD Ortholittorale V2; calcul de l'évolution à partir des traits de côte du ROLNP, réalisation P. EMILE, 2019

Figure 143 : Carte de l'évolution du trait de côte sur le secteur Ouest entre 1947 et 2017, P. EMILE, 2019

3.1.1.2. Le secteur Est, un secteur entre équilibre dynamique et accrétion depuis 1947

Sur le secteur Est, les **évolutions ont été relativement faibles** entre 1947 et 2017 (*cf. Figure 144 : Carte de l'évolution du trait de côte sur le secteur Est entre 1947 et 2017, P. EMILE, 2019*).

Près des trois quarts du secteur sont en **équilibre dynamique** (évolution inférieure à 0.2 m/an). Le quart restant étant en **accrétion faible** (de +0.2 à +1 m/an). Une petite zone au niveau d'Aumeville-Lestre est en **érosion faible** (de -0.2 à -1 m/an). Il s'agit d'un tronçon dans lequel prennent place d'anciens éléments fortifiés qui forment une avancée vers la mer et qui sont potentiellement plus soumis à l'aléa érosion.

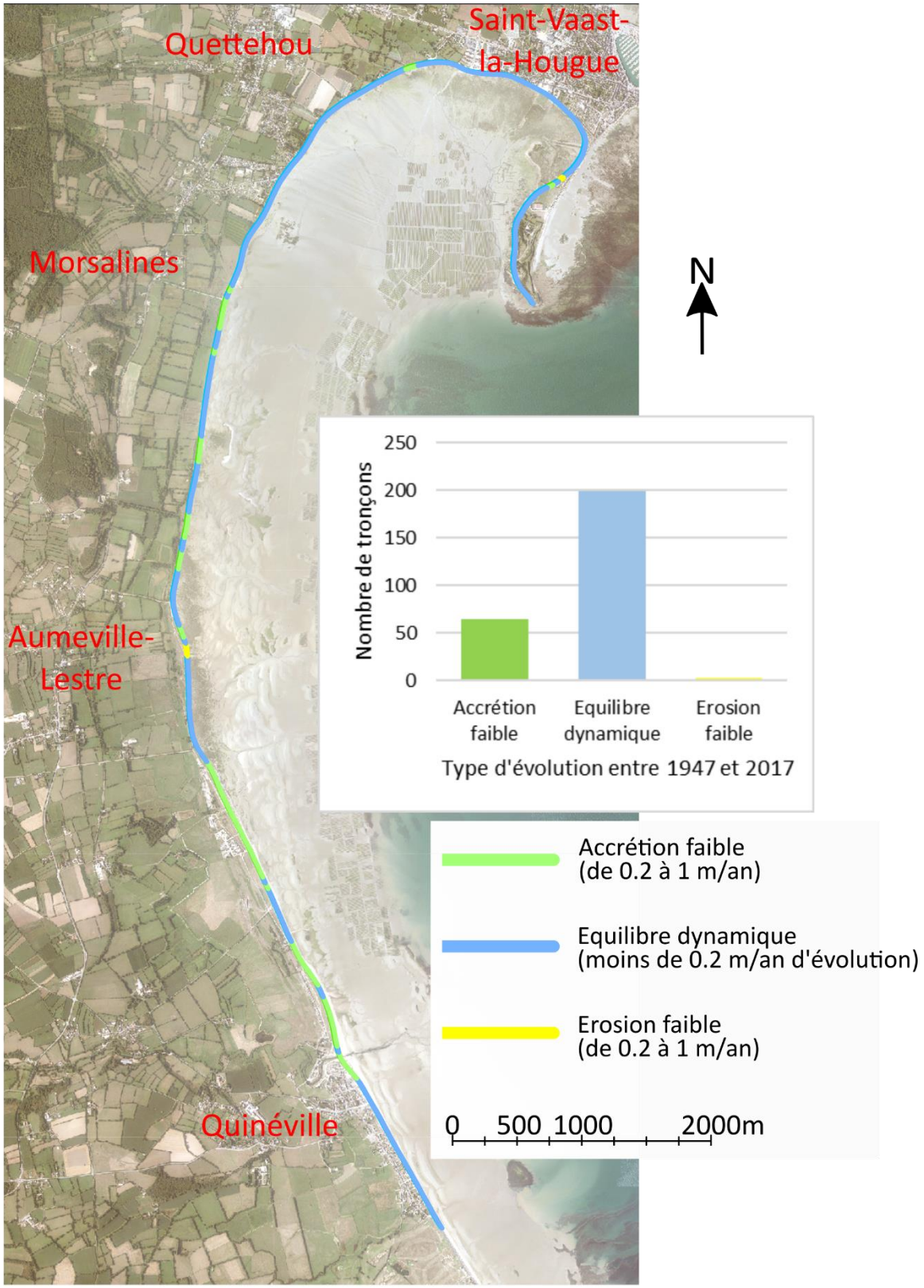
Au Nord, jusqu'à Morsalines, le trait de côte est presque continuellement en **équilibre dynamique**. Cela s'explique par le fait qu'il soit quasi-intégralement artificialisé.

Au **Sud** de Morsalines, il y a une alternance entre des tronçons en **accrétion faible** et en **équilibre dynamique**.

Au niveau du bourg de **Quinéville**, le trait de côte est en **équilibre dynamique**, ce qui s'explique là-aussi par l'artificialisation quasi continue du littoral.

Ce secteur se situe à **l'abri de la Pointe de la Hougue** et se retrouve ainsi protégé, à la fois des flux d'Ouest par son exposition, et des flux du large par des bancs sableux. Les courants étant atténués, l'érosion est moins importante.

Evolution moyenne annuelle du trait de côte entre 1947 et 2017
sur le secteur Est entre Saint-Vaast-la-Hougue et Quinéville



Sources : BD Ortholittorale V2; calcul de l'évolution à partir des traits de côte du ROLNP, réalisation P. EMILE, 2019

Figure 144 : Carte de l'évolution du trait de côte sur le secteur Est entre 1947 et 2017, P. EMILE, 2019

3.1.2. Observation des rythmes d'évolution à travers 6 périodes : une hétérogénéité temporelle

L'évolution du trait de côte n'est **pas régulière dans le temps**. A une échelle temporelle très longue, il y a eu **succession de transgressions et de régressions marines** liées aux grandes fluctuations climatiques et variations du bassin océanique. A l'échelle de quelques années ou dizaines d'années, des **périodes d'érosion ou d'accrétion plus ou moins intenses ont pu se succéder** du fait de quelques variations de climat ou de disponibilité de sédiments. Enfin, à l'échelle de l'année, des **variations saisonnières** apparaissent entre l'été et l'hiver

Les données dont je dispose pour ce mémoire ne permettent de repérer que les **variations à l'échelle de quelques années**, sur une période totale de 70 ans.

Des **graphiques des types d'évolution** pour chacune des 6 périodes ont été réalisés sur les deux secteurs d'étude, en respectant la classification des évolutions annuelles réalisée précédemment (*cf. Figure 145 : Légende de la classification des évolutions annuelles des positions de trait de côte, P. EMILE, 2019*).

Ces graphiques permettront de connaitre les caractéristiques des évolutions sur chacune des 6 périodes.

Figure 145 : Légende de la classification des évolutions annuelles des positions de trait de côte, P. EMILE, 2019

3.1.2.1. Le secteur Ouest : un secteur plutôt en érosion aux rythmes d'évolution non homogènes

Sur ce secteur Ouest, on peut globalement observer une **prédominance de l'érosion** avec deux périodes d'équilibre dynamique et d'accrétion faible (*cf. Figure 146, Figure 147, Figure 148, Figure 149, Figure 150, Figure 151*). Les taux de secteurs en **équilibre dynamique** restent élevés de 1947 à 2010 avec 20 à 40 % de tronçons concernés. Il n'y a donc pas des évolutions importantes partout.

De **1947 à 1982**, les taux de tronçons en **érosion** se situent autour de **60 %**, il y a même près de 30 % des tronçons en érosion moyenne à forte (plus de 1 m/an). A la fin de cette période, de **1977 à 1982**, il y a 8.2 % des tronçons en érosion forte (plus de 2 m/an). Il n'y a cependant pas érosion partout car près de 25 % des tronçons sont en équilibre dynamique (évolution inférieure à 0.2 m/an) et près de **20 % en accrétion** faible à forte (plus de 0.2 m/an).

Entre **1982 et 1992**, il y a eu une **inversion de la tendance** avec moins de 15 % des tronçons en érosion faible à forte, 37.4 % en équilibre dynamique et près de **50 % en accrétion faible à modérée**.

Une nouvelle période d'érosion importante survient entre **1992 et 2001** avec plus de **65 % des tronçons en érosion**. Parmi ceux-ci, 18.3 % sont en érosion modérée (1 à 2 m/an) et 22.4 % sont en érosion forte à très forte (plus de 2 m/an). Il n'y a que 5 % de tronçons en accrétion durant cette période.

De **2001 à 2010**, il y a eu un retour à une **phase d'équilibre dynamique et d'accrétion** avec 40 % des tronçons en accrétion faible et près de 18 % en accrétion moyenne à forte (plus de 2 m/an).

La période la plus récente, de **2010 à 2017** est marquée par un retour à des taux d'érosion importants, avec **plus de 70 % des tronçons qui ont reculés**, et plus de 50 % selon une érosion de plus 1 m/an. Par ailleurs, 17 % des tronçons sont en accrétion sur cette période.

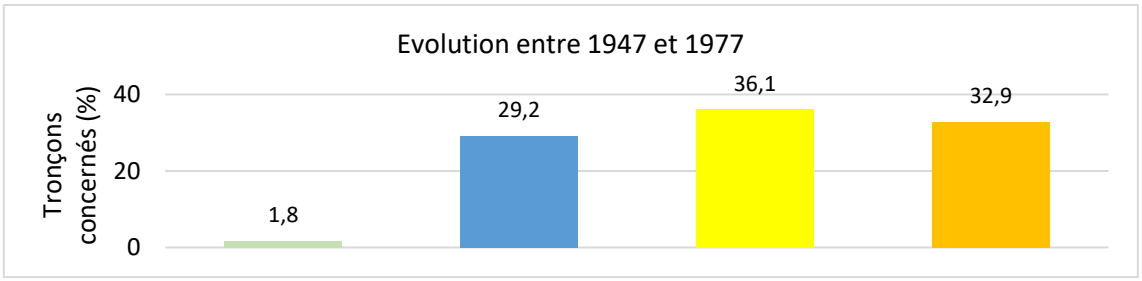


Figure 146 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1947 et 1977 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019

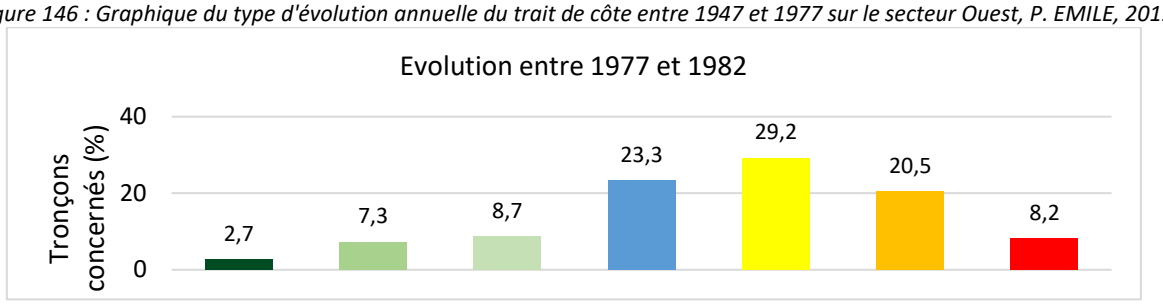


Figure 147 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1977 et 1982 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019

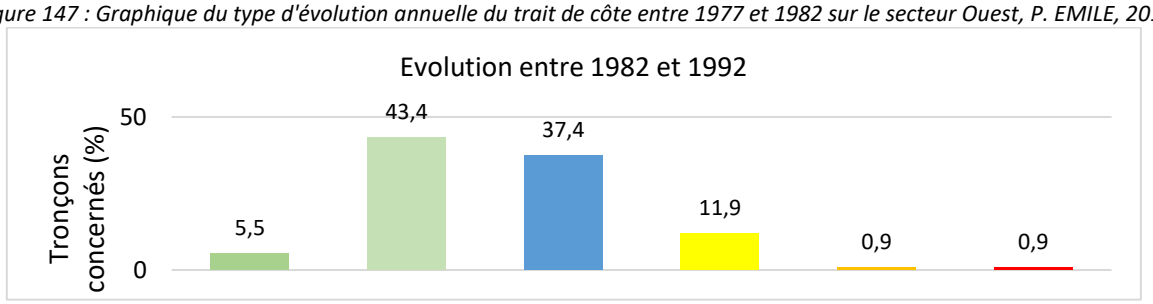


Figure 148 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1982 et 1992 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019

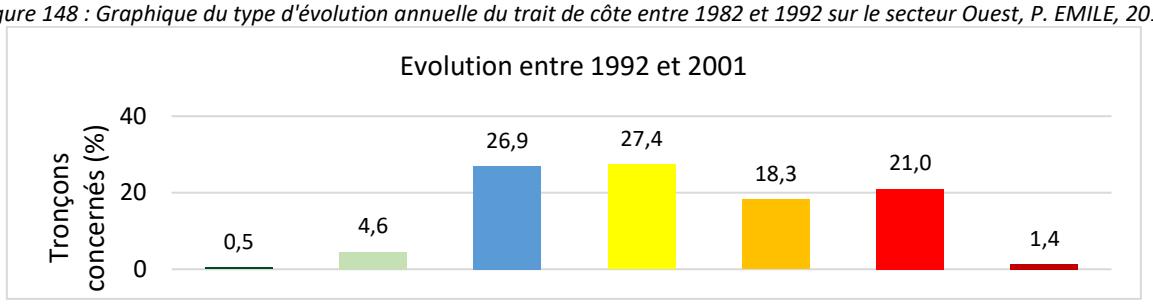


Figure 149 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1992 et 2001 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019

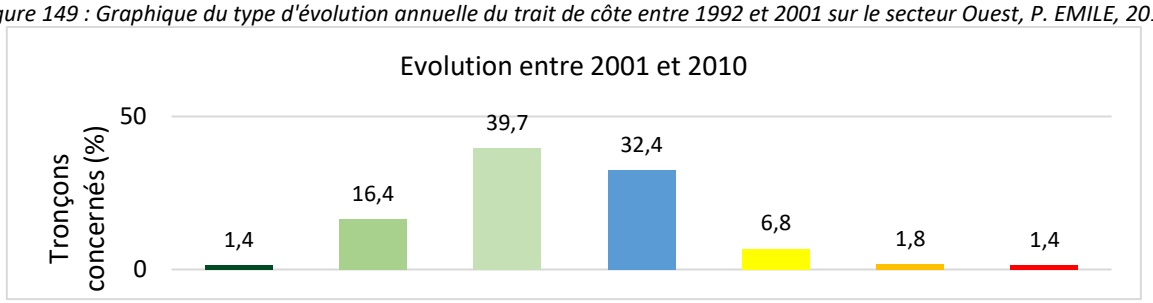


Figure 150 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 2001 et 2010 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019

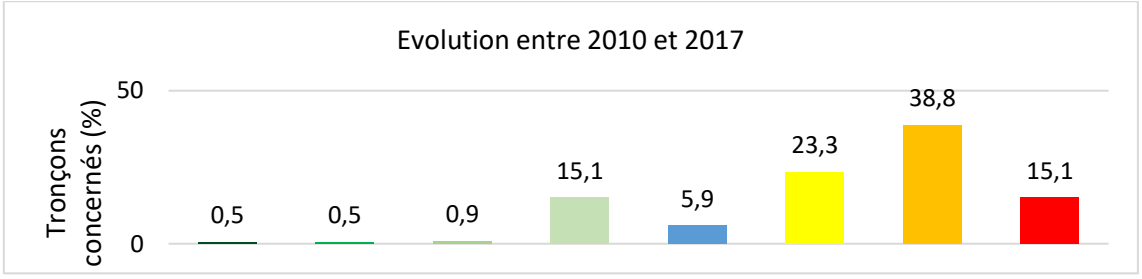


Figure 151 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 2010 et 2017 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019

3.1.2.2. Le secteur Est : une côte aux dynamiques variées et non homogènes dans le temps

Sur ce secteur Est, les **évolutions sont moins importantes** qu'à l'Est. Les tronçons en **équilibre dynamique** sont majoritaires avec des taux de **36 à 70 %** sur l'ensemble de la période étudiée. Ce taux est notamment dû aux nombreux ouvrages artificiels qui caractérisent le trait de côte. Le reste des tronçons est partagé entre accrétion et érosion faible avec une légère prédominance pour la première.

Entre **1947 et 1977**, **l'équilibre dynamique** est caractéristique du secteur avec **près de 70 %** des tronçons concernés. Près de 20 % des tronçons sont en accrétion faible à modérée (de 0.2 à 2 m/an) et un peu plus de 10 % en érosion faible (de 0.2 à 1 %).

De **1977 à 1982**, les évolutions sont plus importantes avec « seulement » 47.2 % des tronçons en équilibre dynamique. Plus de **30 %** des tronçons sont en **accrétion** et **20 %** en **érosion**. Les évolutions inférieures à 1 m/an sont là encore majoritaires.

De **1982 à 1992**, si le taux de tronçons en équilibre dynamique est stable, le taux de tronçons en accrétion augmente (plus de 40 %) au dépend de ceux en érosion (10 %).

De **1992 à 2001**, le taux de secteurs en **érosion dépasse 25 %** tandis que celui de secteurs en **accrétion** est **inférieur à 20 %**.

Entre **2001 et 2010**, les valeurs sont proches de celles rencontrées entre 1947 et 1977, **avec 67 % de tronçons en équilibre dynamique** et près de 20 % en érosion faible

La période de **2001 à 2010** se caractérise par un taux de tronçons en équilibre dynamique plus faible, de moins de 40 %, et par un taux de secteurs en **érosion** supérieur à **15 %**. Près de **50 % des tronçons sont en accrétion** sur cette période, avec plus de 10 % en accrétion forte à très forte (plus de 2 m/an).

De **2010 à 2017**, l'érosion est majoritaire, avec près de 55 % des tronçons en **érosion modérée ou forte**.

Sur l'ensemble de la période, les **évolutions supérieures à 1 m/an sont marginales**. Le taux de tronçons en **érosion est relativement stable depuis 1977** avec environ 20 %. 20 % des tronçons semblent osciller **entre accrétion faible et équilibre dynamique**, lorsqu'un des taux augmente, le second diminue.

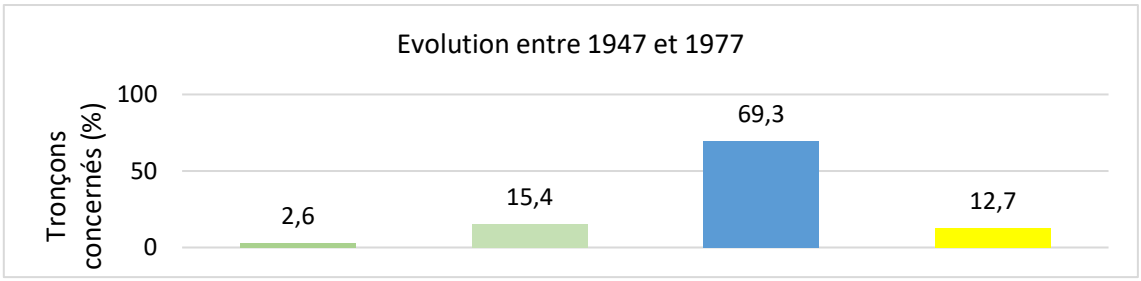


Figure 152 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1947 et 1977 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019

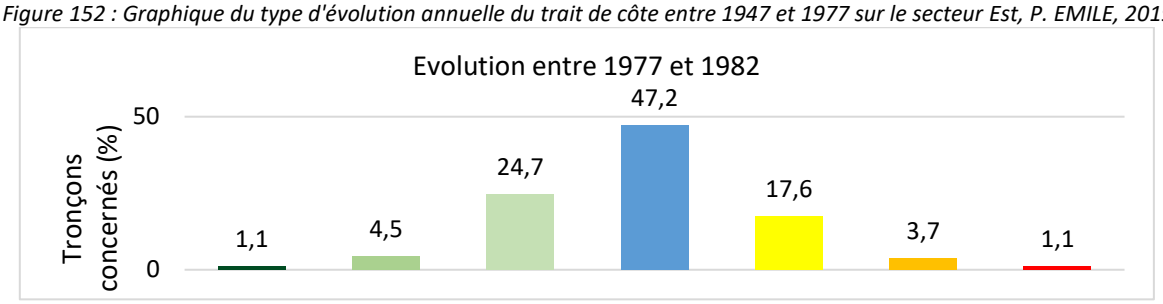


Figure 153 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1977 et 1982 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019

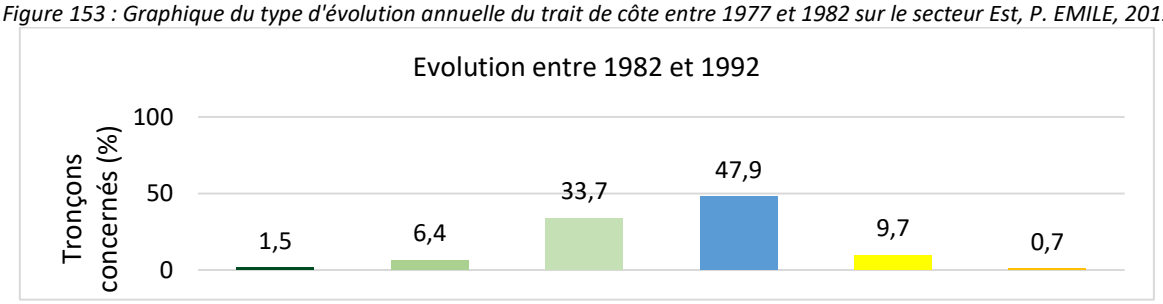


Figure 154 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1982 et 1992 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019

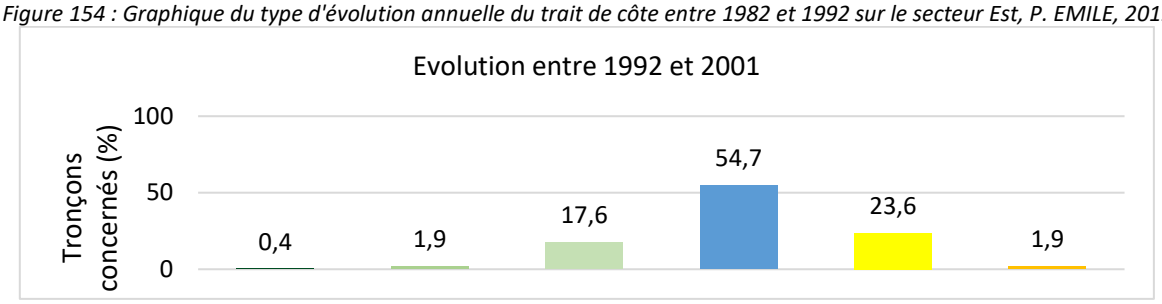


Figure 155 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1992 et 2001 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019

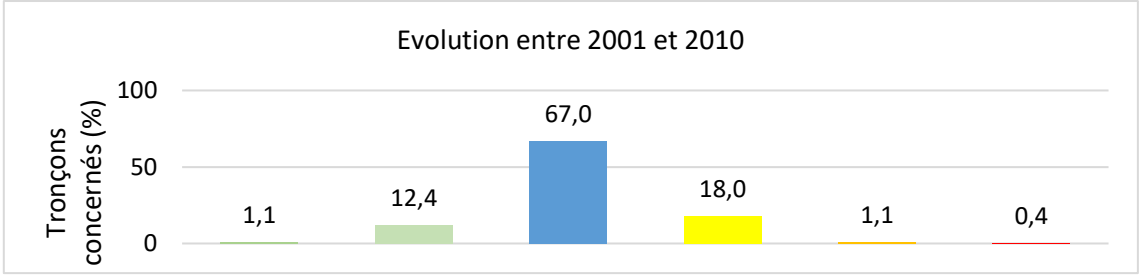


Figure 156 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 2001 et 2010 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019

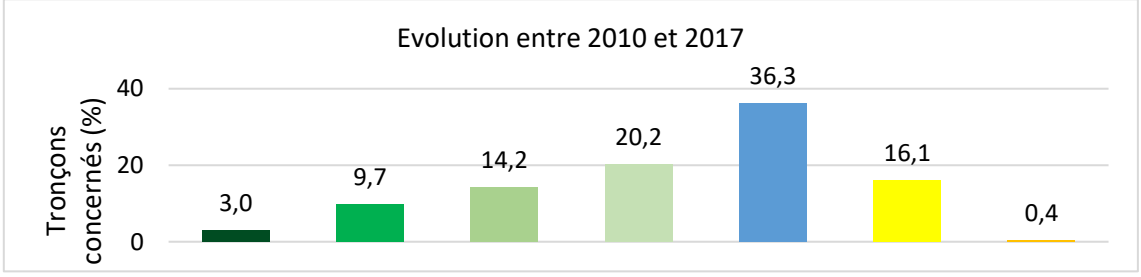


Figure 157 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 2010 et 2017 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019

3.1.2.3. Conclusions et limites de l'étude des rythmes

Les deux secteurs présentent des **caractéristiques différentes** en termes d'évolution. Le **secteur Ouest** montre une **tendance importante à l'érosion** tandis que le **secteur Est** se caractérise plutôt par un **équilibre dynamique ou une accrétion faible**. Dans les deux cas, chaque type d'évolution n'est pas unique car à chaque fois au moins 10 % du secteur suit le type contraire à la majorité.

L'observation des rythmes permet malgré tout de constater une **certaine similarité** dans leurs répartitions. En effet, dans les deux cas, les périodes de **1982 à 1992** et **2001 à 2010** sont des périodes avec des évolutions moins importantes et une **tendance à l'accrétion**, au contraire de celles situées juste avant et juste après, qui présentent des valeurs d'érosion plus importantes. Ces variations importantes peuvent être comprises comme des événements ponctuels qui ont conduit à une érosion importante, suivie de périodes où le **système-littoral** a connu un retour progressif à son état initial, par sa **capacité de résilience**.

Les différences de rythmicités peuvent être liées à la présence ou non **d'évènements tempêtueux importants** sur les périodes étudiées, en effet, les données moyennées ne permettent pas de prendre en compte les événements ponctuels.

Les **dates des images aériennes** peuvent également influer sur les résultats puisque certaines ont pu être prises l'hiver ou l'été, et donc pendant des variations saisonnières ou bien juste avant ou après un événement ponctuel.

Les **définitions du trait de côte** ne sont pas les mêmes en **fonction de l'opérateur** et les résultats dépendent **d'interprétations**. De plus, la **différence de méthode** entre les données de **1947 à 2010** (données ROLNP à partir de photographies aériennes) et celles de **2010 à 2017** (digitalisation à partir de données LIDAR) peut expliquer une partie des différences de résultats. Cependant, quelques évènements tempêtueux ayant eu lieu durant cette période, les **résultats ne sont pas improbables** et ne sont **pas très éloignés de certains rencontrés dans le passé**, notamment entre 1947 et 1982.

Il faut donc **être critique avec ces résultats**. Cependant la **tendance générale reste valable** et indique des phases successives d'érosion et d'accrétion avec une tendance récente à une érosion plus forte. Les valeurs n'indiquent pas foncièrement une aggravation de l'aléa, au moins jusqu'à 2010.

Même si les **valeurs d'érosion sont assez peu élevées par rapport à d'autres régions**, avec peu de secteurs qui s'érodent de plus de 2 m/an, mais il s'agit quand même de **secteurs qu'il convient de traiter**, qui plus est car il s'agit de zones pas forcément préparées à ce type d'aléa.

Sur certaines partie, telles que le Nord du secteur Est, si le taux de tronçons qui connaissent des **évolutions inférieures à 0.2 m/an** est important, cela s'explique par la présence importante **d'ouvrages artificiels** qui fixent le trait de côte. Il n'est pas évident que cet équilibre dure dans le temps en raison des contraintes exercées sur ces ouvrages.

Cette étude des rythmes temporels permet de montrer que les **dynamiques d'évolution ne sont pas définitives et régulières**, et qu'il y a d'importantes **variations interannuelles**. Il est nécessaire de prendre en compte l'évolution moyenne à plusieurs échelles de temps, mais aussi de repérer les événements ponctuels qui génèrent les pics d'évolution les plus importants.

Pour cette étude, les **données sont moyennées à l'échelle du secteur** et ne donnent pas d'indications spatiales sur les évolutions. Il faudra par la suite intégrer ces rythmicités temporelles à une cartographie pour comprendre la répartition géographique.

3.1.3. Typologie des tronçons selon leurs rythmes d'évolution dans le temps

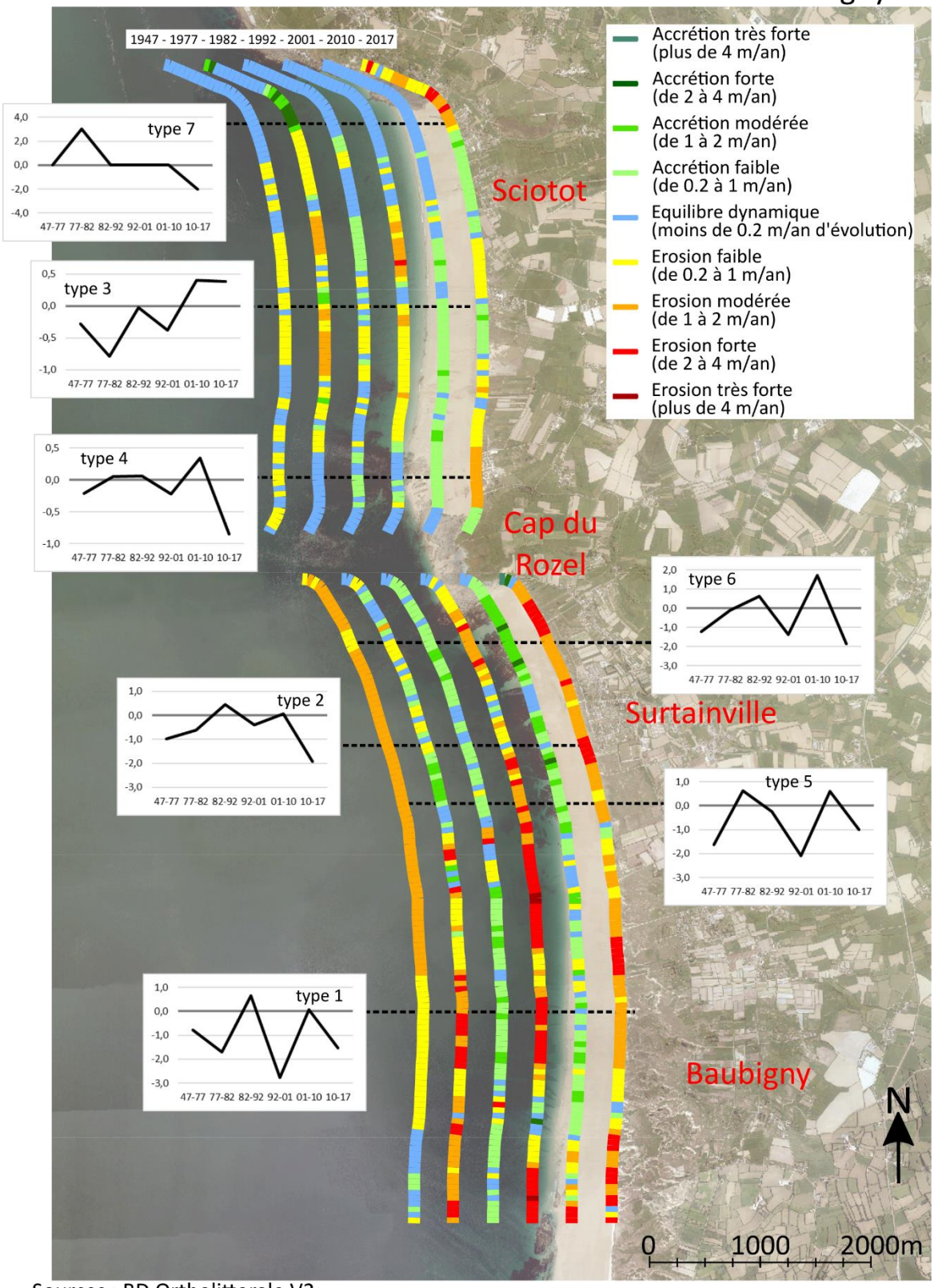
Après avoir étudié les évolutions du trait de côte d'un **point de vue spatial** (*cf. Partie 3.1. L'évolution du littoral de 1947 à 2017 : une érosion globale sur le secteur Ouest-Cotentin et un équilibre dynamique sur le secteur Est-Cotentin, p 164*) et d'un **point de vue temporel** (*cf. Partie 3.1.2. Observation des rythmes d'évolution à travers 6 périodes : une hétérogénéité temporelle, p 168*), il s'avère intéressant de croiser les données obtenues pour une **étude spatio-temporelle**.

L'échelle des **tronçons de 50 m** réalisés pour la segmentation apparait adaptée. Les rythmes d'évolution sont ceux des **6 périodes de 1947 à 2017** présentées précédemment. J'ai choisi de réaliser pour chaque secteur d'étude une **typologie des segments selon les rythmes d'évolution successifs**. Pour cela, la méthode de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) est adaptée (*cf. Partie 2.3.1. Des typologies pour simplifier l'information et créer des niveaux, p 158*).

3.1.3.1. Un secteur Ouest globalement en érosion sur l'ensemble de la période considérée

En effectuant une représentation cartographique des rythmes d'évolutions du trait de côte dans le temps pendant 6 périodes, on peut remarquer une **grande hétérogénéité des rythmes**, à la fois **dans le temps et dans l'espace** (*cf. Figure 158 : Carte des rythmes d'évolution en 6 périodes sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019*). Cette cartographie basée sur les rythmes et reprenant la segmentation précédemment réalisée est un bon outil pour se rendre compte de la complexité de l'évolution du trait de côte. Ainsi, sur un même secteur de 10 km, les combinaisons de rythmes d'évolution sont très nombreuses. Les tronçons connaissent rarement une évolution régulière pendant ces 70 ans. Il y a souvent une succession de période d'évolution plus ou moins marquée et de phases d'équilibre dynamique. Le document montre également que l'érosion n'est pas un facteur nouveau puisque de nombreux tronçons ont déjà connu une érosion modérée (de 1 à 2 m/an) entre 1947 et 1977, notamment au Sud du Cap du Rozel.

Evolution moyenne annuelle du trait de côte sur 6 périodes entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest entre Sciotot et Baubigny



Sources : BD Ortholittorale V2;
calcul des évolutions à partir des traits de côte de 1947 à 2010 (ROLNP) et de 2017 (P.EMILE), réalisation P. EMILE, 2019

Figure 158 : Carte des rythmes d'évolution en 6 périodes sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019

Pour la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest, j'ai fait le choix de garder **7 classes**. En effet, les coefficients de variances indiqués lors de la réalisation de la CAH indiquent une bonne cohérence de la typologie. La **variance intra-classe est de 39.72 %** et la **variance inter-classe de 60.28 %**.

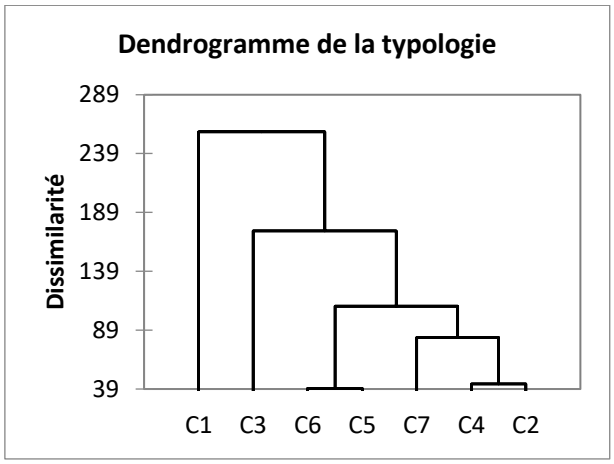


Figure 159 : Dendrogramme de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

Classe	1	2	3	4	5	6	7
Objets	39	29	57	45	20	21	8
Somme des poids	39	29	57	45	20	21	8
Variance intra-classe	3,606	1,974	2,102	1,042	2,873	1,370	0,919
Distance minimale au barycentre	0,748	0,703	0,363	0,394	0,846	0,386	0,566
Distance moyenne au barycentre	1,733	1,311	1,266	0,936	1,545	1,010	0,864
Distance maximale au barycentre	3,880	2,231	4,506	2,246	3,062	2,597	1,261

Figure 160 : Tableau des résultats de classe de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

Classe/Période	1947-1977	1977-1982	1982-1992	1992-2001	2001-2010	2010-2017
1	-0,770	-1,710	0,643	-2,779	0,076	-1,532
2	-0,990	-0,607	0,456	-0,400	0,059	-1,926
3	-0,283	-0,784	-0,021	-0,375	0,400	0,388
4	-0,216	0,054	0,056	-0,225	0,339	-0,852
5	-1,620	0,617	-0,239	-2,084	0,613	-0,997
6	-1,227	-0,114	0,627	-1,384	1,707	-1,856
7	0,015	3,030	0,000	0,000	0,000	-2,006

Figure 161 : Tableau des barycentres de classe de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

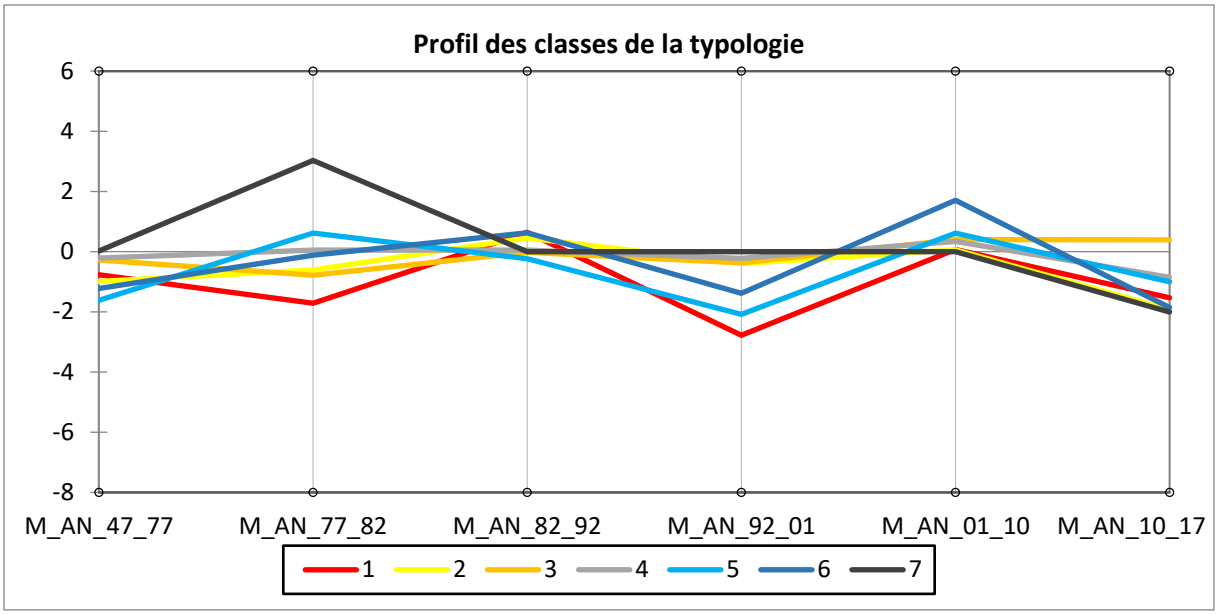


Figure 162 : Graphique des profils des classes de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

Le **type 1** se caractérise par une érosion faible à forte sur la période avec des phases d'accrétion faible (1982-92) et d'équilibre dynamique (2001-10).

Le **type 2** présente des phases successives d'érosion faible (1947-82), d'accrétion faible et équilibre dynamique (1982-2010) puis d'érosion modérée à forte (2010-17).

Le **type 3** se caractérise par une période d'érosion faible (1947-2001) suivie d'accrétion faible (2001-17). C'est le type **le plus répandu** avec 57 tronçons sur 219.

Le **type 4** fait se succéder des phases d'équilibre dynamique (1947-2001), d'accrétion faible (2001-10) puis d'érosion faible à modérée (2010-17).

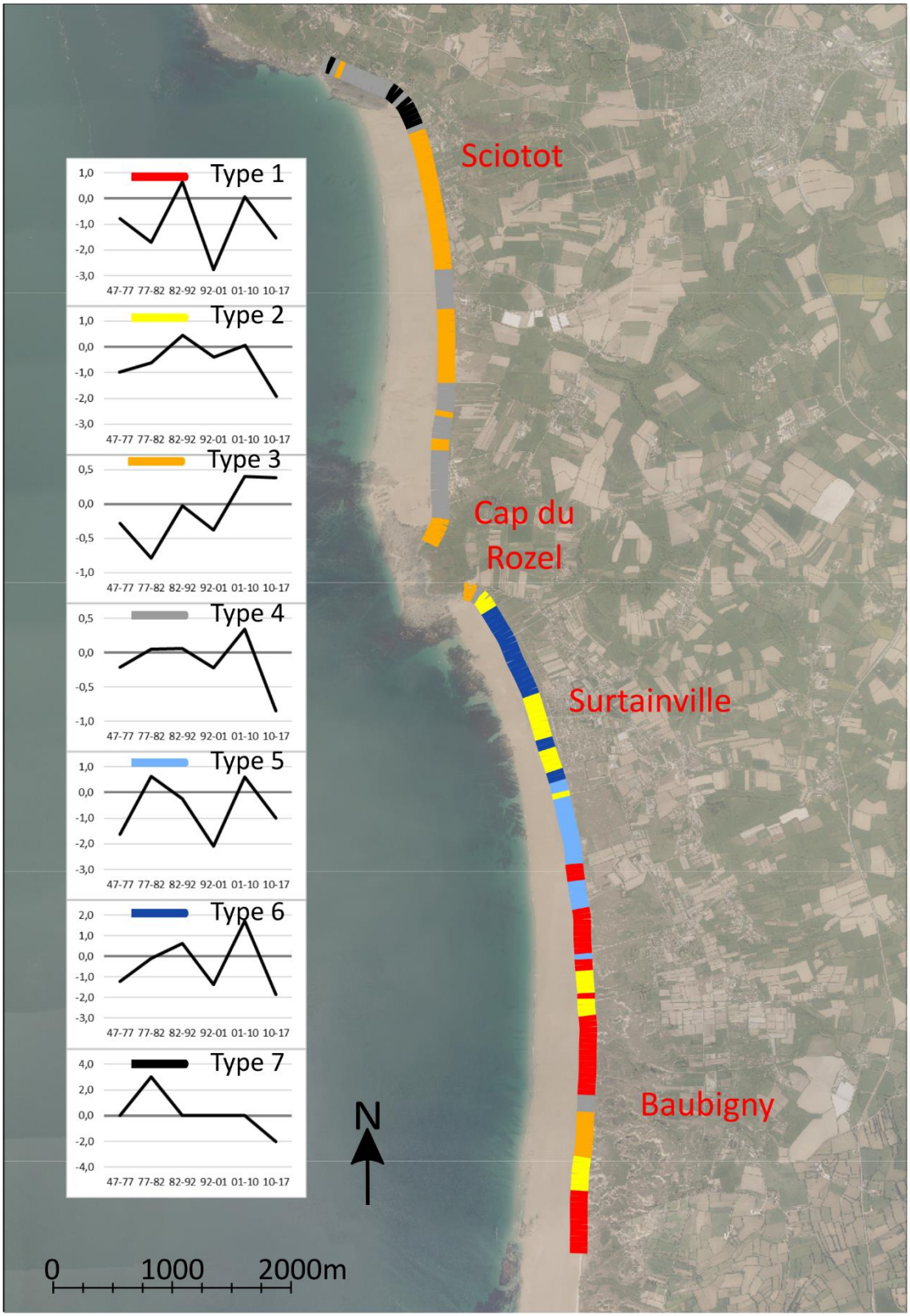
Le **type 5** alterne entre des phases d'érosion faible à modérée (1947-77, 1982-2001, 2010-17) et d'accrétion faible à modérée (1977-82, 2001-10).

Le **type 6** est proche du type 5 et alterne entre phases d'érosion faible à modérée (1947-82, 1992-2001, 2010-17) et phases d'accrétion faible à modérée (1982-92, 2001-10).

Le **type 7** se caractérise par un équilibre dynamique majoritaire de 1947 à 2010, ponctué d'une phase d'accrétion forte à très forte (1977-82). Il y a ensuite une érosion modérée à forte (2010-17). Ce type est le moins fréquent avec 8 tronçons parmi les 219 du secteur.

Les types 1 et 2 sont les types qui présentent le plus souvent des phases d'érosion. Les types 5 et 6 connaissent une majorité de phases d'érosion ponctuées par des phases de faible accrétion. Le type 3 présente une tendance récente à l'équilibre dynamique et l'accrétion faible. Les types 4 et 7 sont majoritairement en équilibre dynamique.

Typologie des tronçons selon les rythmes des évolutions moyennes annuelles du trait de côte sur 6 périodes entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest entre Sciotot et Surtainville



Sources : BD Ortholittorale V2; typologie des tronçons à partir des rythmes des évolutions annuelles calculés depuis les traits de côte du ROLNP, réalisation P. EMILE, 2019

Figure 163 : Carte des types de rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019

Le **Centre Régional des Etudes Côtières** (CREC) de l'Université de Caen-Normandie effectue un suivi régulier des côtes de la Manche (*cf. Partie 2.1.3.2 Le Centre Régional des Etudes Côtières (CREC), p 135*). Les données sont alimentées régulièrement depuis la fin des années 1990 et renseignent sur l'évolution du trait de côte, du profil de plage et le volume sédimentaire. Sur les secteurs d'étude Ouest et Est, respectivement 8 et 7 stations de repérages sont présentes.

A partir des données récoltées par le CREC par des relevés aériens ou terrestre sur les stations définies, j'ai pu réaliser les **graphiques des évolutions du trait de côte, en m/an**. Ces données font apparaitre de manière prépondérante les **variations saisonnières** car entre la fin des années 1990 et le début des années 2010, le centre effectuait jusqu'à 3 relevés par an.

A la **station de Les Pieux**, on peut remarquer de grandes fluctuations de 1998 à 2001, celles-ci sont dues aux **tempêtes** très importantes qui ont frappées le pays, ensuite des fluctuations moins importantes ont eu lieu (*cf. Figure 164*). L'érosion a été très importante (rythme de 15 m/an) à la station de Les Pieux lors de tempêtes de fin de siècle, et le système a mis à chaque fois plus d'1 an pour revenir à son état initial par le biais de périodes aux rythmes d'accrétion supérieurs à 15 m/an. En fin 2006, un autre événement a fait s'éroder le trait de côte à un rythme de plus de 10 m/an, et il n'y pas eu de réponse immédiate du système, ce qui a conduit à une érosion de la plage non rattrapée. Depuis, les relevés sont moins nombreux sur la station, et font apparaitre une légère érosion sur le temps long.

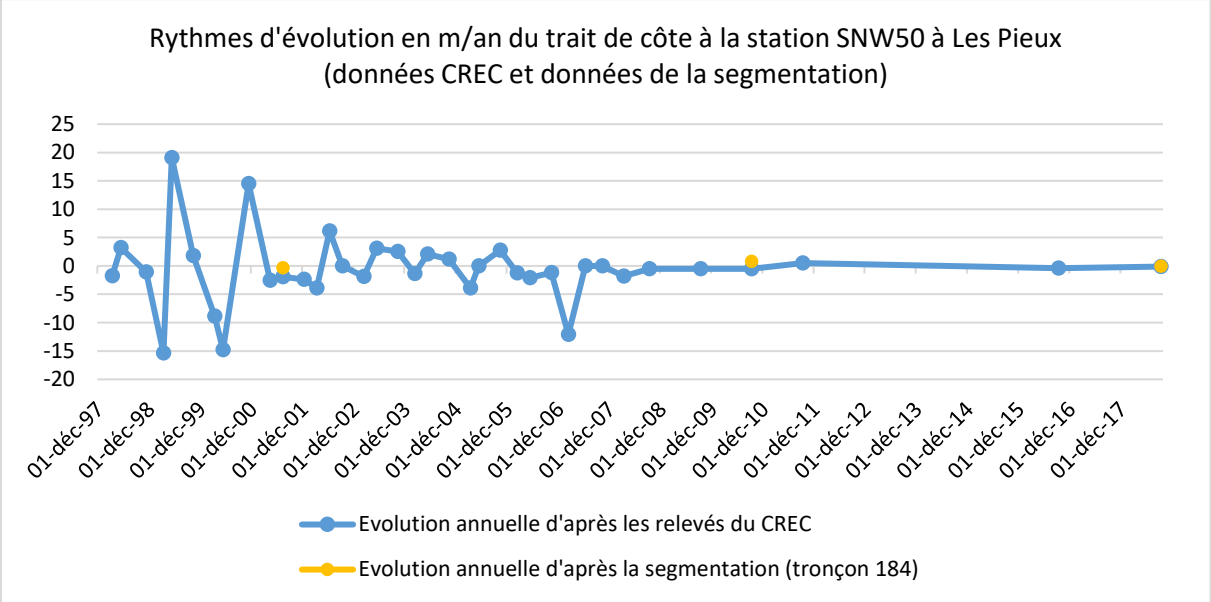


Figure 164 : Graphique des rythmes d'évolution du trait de côte au niveau de Sciotot (Les Pieux), données CREC et données issues de la segmentation des données ROLNP de 2001, 2010 et, P. EMILE, 2019

A la **station de Surtainville**, les **tempêtes** se sont moins faites ressentir en termes de rythmes d'érosion (8 à 10 m/an) mais ont été très **peu compensées par des périodes d'accrétion** (*cf. Figure 165*). Cela semble vouloir dire que les sédiments prélevés lors de la tempête ont été distribués au large et n'ont plus été mobilisables par la houle pour la reconstruction des plages. Les **variations saisonnières** sont bien visibles, avec cependant une **tendance à l'érosion**, les pertes de l'hiver ne sont pas toutes compensées par les apports estivaux.

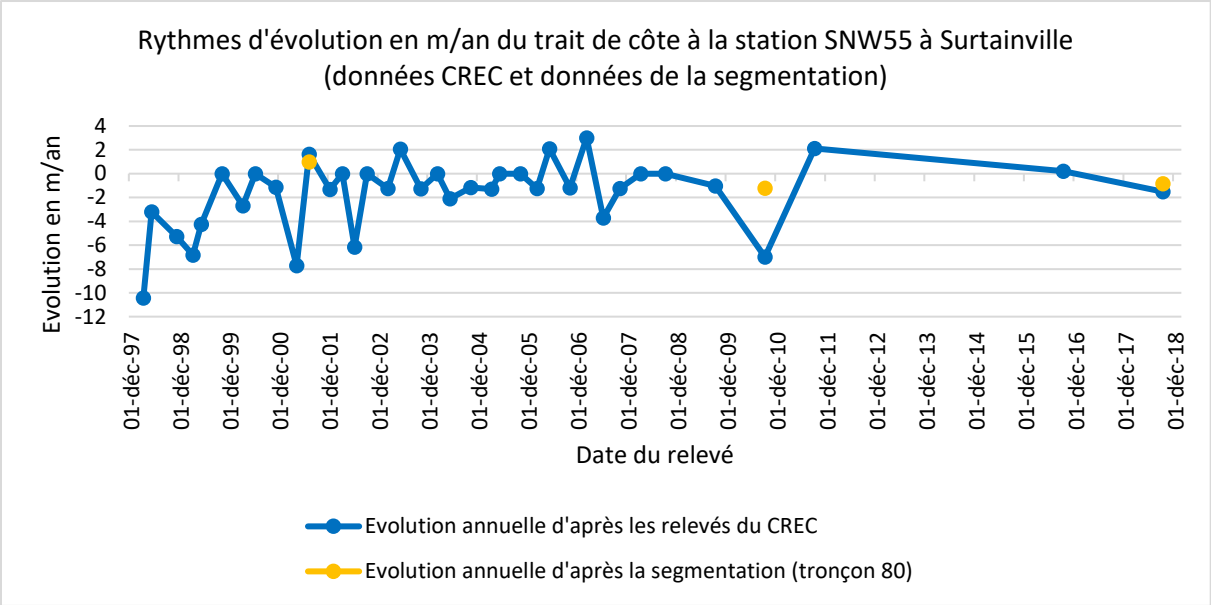


Figure 165 : Graphique des rythmes d'évolution du trait de côte au niveau du Hameau La Plage (Surtainville), données CREC et données issues de la segmentation des données ROLNP de 2001, 2010 et 2017, P. EMILE, 2019

Sur les deux graphiques, les **données obtenues par la segmentation** ont été ajoutées pour le tronçon correspondant à la station du CREC. La difficulté a été de situer les données à une date précise puisque seule l'année des photographies ayant servies à la photo-interprétation est précisée. Les **résultats obtenus par la segmentation sont très cohérents avec les rythmes d'évolutions repérés par le CREC**. Seule la valeur obtenue pour 2010 par les données issues du ROLNP pose question, la différence peut être due au fait que l'évènement tempêtueux expliquant les valeurs élevées d'érosion pour le CREC ait eu lieu après la prise de l'image aérienne utilisée par le ROLNP pour la segmentation.

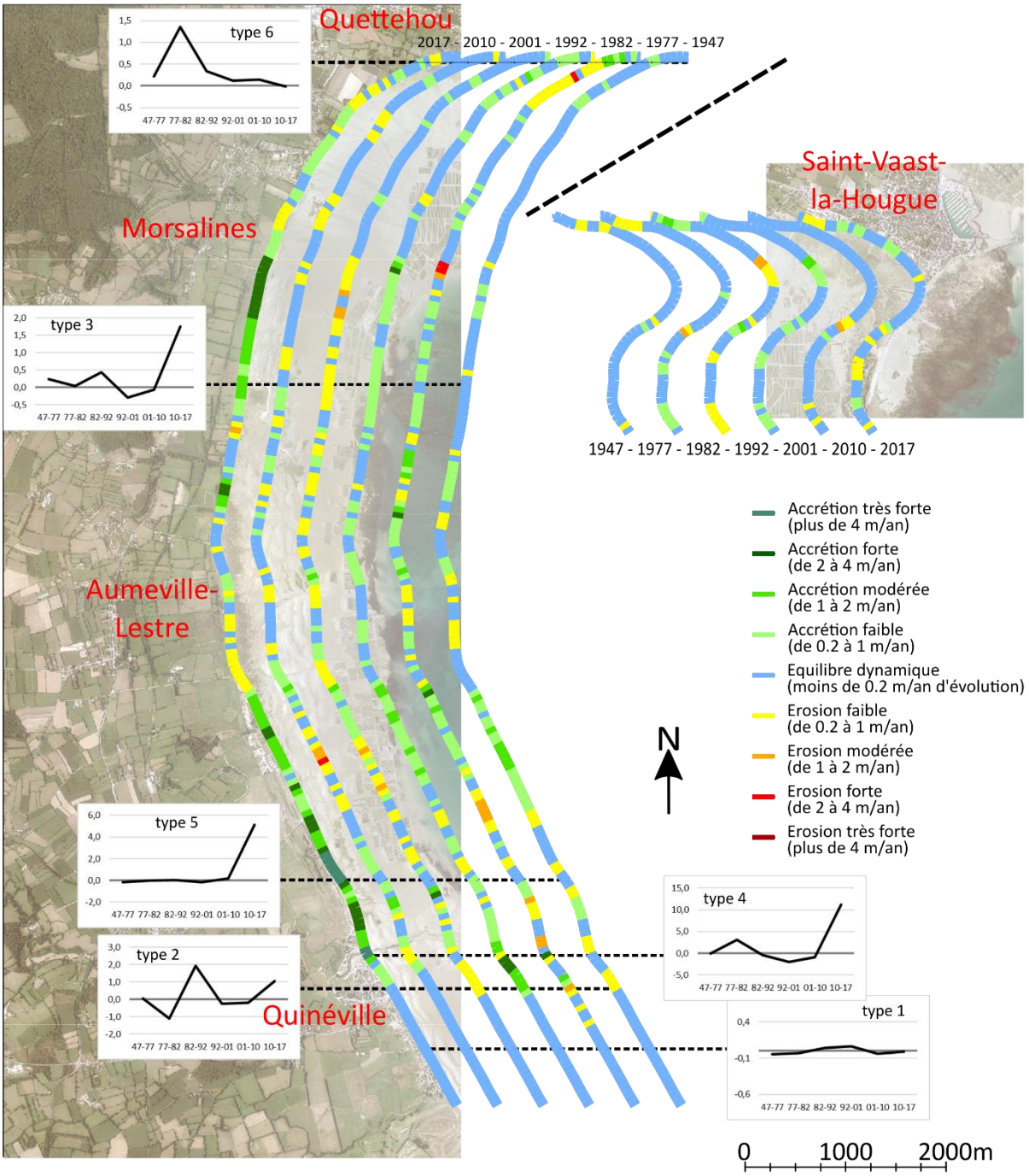
Les différences existantes peuvent être dues aux **écarts de date des relevés** entre ceux du CREC et du ROLNP qui peuvent être pendant des **phases saisonnières différentes**, et au faible nombre de relevés effectués par le CREC après 2013. De plus, les **indicateurs de trait de côte retenus** ne sont pas les mêmes pour les deux méthodes.

3.1.3.2. Un secteur Est aux fortes dissimilarités dans le temps et dans l'espace

La cartographie des 6 périodes d'évolution sur les tronçons du secteur Est laisse apparaitre **moins de variabilité** que sur le secteur Ouest (*cf. Figure 166 : Carte des rythmes d'évolution en 6 périodes sur le secteur Est, P. EMILE, 2019*). Le nombre plus important **d'ouvrages artificialisés** limite les évolutions.

A première vue, il semble y a voir une **tendance à l'accrétion** dans la période récente sur deux espaces, entre Quinéville et Aumeville-Lestre, et au niveau de Morsalines. Auprès de ces zones d'accrétion, de petits espaces en érosion apparaissent. D'une manière générale, si dans la période ancienne, le secteur se caractérisait par un **équilibre dynamique important**, depuis quelques décennies, les **évolutions, érosion et accrétion, sont plus marquées**, sans cependant atteindre des valeurs annuelles très élevées, celles-ci dépassant rarement 1 m/an.

Evolution moyenne annuelle du trait de côte sur 6 périodes entre 1947 et 2017 sur le secteur Est entre Saint-Vaast-la-Hougue et Quinévillle



Sources : BD Ortholittorale V2;
calcul des évolutions à partir des traits de côte de 1947 à 2010 (ROLNP) et de 2017 (P.EMILE),
réalisation P. EMILE, 2019

Figure 166 : Carte des rythmes d'évolution en 6 périodes sur le secteur Est, P. EMILE, 2019

6 classes ont été retenues pour la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur ce secteur Est. Cette typologie est cohérente si l'on se fie aux coefficients de variances indiqués lors de la réalisation de cette CAH. La **variance intra-classe est de 33.28 %** et la **variance inter-classe est de 66.62 %**.

Les types ne sont **pas équilibrés en nombre d'objets** puisque le type 1 regroupe 165 objets, soit plus de la moitié des tronçons du secteur. Le type 3 regroupe 67 secteurs tandis que les autres sont beaucoup moins nombreux. Le type 4 est constitué d'un seul tronçon, ce qui indique une particularité importante. En diminuant le nombre de classe et en l'intégrant dans un autre type, la typologie aurait été moins représentative du secteur car trop simpliste. Au contraire, le fait d'augmenter le nombre de classes pour séparer les éléments du type 1 n'aurait pas de sens puisque la variance intra-classe de ce type 1 est faible (0.57). Cette faible variance s'explique par le nombre important d'ouvrages artificiels qui fixent le trait de côte sur ce secteur Est et donc la faible mobilité de ces traits de côte.

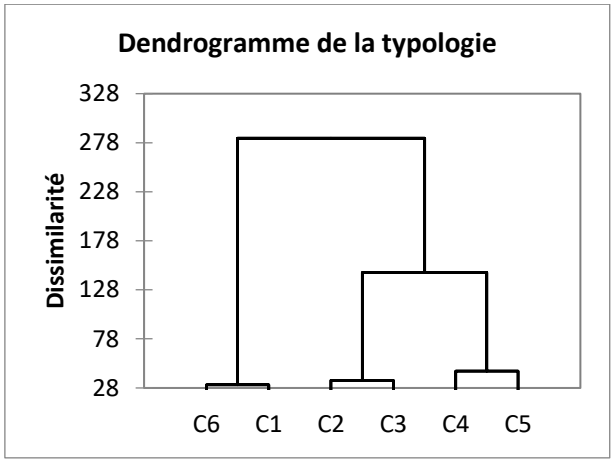


Figure 167 : Dendrogramme de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

Classe	1	2	3	4	5	6
Objets	165	10	67	1	8	16
Somme des poids	165	10	67	1	8	16
Variance intra-classe	0,571	4,007	1,717	0,000	1,257	0,768
Distance minimale au barycentre	0,085	1,129	0,368	0,000	0,456	0,242
Distance moyenne au barycentre	0,611	1,798	1,207	0,000	0,982	0,753
Distance maximale au barycentre	2,468	3,168	2,707	0,000	1,606	1,862

Figure 168 : Tableau des résultats de classe de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

Classe/Période	1947-1977	1977-1982	1982-1992	1992-2001	2001-2010	2010-2017
1	-0,045	-0,029	0,040	0,067	-0,039	-0,010
2	0,056	-1,095	1,933	-0,244	-0,196	1,037
3	0,234	0,043	0,430	-0,295	-0,067	1,746
4	-0,060	3,132	-0,453	-1,943	-0,950	11,183
5	-0,178	0,004	0,051	-0,160	0,201	5,144
6	0,222	1,361	0,341	0,118	0,141	-0,013

Figure 169 : Tableau des barycentres de classe de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

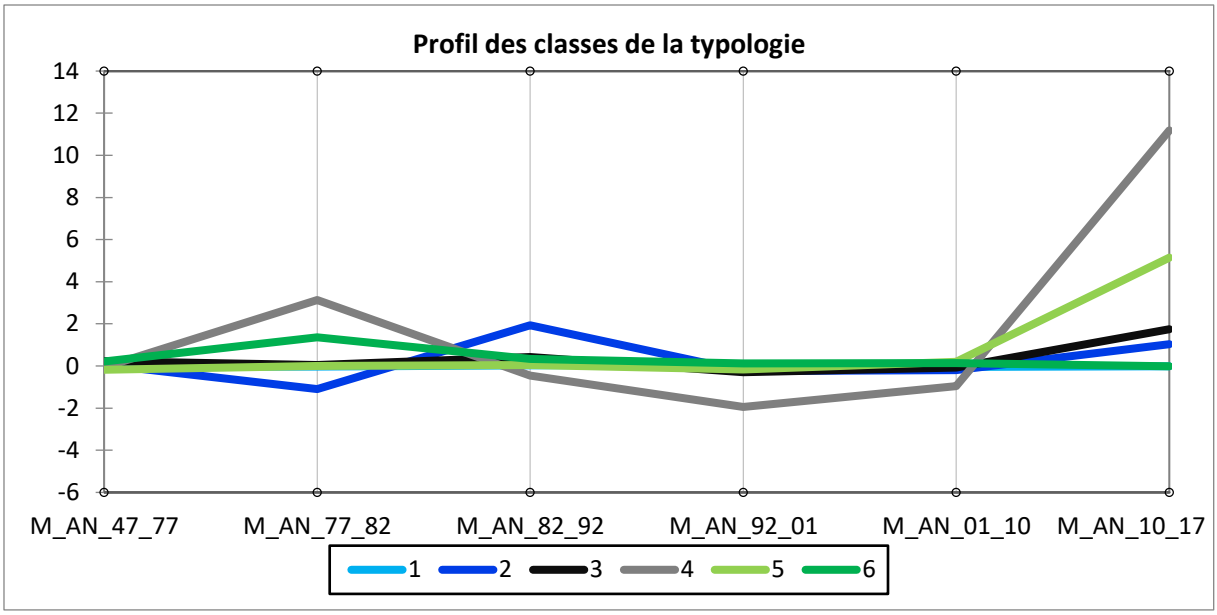


Figure 170 : Graphique des profils des classes de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

Le dendrogramme de la typologie indique des **relations fortes entre les types 1 et 2**, et un autre rapprochement entre les types 2, 3, 4 et 5 (*cf. Figure 167*).

Le **type 1** se caractérise par son équilibre dynamique entre 1947 et 2017. C'est le type qui est **majoritaire** sur le secteur d'étude avec 165 tronçons parmi les 267.

Le **type 2** alterne les phases d'équilibre dynamique (1947-77 et 2001-10), d'érosion faible à modérée (1977-82 et 1992-2001) et d'accrétion modérée (1982-92 et 2010-17).

Le **type 3** présente des phases d'équilibre dynamique ou accrétion faible (1947-92), d'érosion faible ou équilibre dynamique (1992-2001) et d'accrétion moyenne (2010-17). C'est le deuxième type le plus répandu sur le secteur Est.

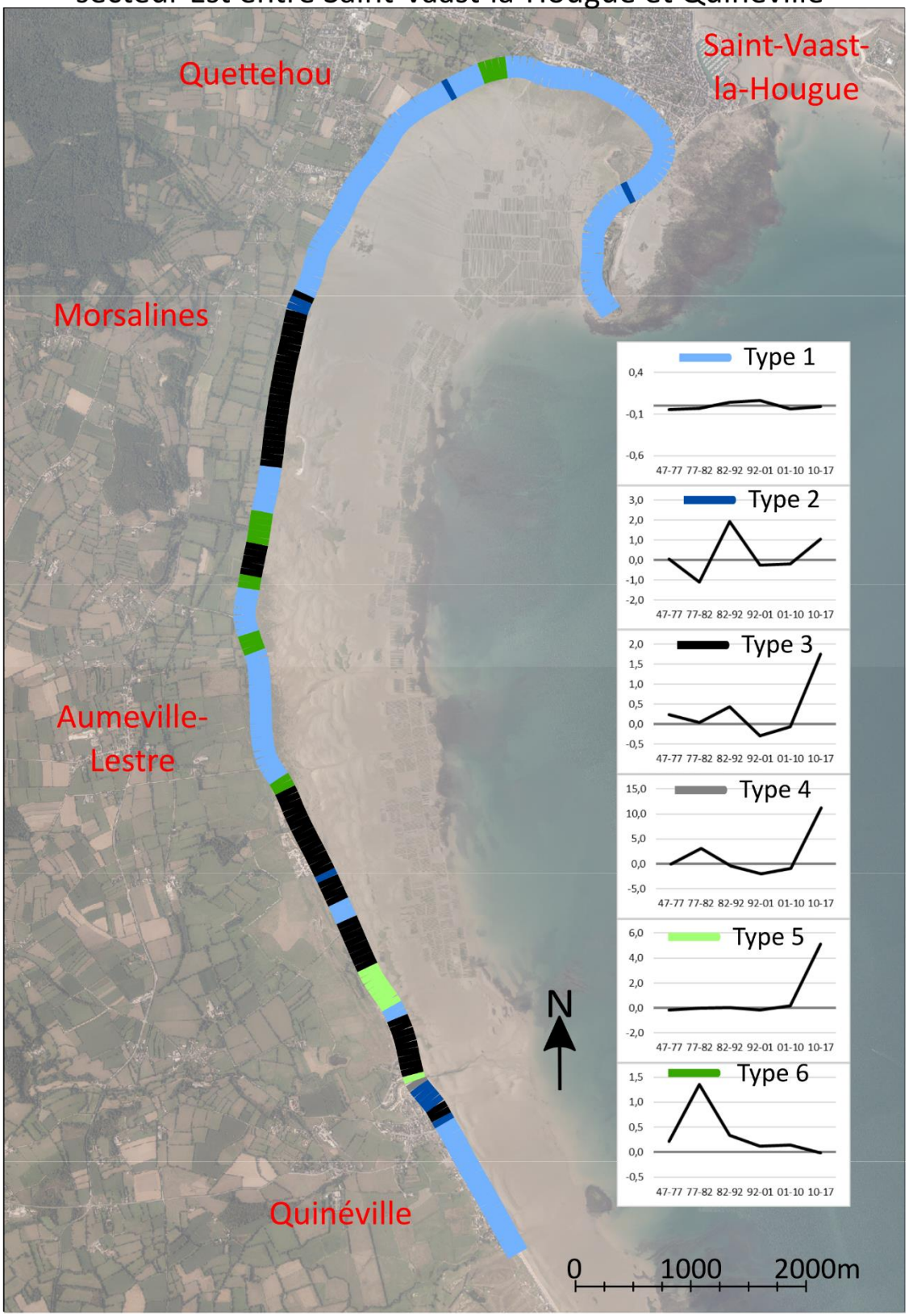
Le **type 4** se caractérise par une phase d'équilibre dynamique (1947-77) suivie de phases d'accrétion forte à très forte (1977-82 et 2010-17) entrecoupées d'érosion faible à modérée (1982-2010). Ce type ne concerne qu'un seul secteur, il peut donc être interprété comme une **particularité** et peut être mis de côté lors de l'étude pour ne pas tronquer les résultats.

Le **type 5** présente une phase d'équilibre dynamique jusqu'à 2010 puis une phase d'accrétion très forte (2010-17).

Le **type 6** présente une phase d'accrétion faible à modérée (1947-92) suivie par une phase d'équilibre dynamique (1992-2017).

Les types 4 et 5 se caractérisent par des dynamiques récentes d'accrétion importantes. Le type 1 se caractérise par son équilibre dynamique sur l'ensemble de la période. Le type 6, après une forte accrétion est aujourd'hui en équilibre dynamique. Les types 2 et 3 connaissent des fluctuations importantes et sont plutôt en accrétion sur la période récente.

Typologie des tronçons selon les rythmes des évolutions moyennes annuelles du trait de côte sur 6 périodes entre 1947 et 2017 sur le secteur Est entre Saint-Vaast-la-Hougue et Quinéville



Sources : BD Ortholittorale V2; typologie des tronçons à partir des rythmes des évolutions annuelles calculés depuis les traits de côte du ROLNP, réalisation P. EMILE, 2019

Figure 171 : Carte des types de rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019

3.1.3.3. Intérêts et limites de la méthode

Cette méthode de la **typologie des tronçons en fonction des rythmes d'évolution** permet une **approche spatio-temporelle** de l'évolution du trait de côte. Les résultats montrent une profonde **hétérogénéité des rythmes d'évolution** dans le temps et dans l'espace. Pour simplifier l'approche spatio-temporelle, la typologie permet de réaliser des grands types de tronçons qui suivent les mêmes types d'évolution pendant les 70 années d'étude, sur les 6 périodes. Des grandes zones, de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres peuvent alors être repérées et les rythmes d'évolution ne paraissent alors plus aussi hasardeux mais répondant à des caractéristiques locales qu'il faudra repérer par la suite.

Les différences entre les périodes s'expliquent surtout par l'**évolution et les ajustements du système-littoral**, mais sont **exacerbées**, comme évoqué précédemment, par le fait que les résultats dépendent **d'interprétations** de plusieurs opérateurs, et que les moyennes ne prennent pas en compte les **événements ponctuels** telles que les tempêtes, et plus globalement les variations saisonnières (*cf. Partie 3.1.2.3 Conclusions et limites de l'étude des rythmes, p 172*). Certaines photographies qui ont été prises comme base pour la photo-interprétation peuvent par exemple avoir été prises juste avant ou après un événement tempétueux, et les données seront alors tronquées.

3.1.4. Conclusion de partie

L'étude de **l'évolution des positions successives du trait de côte** par la méthode de la segmentation à 50 m fait valoir plusieurs indications principales.

Cette évolution se révèle **non homogène d'un point de vue spatial**. Les deux secteurs d'étude sont assez proches mais présentent des dynamiques très différentes avec un **secteur Ouest globalement en érosion** et un **secteur Est entre équilibre dynamique et érosion faible** entre 1947 et 2017. A l'échelle-même des secteurs, des **variations importantes** sont visibles, avec des tronçons en accrétion qui peuvent être voisins de tronçons en érosion ou en équilibre dynamique.

L'évolution est également **non homogène d'un point de vue temporel**. L'étude des rythmes d'évolution à travers 6 périodes entre 1947 et 2017 permet de montrer des **variations importantes à l'échelle de la dizaine d'années**. Les causes sont liées à l'importance des événements tempêtueux avant la photographie servant à la digitalisation, mais également aux variations des conditions hydrodynamiques et des stocks sédimentaires, et à la **constante adaptation du système**.

L'approche spatio-temporelle permet d'observer les rythmes successifs et leurs répartitions dans l'espace. La typologie des tronçons selon les rythmes permet d'observer les regroupements dans l'espace et les effets de voisinage. Il s'avère que de grands ensembles apparaissent et permettent d'élaborer des **hypothèses concernant les causes des variations d'évolution du trait de côte** à partir des indicateurs produits.

Il faut donc être vigilant lorsqu'on parle de l'évolution du littoral, car celle-ci varie selon les endroits et les périodes. Il ne faut pas généraliser de manière trop hâtive les résultats obtenus pour un espace donné.

3.2. Les éléments exposés de la bordure littorale face aux évolutions de la position du trait de côte

3.2.1. Typologie des éléments exposés dans les bandes littorales des 100 m et des 500 m

Pour évaluer un risque, il ne faut pas se contenter d'observer l'aléa, il faut aussi **repérer les enjeux humains, économiques ou matériels**. En effet, lorsqu'un aléa intervient sur un espace où il n'y a aucun enjeu important, l'aléa n'a pas de conséquences graves. C'est le cas pour les aléas côtiers, s'il y a une érosion importante sur un espace où il n'y aucune habitation et pas d'activité, les conséquences ne seront pas importantes et on ne considérera pas la présence d'un risque. En revanche, lorsqu'un aléa, même relativement faible, intervient sur un espace où il y a une importante densité de population ou encore de nombreuses activités, le risque devient important.

Pour observer ces enjeux, les bâtis indifférenciés (majoritairement des habitations), les bâtis industriels et la voirie apparaissent comme des éléments incontournables. Deux bandes littorales ont été retenues, la bande des 100 m et celle des 500 m (*cf. Partie 2.3.1.3. Typologie des zones d'éléments exposés, p 159*). Ces deux bandes permettent de repérer les éléments exposés qui pourront être concernés rapidement par l'aléa « érosion » et de les comparer avec ceux situés plus loin. Ainsi, pourra être déterminé s'il y a un effet littoral dans l'implantation du bâti.

Cette étude permettra de connaitre les éléments exposés situés dans des zones à forts aléas en croisant les données.

Pour chaque bande littorale de chaque secteur, **4 types de zones d'enjeux** ont été définis à l'aide d'une CAH, avec pour chaque cas des caractéristiques différentes. Une cartographie de ces types est réalisée et un croisement avec les types de rythmes d'évolution sont réalisés.

3.2.1.1. Dans le secteur Ouest : quelques zones de forte concentration d'éléments exposés au sein d'un espace présentant peu d'enjeux

3.2.1.1.1. De nombreuses zones faiblement exposées et des espaces aux forts enjeux dans la bande littorale des 500 m

Dans la bande des 500 m, le **type 1** se caractérise par une faible exposition d'éléments exposés, c'est de loin le type le plus représenté sur le secteur avec 162 tronçons sur les 219. Le **type 2** présente une moyenne exposition de bâtis indifférenciés et une importance relative du linéaire de voirie (moyenne de 440 m). Le **type 3** est caractérisé par une forte exposition de bâtis indifférenciés. Le **type 4** présente une moyenne exposition de bâtis indifférenciés et de bâtis industriels, ce type ne concerne qu'un seul tronçon en raison de la présence d'un seul bâti industriel sur le secteur.

Type	Surface de bâtis indifférenciés dans les 500m (m²)	Surface de bâtiments industriels dans les 100m (m²)	Longueur de routes secondaires dans les 500m (m)	Nombre de tronçons
1	114,97	0,00	78,50	162
2	445,69	0,00	440,79	27
3	1798,33	0,00	324,96	29
4	484,27	201,82	120,00	1

Figure 172 : Tableau des barycentres de classes de la typologie des zones d'éléments exposés dans la bande littorale des 500 m du secteur Ouest, P. EMILE, 2019

3.2.1.1.2. Une majorité de zones à enjeux quasi nuls dans la bande littorale des 100 m et quelques secteurs avec des éléments exposés plus nombreux

Dans la bande des 100 m, les caractéristiques sont bien différentes et les occupations nettement moins importantes pour des espaces aux surfaces 5 fois plus petites.

Le **type 1** présente une très faible exposition de bâtis indifférenciés, nulle la plupart du temps, et pas de voirie, c'est le type majoritaire sur le secteur avec 139 tronçons sur 219. Ces tronçons sont situés dans le massif dunaire de Baubigny ainsi que dans les espaces de mielles. Le **type 2** est caractérisé par une faible exposition de bâtis indifférenciés et une présence moyenne de voirie. Souvent, il s'agit de tronçons voisins d'espaces avec de plus nombreux éléments exposés, c'est en quelques sorte un espace frontalier. Le **type 3** présente une moyenne exposition de bâtis indifférenciés. Les tronçons de ce type sont majoritairement situés au niveau de Sciotot et de Surtainville. Le **type 4** se distingue par une faible exposition de bâtis indifférenciés et la présence de bâtis industriels, il n'y a qu'un seul tronçon concerné.

Type	Surface de bâtis indifférenciés dans les 100m (m²)	Surface de bâtiments industriels dans les 100m (m²)	Longueur de routes secondaires dans les 100m (m)	Nombre de tronçons
1	0,51	0,00	0,00	139
2	36,52	0,00	134,68	38
3	216,87	0,00	62,96	41
4	63,27	201,82	0,00	1

Figure 173 : Tableau des barycentres de classes de la typologie des zones d'éléments exposés dans la bande littorale des 100 m du secteur Ouest, P. EMILE, 2019

La cartographie fait apparaitre une **diminution importante du nombre d'enjeux entre la bande des 500 m et celle des 100 m** (*cf. Figure 175 : Carte des types de zones d'enjeux dans les bandes littorales des 100 m et des 500 m sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019*). Au niveau des hameaux et bourgs les plus importants de Surtainville et Sciotot, les zones littorales restent tout de même soumises à une assez forte concentration, bien que moins importante qu'à 500 m. A l'écart de ces hameaux, lorsqu'il y a des éléments exposés dans les 500 m, ce n'est la plupart du temps pas dans la bande des 100 m.

A partir des types de rythmes d'évolution obtenus dans la *Partie 3.1.3.1. Un secteur Ouest globalement en érosion sur l'ensemble de la période considérée, p 173*, il est possible de se **rendre compte si des zones de forte exposition d'enjeux coexistent avec une érosion importante du trait de côte**, notamment sur les dernières années, et donc si aléa(s) et enjeux sont présents, prédisposants d'un risque.

Pour rappel, les **types de rythmes 1 et 2** sont les types qui présentent le plus souvent des phases d'érosion. Les **types 5 et 6** connaissent une majorité de phases d'érosion ponctuées par des phases de faible accrétion. Le **type 3** présente une tendance récente à l'équilibre dynamique et l'accrétion faible. Les **types 4 et 7** sont majoritairement en équilibre dynamique.

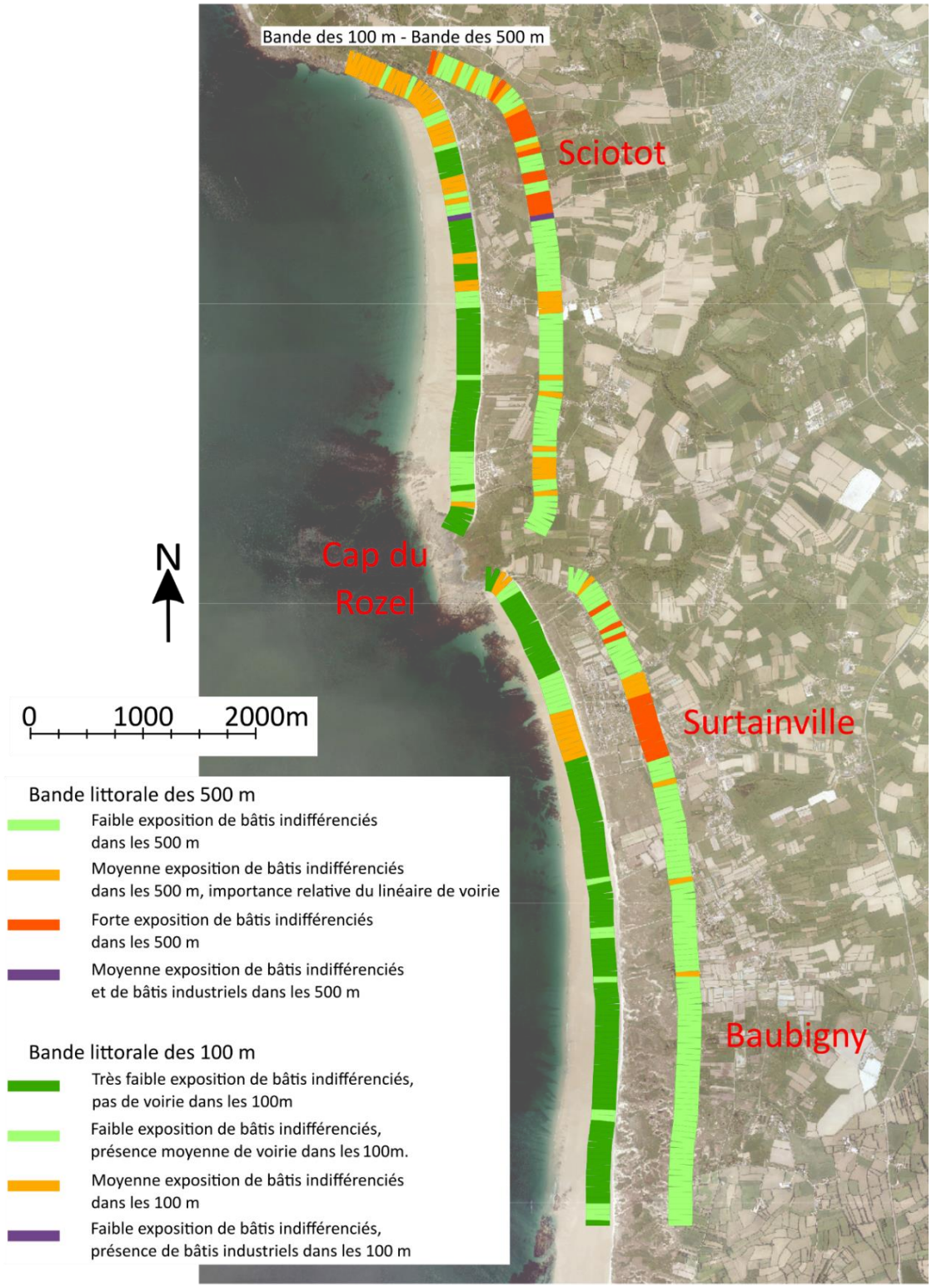
Le tableau croisé montre que les zones de **fortes concentrations d'enjeux** dans la bande littorale des 100 m sont rarement **situées dans des tronçons aux rythmes de recul élevés** (types 1 et 2), 7 tronçons sont tout de même concernés (*cf. Figure 174 : Tableau croisé des types de zones d'éléments exposés et des types de rythmes d'évolution entre 1947 et 2017* sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019). Il s'agit vraisemblablement d'éléments situés au niveau du Hameau La Plage à Surtainville. Le seul **bâti industriel** présent se situe dans une zone entre équilibre dynamique et accrétion faible.

	Type 1 de rythmes d'évolution	**Type 2 de rythmes d'évolution**	**Type 3 de rythmes d'évolution**	**Type 4 de rythmes d'évolution**	**Type 5 de rythmes d'évolution**	**Type 6 de rythmes d'évolution**	**Type 7 de rythmes d'évolution**
Type 1 de zone d'enjeux	35	13	39	17	18	17	
Type 2 de zone d'enjeux	4	9	7	13	2	1	2
Type 3 de zone d'enjeux		7	10	15		3	6
Type 4 de zone d'enjeux			1				

Figure 174 : Tableau croisé des types de zones d'éléments exposés et des types de rythmes d'évolution entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019

Les quelques **Points d'Activité et d'Intérêt** présents sur ce secteur Ouest sont des **campings** (c*f. Partie 1.4.4. Des éléments exposés inégalement répartis au sein des secteurs, p 121*). Ceux-ci sont situés dans des zones de type 2 et 3, présentant une exposition d'enjeux moyenne à forte dans la bande des 100 m, ils sont plutôt à l'écart des bourgs. D'après la lecture des cartes des rythmes d'exposition, il s'agit de tronçons plutôt stables sur ces dernières années, en raison de protections artificiels, mais qui était en érosion préalablement. Ce sont donc des **secteurs à risque** en cas de rupture d'ouvrage.

Typologie des éléments exposés
dans les bandes littorales des 100 m et 500 m
sur le secteur Ouest entre Sciotot et Baubigny



Sources : BD Ortholittorale V2;
typologie réalisée à partir des éléments de la BD TOPO 2018 de la Manche (IGN),
réalisation P. EMILE, 2019

Figure 175 : Carte des types de zones d'enjeux dans les bandes littorales des 100 m et des 500 m sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019

3.2.1.2. Dans le secteur Est, une majorité d'espaces d'assez faibles enjeux et des zones avec de nombreux bâtis indifférenciés et industriels exposés

3.2.1.2.1. Des enjeux relativement faibles sur les deux tiers du secteur et une exposition importante de bâtis indifférenciés et/ou industriels dans le reste de la bande des 500 m

Dans la bande des 500 m, le **type 1** présente une faible exposition de bâtis indifférenciés, c'est de loin le type le plus répandu avec 207 tronçons parmi les 267. Le **type 2** se caractérise par une moyenne exposition de bâtis indifférenciés et une forte exposition de bâtis industriels. Le **type 3** présente une forte exposition de bâtis indifférenciés et de voirie. Le **type 4** se caractérise par une très forte exposition de bâtis indifférenciés et une forte exposition de bâtis industriels et de voirie.

Type	Surface de bâtis indifférenciés dans les 500m (m²)	Surface de bâtiments industriels dans les 500m (m²)	Longueur de routes secondaires dans les 500m (m)	Nombre de tronçons
1	278,915	5,655	64,434	207
2	403,773	1495,224	181,933	15
3	1631,218	67,787	465,436	29
4	7989,628	1152,928	623,248	16

Figure 176 : Tableau des barycentres de classes de la typologie des zones d'éléments exposés dans la bande littorale des 500 m du secteur Est, P. EMILE, 2019

3.2.1.2.2. Des enjeux très faibles sur une majorité du secteur dans la bande littorale des 100 m avec quelques zones aux nombreux bâtis indifférenciés ou à très forte concentration de bâtiments industriels

Dans la bande des 100 m, le **type 1** est caractérisé par une faible exposition de bâtis indifférenciés et industriels, c'est le type le plus représenté avec 179 tronçons sur les 267. Les tronçons de ce type se situent notamment au niveau de la Pointe de la Hougue, des espaces de transition entre les hameaux, et les zones humides au niveau d'Aumeville-Lestre. Le **type 2** présente une faible exposition de bâtis indifférenciés et industriels, et un linéaire de voirie important. Le **type 3** se caractérise par une forte exposition de bâtis indifférenciés et de voirie. Les tronçons de ce type sont ceux des hameaux et zones urbanisées. Ils sont majoritairement situés au niveau de Saint-Vaast-la-Hougue, du Hameau Le Rivage et du bourg de Quinéville. Le **type 4** se distingue par une forte exposition de bâtis indifférenciés et une très forte exposition de bâtis industriels. Ce type est peu répandu avec 4 tronçons sur les 267 situés à Saint-Vaast-la-Hougue dans la zone ostréicole.

Type	Surface de bâtis indifférenciés dans les 100m (m²)	Surface de bâtiments industriels dans les 100m (m²)	Longueur de routes secondaires dans les 100m (m)	Nombre de tronçons
1	35,113	20,591	20,743	179
2	52,912	11,636	149,651	39
3	839,368	20,079	115,974	45
4	930,309	2475,821	30,409	4

Figure 177 : Tableau des barycentres de classes de la typologie des zones d'éléments exposés dans la bande littorale des 100 m du secteur Est, P. EMILE, 2019

Pour rappel, les **types de rythmes d'évolution 4 et 5** se caractérisent par des dynamiques récentes d'accrétion importantes. Le **type 1** se caractérise par son équilibre dynamique sur l'ensemble de la période. Le **type 6**, après une forte accrétion est aujourd'hui en équilibre dynamique. Les **types 2 et 3** connaissent des fluctuations importantes et sont plutôt en accrétion sur la période récente.

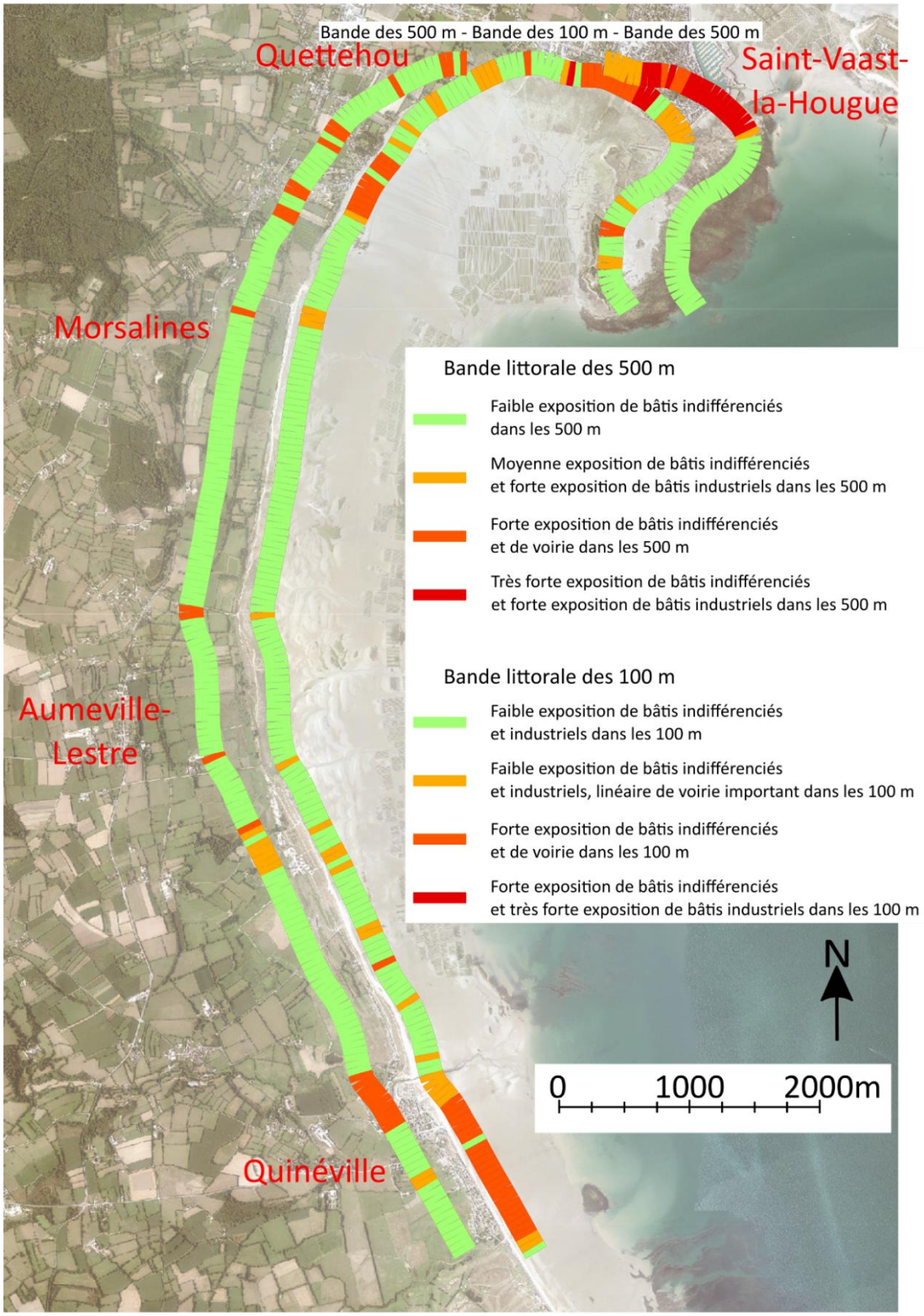
Le tableau croisé des types de zones d'enjeux et des types de rythmes d'évolution présente les corrélations entre ces deux variables et la totalité des zones de forte concentration de bâtis industriels se situent dans des tronçons en équilibre dynamique, protégés par des perrés.

	Type 1 de rythmes d'évolution	**Type 2 de rythmes d'évolution**	**Type 3 de rythmes d'évolution**	**Type 4 de rythmes d'évolution**	**Type 5 de rythmes d'évolution**	**Type 6 de rythmes d'évolution**
Type 1 de zone d'enjeux	98	5	54		6	16
Type 2 de zone d'enjeux	23	3	10	1	2	
Type 3 de zone d'enjeux	40	2	3			
Type 4 de zone d'enjeux	4					

Figure 178 : Tableau croisé des types de zones d'éléments exposés et des types de rythmes d'évolution entre 1947 et 2017 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019

Plusieurs **PAI** (Points d'Activité et d'Intérêts) coexistent sur ce secteur Est, il y a notamment un **EHPAD**, un **lycée**, **3 campings** mais également **3 mairies** et **2 Zones Industrielles** dans la bande des 1000 m (c*f. Partie 1.4.4. Des éléments exposés inégalement répartis au sein des secteurs, p 121*). Ces éléments sont placés dans les types 3 et 4, c'est-à-dire les zones présentant le plus d'éléments exposés. Comme on a pu le voir, les tronçons de ce type sont globalement des tronçons dont le trait de côte est en équilibre dynamique car figé par des aménagements artificiels.

Typologie des éléments exposés
dans les bandes littorales des 100 m et 500 m
sur le secteur Est entre Saint-Vaast-la-Hougue et Quinéville



Sources : BD Ortholittorale V2;
typologie réalisée à partir des éléments de la BD TOPO 2018 de la Manche (IGN),
réalisation P. EMILE, 2019

Figure 179 : Carte des types de zones d'enjeux dans les bandes littorales des 100 m et des 500 m sur le secteur Est, P. EMILE, 2019

3.2.2. Le bâti dans les zones basses

Pour approcher la **notion de risque** en croisant aléa et éléments exposés, l'étude du **bâti dans les zones basses** est intéressante. A partir de la couche « bâtis indifférenciés » de la BD TOPO de la Manche (IGN, 2018) et des zones basses (Géolittoral), il est possible de croiser ces informations pour connaitre le nombre de **bâtis exposés selon le niveau d'eau en cas de niveau marin d'occurrence centennal**.

Comme cela a été étudié précédemment, les deux secteurs sont concernés par les zones basses (*cf. 1.1.2.1. Un relief important dans le Nord-Cotentin et des zones basses le long des côtes et au niveau des marais de Carentan, p 39*). L'étude fait néanmoins apparaitre que les **expositions de bâtis sont différentes sur chacun des secteurs**. Pour rappel les bâtis indifférenciés de la BD TOPO sont en grande partie des habitations mais pas seulement, il n'y a pas de base de données spécifique aux habitations.

Sur le **secteur Ouest**, dans les zones basses atteintes par le niveau le niveau marin centennal, il y a 301 bâtis indifférenciés (*cf. Figure 180 : Graphique du nombre de bâtis dans les zones basses du secteur Ouest, P. EMILE, 2019*). L'aléa est relativement faible car centennal mais il concerne quand même de **nombreux bâtis**. Le nombre de bâtis est encore **élevé** pour les zones basses dans lesquelles un niveau marin centennal coïnciderait avec un **niveau d'eau de 0.5 m**. Les bâtis sont donc potentiellement inondables. Le **nombre de bâtis diminue** rapidement dans les zones basses dont les niveaux d'eau seraient supérieurs à **1.5 m** (39 bâtis) puis **2.5 m** (3 bâtis). Cependant, il y a tout de même des éléments exposés, et si des aménagements adaptés ne sont pas réalisés, il s'agit potentiellement **d'éléments soumis à un risque important d'inondation**.

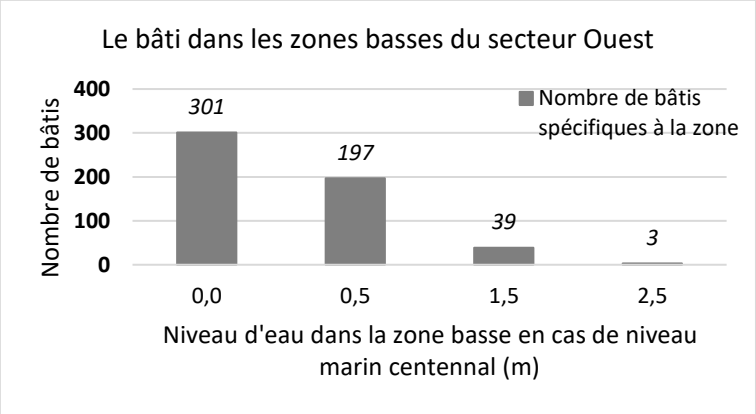


Figure 180 : Graphique du nombre de bâtis dans les zones basses du secteur Ouest, P. EMILE, 2019

Sur le **secteur Est**, les **nombres de bâtis sont encore plus élevés dans les zones basses** (*cf. Figure 181 : Graphique du nombre de bâtis dans les zones basses du secteur Est, P. EMILE, 2019*).

702 bâtis sont en effet situés dans les **zones basses atteintes par un niveau marin centennal**. Le nombre de bâtis spécifiquement situés dans les zones basses dont les niveaux d'eau atteints seraient de **0.5 m et 1.5 m** est encore **plus élevé** avec respectivement 895 et 840 bâtis exposés. Dans la zone basse dont le niveau d'eau serait de **2.5 m** en cas de niveau marin centennal, le nombre de bâtis est moins élevé mais reste tout de même **important avec 63 bâtis** concernés.

Sur ce secteur, de **nombreux aménagements littoraux** ont été réalisés, notamment pour protéger de la submersion les zones basses situées en arrière. Cependant, le risque reste bien présent et un Plan de Prévention des Risques a été établi sur les communes de Saint-Vaast-la-Hougue, Réville et Quettehou (DDTM de la Manche, 2016).

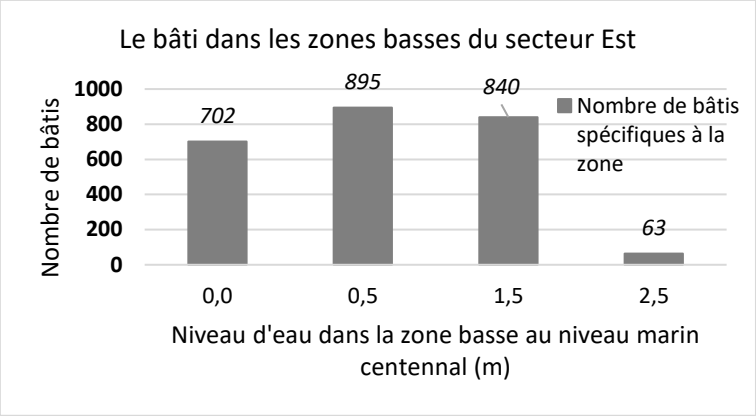


Figure 181 : Graphique du nombre de bâtis dans les zones basses du secteur Est, P. EMILE, 2019

Il faut rappeler que la base de données sur les zones basses ne « *renseigne pas sur la microtopographie* » (*Pehrerin, 2009*) et sur les aménagements de protection. Cette base de données sur les zones basses n'est en effet basée que sur les altitudes et les niveaux marins à différentes occurrences. Il est ainsi possible que les bâtis considérés comme fortement exposés ne le soient pas dans les faits. Pour s'en assurer, il faudrait procéder à une vérification au cas par cas.

Cette étude permet de constater que de **nombreux aménagements ont été faits en zones basses**, sur les deux secteurs d'étude. Cela peut expliquer l'importante protection du littoral, notamment sur le secteur Est pour protéger des submersions, même s'il ne s'agit pas d'un secteur fréquemment impacté par des conditions hydrodynamiques intenses en raison de sa position d'abri. Dans le cadre des changements climatiques, les aléas pourraient devenir plus intenses et plus fréquents, et de nouvelles mesures de protection devront être adoptées.

3.2.3. Conclusion de partie

L'approche par tronçons de 50 m permet d'observer que les **éléments exposés sont inégalement répartis** sur les deux secteurs. Il s'agit principalement de **bâtis d'habitation** ou liés aux **activités industrielle et touristique**. Il y a de nombreux éléments exposés dans la bande des 100 m sur certains tronçons du secteur Est, et relativement peu à l'Ouest.

Le fait de **croiser les données entre aléa et enjeux permet de connaitre le risque à l'échelle d'un tronçon de 50 m**. C'est le cas en croisant les zones basses et les bâtis, qui informe que de nombreux bâtis sont présents en zones soumises à l'aléa inondation. Cela explique l'importance des ouvrages artificiels longitudinaux sur certaines parties pour faire office de protection vis-à-vis de l'érosion et de la submersion marine.

3.3. Essai d'interprétation des liens de causalité entre l'évolution du trait de côte et diverses variables du littoral

Après avoir démontré **l'hétérogénéité des types d'évolutions du trait de côte** sur les deux secteurs d'étude, il est intéressant de se poser la question de la **causalité** et des conséquences de celle-ci. Le littoral étant un système, de nombreux éléments rentrent en interrelation. Parmi eux, j'ai fait le choix de retenir la **nature du trait de côte**, la **nature de l'estran** dans la bande des 500 m, et la **géologie** dans la bande des 1000 m. Ces paramètres me paraissent être parmi les plus susceptibles d'influer sur l'évolution du trait de côte. Pour étudier les relations entre ces variables explicatives et l'évolution, j'ai adopté la méthode de la régression linéaire. La méthode et les paramètres retenus ont été présentés précédemment (*cf. Partie 2.3.2. Appréhender les interrelations entre variables à l'aide de la régression linéaire, p 160*).

L'approche se fait à partir des **taux d'occupation** (en %) de chaque nature pour chaque élément, en effet, la variabilité des natures sur des mêmes tronçons ne permettait pas de ne se focaliser que sur la principale (*cf. Figure 182 : Tableau extrait de la base de données servant au test de régression linéaire entre les natures d'estran et l'évolution du trait de côte entre 1947 et 2017, P. EMILE, 2019*).

Tronçon	Evolution entre 1947 et 2017 (m/an)	Taux de chenaux (%)	Taux de galets (%)	Taux de platier rocheux (%)	Taux de sables moyens (%)
1	-1,04	0,00	0,00	6,73	89,54
2	-0,83	0,00	0,00	6,77	90,30
3	-0,59	0,00	0,00	8,98	88,40
4	-0,99	0,00	0,00	14,38	83,34
5	-0,93	0,00	0,00	16,95	80,81
6	-0,70	0,00	0,00	15,59	83,04
7	-0,59	0,00	0,00	6,40	92,72
8	-0,59	0,00	0,00	5,16	94,16
9	-0,50	0,00	0,00	4,70	94,64
10	-0,56	0,00	0,00	4,47	94,52
11	-0,51	0,00	0,00	4,21	94,14
12	-0,49	0,00	0,00	4,07	93,81
13	-0,45	0,00	0,00	3,55	94,69
14	-0,40	0,00	0,00	2,62	96,17
15	-0,36	0,00	0,00	2,49	96,08
16	-0,32	0,00	0,00	3,02	94,39
17	-0,26	0,00	0,00	3,00	93,54
18	-0,20	0,00	0,00	3,22	92,08

Figure 182 : Tableau extrait de la base de données servant au test de régression linéaire entre les natures d'estran et l'évolution du trait de côte entre 1947 et 2017, P. EMILE, 2019

Chacun de ces éléments sera étudié sur chaque secteur, et l'étude cherchera à affirmer ou infirmer les hypothèses émises.

3.3.1. La nature du trait de côte : un indicateur et un témoin de l'évolution

3.3.1.1. Données utilisées et hypothèses

La nature du trait de côte est le paramètre qui parait être le plus en lien avec l'évolution du littoral. En effet, **selon le type de côte, l'érosion sera plus ou moins facilitée**.

Les données utilisées pour appréhender les natures de trait de côte sont celles qui ont servi d'indicateurs aux opérateurs du ROL pour la digitalisation du trait de côte de 2010 (*cf. 1.3.1. Les traits de côte : des longs cordons dunaires, des tronçons végétalisés et des traits de côte artificialisés, p.66*). Ces données ont été croisées aux tronçons réalisés pour la segmentation pour connaitre le taux de linéaire (%) de chaque type de trait de côte pour chacun des tronçons.

Plusieurs hypothèses sont envisageables avant une étude précise.

Quand le trait de côte est composé de cordon dunaire non végétalisé, il sera plutôt érosion car les sédiments peuvent avoir du mal à se fixer

Quand le trait de côte est composé d'ouvrages artificiels, il sera en équilibre dynamique après la pause de l'ouvrage, et plutôt érosion car il s'agit de zones exposées. Ce résultat peut être tronqué par le fait que certains ouvrages ont pour but d'accumuler les sédiments en bloquant la dérive littorale

Quand le trait de côte est constitué d'une falaise, il sera plutôt en faible érosion sur un temps long, ou en équilibre dynamique.

3.3.1.2. La nature de trait de côte sur le secteur Ouest en grande partie explicative de l'évolution

Le secteur Ouest se distingue par **plusieurs natures de trait de côte** parmi lesquelles un **pied de dune** (7,7 km), de la **végétation dunaire** (1,9 km), de la **végétation non-dunaire** (1,7 km), des **ouvrages artificiels** (800 m) ou encore un **haut de falaise** (500 m).

D'après le coefficient de détermination R^2 obtenu lors du test de régression linéaire, l'ensemble des variables sur la nature du trait de côte expliquent **52.8 % de la variation** ($R^2 = 0.528$). Il s'agit donc d'un indicateur important dans la variation. D'après le test de Fisher, la probabilité que les variables n'expliquent pas la variation de l'évolution du trait de côte est de moins de 0.0001 (Pr>F).

Variable	Min	Max	Moy	Ecart-type
Evolution du trait de côte entre 1947 et 2017 (m/an)	-1,3	0,31	-0,45	0,37
Taux d'estimation	0	9,23	0,08	0,82
Taux de haut de falaise	0	79,08	1,73	9,43
Taux de haut de falaise dunaire	0	49,85	0,44	4,05
Taux de limite côté mer de la végétation dunaire	0	65,3	8,55	19,27
Taux de limite de végétation (hors dune)	0	71,13	3,52	13,24
Taux de pied de dune	0	97,25	35,30	24,98
Taux de trait de côte artificiel	0	61,87	3,74	13,05

Figure 183 : Tableau des statistiques descriptives des données des natures de traits de côte sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

Les résultats obtenus par le test montrent que le type « **Pied de dune » est bien corrélé à l'érosion du trait de côte**. En effet, l'intervalle de confiance à 95 % des coefficients normalisés fait valoir des taux d'évolution entre -1.091 et -0.388 m/an d'évolution (*cf. Figure 184 et Figure 185*). Il s'agit de valeurs correspondant à une **érosion faible**. De plus la probabilité que cette variable n'explique pas la variation qui est très faible (inférieure à 0.0001). Il s'agit des tronçons situés au Sud de Sciotot et au Sud du Cap du Rozel.

Les traits de côte basés sur le **haut de falaise** et sur la **limite de végétation** (dunaire ou non) sont également des **variables explicatives** de l'évolution. Pour ces 3 types, il s'agit majoritairement de tronçons en **équilibre dynamique**. En effet dans ces cas, d'une part, les roches des falaises du secteur sont résistantes et donc peu soumises à l'érosion, et d'autre part les sédiments sont fixés par la végétation.

Le trait de côte artificiel n'est lui **pas une variable bien explicative** sur ce secteur avec une probabilité d'erreur de 0.561. Cela est dû à la diversité des usages des ouvrages artificiels du secteur, et à leurs tailles différentes. Ces tronçons sont la plupart du temps en **équilibre dynamique**.

Variable	Borne inférieure de l'évolution (95%) (m/an)	Borne supérieure de l'évolution (95%) (m/an)	Test F de Fisher	Probabilité associée au F Pr > F
Taux d'estimation	-0,07	0,12	2,65	0,11
Taux de haut de falaise	-0,11	0,17	20,23	**< 0,0001**
Taux de haut de falaise dunaire	-0,12	0,11	2,48	0,12
Taux de limite côté mer de la végétation dunaire	-0,37	0	68	**< 0,0001**
Taux de limite de végétation (hors dune)	-0,18	0,18	46,64	**< 0,0001**
Taux de pied de dune	-1,09	-0,39	95,56	**< 0,0001**
Taux de trait de côte artificiel	-0,14	0,26	0,34	0,56

Figure 184 : Tableau des tests de Fisher pour les natures de traits de côte et bornes des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

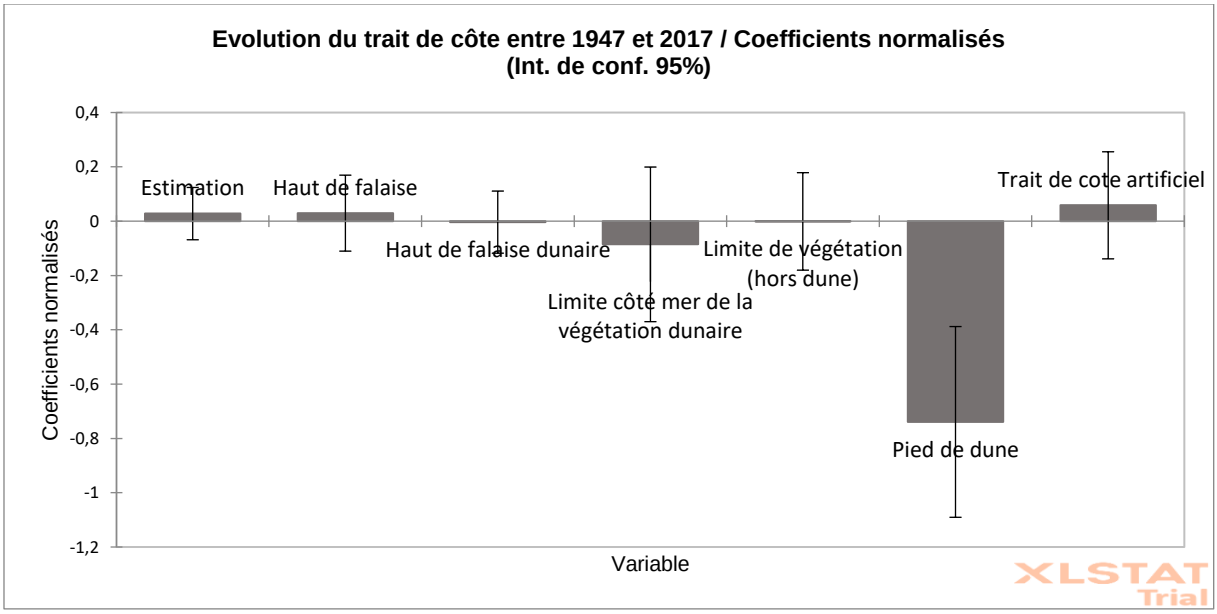


Figure 185 : Graphique des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte pour chaque nature de trait de côte sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

3.3.1.3. La nature de trait de côte sur le secteur Est en partie explicative de l'évolution

Le secteur Est se caractérise par des indicateurs basés sur la **végétation dunaire** (7,5 km), la **végétation non dunaire** (2,7 km), et les **ouvrages artificiels** (4 km).

Le coefficient de détermination fait valoir d'une explication moins importante de l'évolution côtière par l'ensemble de ces variables sur la nature du trait de côte avec 25 % d'explication de la variance. Il s'agit tout de même d'un facteur bien explicatif car la probabilité associée au test de Fisher, définissant le risque d'erreur, est inférieure à 0.0001. La plus faible explication des variables explicatives est en lien avec les **variations de trait de côte moins importantes** et moins homogènes que sur le secteur Ouest.

Variable	Min	Max	Moy	Ecart-type
Evolution du trait de côte entre 1947 et 2017 (m/an)	-0,25	0,88	0,11	0,28
Estimation	0	32,26	0,26	2,75
Limite côté mer de la végétation dunaire	0	135,53	28	26,81
Limite de végétation (hors dune)	0	79,16	10,36	20,75
Trait de côte artificiel	0	78,98	15,15	23,28

Figure 186 : Tableau des statistiques descriptives des données des natures de traits de côte sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

La **nature de trait de côte la plus explicative** de la variation de l'évolution du trait de côte est la **limite de végétation dunaire** (*cf. Figure 187 et Figure 188*). D'après les bornes définies à l'intervalle de confiance de 95 %, la quasi-totalité des tronçons présentant cette nature a une évolution comprise entre 0004 et 0.021 m/an, c'est-à-dire qu'ils sont en **équilibre dynamique**.

Les **traits de côte artificiels sont moins explicatifs**, avec une probabilité d'erreur de 0.17. Ils concernent à la fois des tronçons en **équilibre dynamique** et des tronçons en **accrétion faible** (bornes de -0.1 à 0.54 m/an).

Il n'y a pas de variables spécifiques à l'érosion car les tronçons concernés sont peu nombreux.

Variable	Borne inférieure de l'évolution (95%) (m/an)	Borne supérieure de l'évolution (95%) (m/an)	Test F de Fisher	Probabilité associée au F Pr > F
Estimation	0,05	0,26	6,26	**0,01**
Limite côté mer de la végétation dunaire	0,36	1,09	79,64	**< 0,0001**
Limite de végétation (hors dune)	-0,09	0,47	0,03	0,85
Trait de côte artificiel	-0,1	0,54	1,91	0,17

Figure 187 : Tableau des tests de Fisher pour les natures de traits de côte et bornes des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

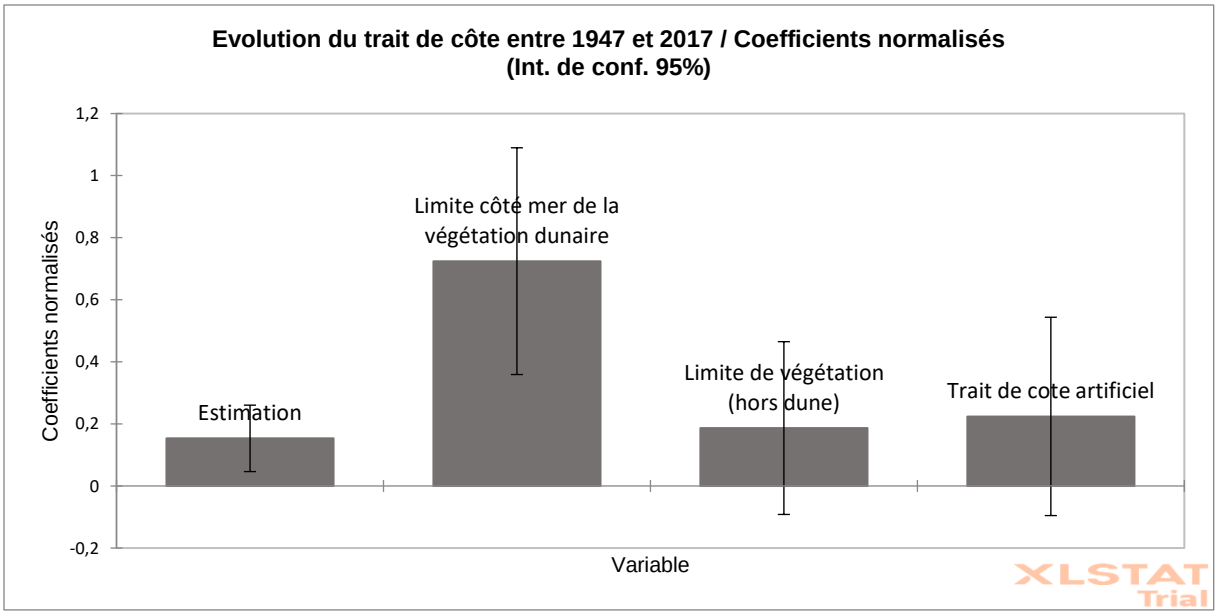


Figure 188 : Graphique des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte pour chaque nature de trait de côte sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

3.3.1.4. Conclusion sur les liens de causalité entre nature de trait de côte et évolution

Les tronçons occupés par un **trait de côte artificiel** font valoir d'un équilibre dynamique majoritaire sur les deux secteurs d'étude, avec quelques-uns en accrétion faible sur le secteur Est.

La **végétation, notamment dunaire** semble favoriser l'équilibre dynamique ou l'accrétion faible en raison de la fixation plus aisée des sédiments. Cependant, ce n'est pas toujours le cas avec quelques tronçons de cette nature qui sont en érosion faible sur le secteur Ouest.

Le **pied de dune** est caractérisé par l'érosion faible quasi généralisée.

Enfin, les **falaises** sont pour les secteurs d'étude en lien avec un équilibre dynamique. L'érosion est très lente. Ce n'est cependant pas le cas partout puisque selon les matériaux, certains types se caractérisent par des reculs très rapides liés à des éboulements ou à une érosion intense par la mer (falaises de craie).

Ainsi que le montrent les coefficients de détermination et les résultats de la régression linéaire, la **nature du trait de côte est bien une variable explicative de l'évolution** de celui-ci.

3.3.2. La nature de l'estran : un indice assez faible sur l'évolution du trait de côte

3.3.2.1. Données utilisées et hypothèses

La **nature de l'estran** semble également être un **bon indicateur de l'évolution du trait de côte**. Les données utilisées pour le test de régression linéaire sont issues de la BD Nature des estrans de la Manche (*cf. Partie 1.3.2. Des estrans de sables moyens et des platiers rocheux sur la façade Ouest ; des sables fins, des sédiments vaso-sableux et du schorre à l'Est, p. 99*).

Pour chaque nature d'estran, le taux de d'occupation a été calculé de chaque boite de 50 m de large et de 500 m de long côté mer.

Plusieurs hypothèses peuvent être imaginées.

La granulométrie rendant les sédiments plus ou moins mobilisables par les différents agents de transport, il est probable qu'elle ait une relation avec l'évolution côtière. Ainsi, plus le sédiment est fin, plus facilement il est mobilisable. Il peut donc être témoin d'une forte mobilité et potentiellement d'une érosion. Cependant, une accumulation de sédiments fins peut aussi signifier de faibles mouvements et donc une dynamique d'équilibre ou d'accrétion.

La présence de schorre peut traduire le fait qu'il y a peu de mouvements, et donc une accrétion ou un équilibre dynamique.

Pour le platier rocheux, il y a deux possibilités d'interprétation. Il peut traduire un équilibre dynamique et de faibles processus hydrodynamiques qui ne permettent pas leur érosion. Ou alors, ils traduisent une érosion et un abaissement de la plage qui rendent visible le platier rocheux.

3.3.2.2. Les natures d'estran sur le secteur Ouest

A l'aide d'une Classification Ascendante Hiérarchique, une **typologie en 3 types** a pu être réalisée (cf. *Figure 189 : Tableau des 3 types d'estran du secteur Ouest, P. EMILE, 2019*). Les **sables moyens** et les **platiers rocheux** étant les natures les plus caractéristiques sur ce secteur, ce sont elles qui font le plus influencer la typologie.

Le **premier type** concerne plus de la moitié des tronçons. Il s'agit de tronçons dans lesquels il y a une **présence quasi exclusive de sables moyens** et une présence ponctuelle de platiers rocheux.

Le **second type** se caractérise par la **prédominance des sables moyens** et la présence relativement importante de **platiers rocheux** (environ 1/5ème de l'estran).

Le **troisième type** est marqué par une **équivalence entre les taux de platiers rocheux et de sables moyens**. Il s'agit majoritairement des tronçons situés à proximité des caps rocheux de Flamanville et du Rozel.

Type	Nombre d'objets	Chenaux	Galets	Platiers rocheux	Sables moyens
1	127	0,09	0,67	2,90	93,26
2	47	0,00	0,42	20,33	75,52
3	45	0,00	0,17	44,08	44,76

Figure 189 : Tableau des 3 types d'estran du secteur Ouest, P. EMILE, 2019

Sur le secteur Ouest, le coefficient de détermination indique une **explication de l'évolution du trait de côte par la nature de l'estran à hauteur de 16.4 %**. Il s'agit d'un taux relativement bas, mais qui permet tout de même d'affirmer qu'il y a un lien entre ces deux éléments. La probabilité liée au test de Fisher indique un risque inférieur à 0.0001 que la variation ne soit pas du tout expliquée par la nature de l'estran.

Variable	Min	Max	Moy	Ecart-type
Evolution du trait de côte entre 1947 et 2017 (m/an)	-1,3	0,31	-0,45	0,37
Taux de chenaux	0	9,56	0,05	0,65
Taux de galets	0	7,49	0,51	1,69
Taux de platiers rocheux	0	92,1	15,11	17,82
Taux de sables moyens	7,91	100	79,49	21,26

Figure 190 : Tableau des statistiques descriptives des données des natures d'estrans sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

Les résultats de la régression et les bornes des coefficients normalisés à l'intervalle de confiance de 95 % font apparaitre que les **cordons de galets** sont quasiment exclusivement présents dans des **zones en accrétion faible** (0.2 à 0.45 m/an). Il s'agit du type le plus explicatif parmi les natures d'estran.

Les **sables moyens** sont pour leur part plus importants dans les **tronçons en équilibre dynamique et en érosion**.

Les **platiers rocheux** sont plutôt présents dans des zones en érosion mais leur taux ne semble pas très lié à l'évolution du trait de côte. Les chenaux sont trop peu nombreux pour permettre des conclusions sur leur corrélation avec l'évolution.

Variable	Borne inférieure de l'évolution (95%) (m/an)	Borne supérieure de l'évolution (95%) (m/an)	Test F de Fisher	Probabilité associée au F Pr > F
Taux de chenaux	-0,05	0,2	1,54	0,22
Taux de galets	0,2	0,45	33,51	**< 0,0001**
Taux de platiers rocheux	-0,63	-0,08	0,48	0,49
Taux de sables moyens	-0,62	-0,08	6,32	**0,01**

Figure 191 : Tableau des tests de Fisher pour les natures d'estran et bornes des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

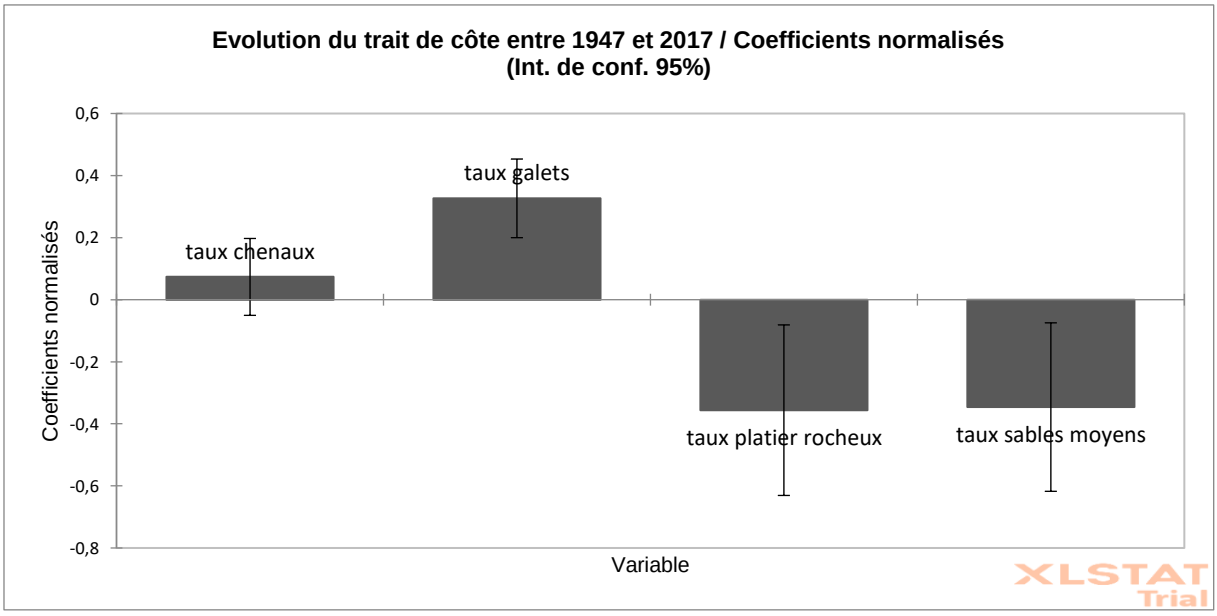


Figure 192 : Graphique des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte pour chaque nature d'estran sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

3.3.2.3. Les natures d'estran sur le secteur Est

A l'aide d'une Classification Ascendante Hiérarchique, une **typologie en 3 types** a également pu être réalisée (cf. *Figure 193 : Tableau des 3 types principaux d'estran du secteur Est, P. EMILE,* 2019). Les **sables fin**s, les **sédiments vaso-sableux** et le **schorre** sont les natures d'estran les plus influentes.

Le **premier type** concerne près des 2/3 des tronçons. Il se caractérise par la **prédominance des sables fins**, et il peut y avoir ponctuellement présence de **galets**. Il s'agit des zones situées entre le hameau Le Rivage au Sud de Quettehou et Aumeville-Lestre, et au Sud d'Aumeville-Lestre.

Le **second type** d'estran est dominé par la présence de **schorre** sur plus de la moitié de la bande des 500 m. Il y a également des taux importants de **sables fins** en bas de plage. Ce type concerne les tronçons situés au niveau de la Pointe de la Hougue et la zone de La Redoute à Aumeville-Lestre.

Le **troisième type** se caractérise par la présence importante de **sédiments vaso-sableux** et par des taux assez importants de **sables fins**. Il peut y avoir également une présence de galets et de platiers rocheux. Ce type concerne en grande majorité l'Anse du Cul de Loup.

Type	Nombre d'objets	Chenaux	Galets	Platiers rocheux	Sédiments vaso-sableux	Sables fins	Schorre
1	173	0,19	5,64	1,53	1,08	87,47	1,58
2	36	0,64	0,00	0,00	1,16	36,08	61,02
3	58	1,65	7,90	3,97	55,33	27,29	0,97

Figure 193 : Tableau des 3 types principaux d'estran du secteur Est, P. EMILE, 2019

Les natures d'estran du secteur Est sont des variables qui semblent expliquer **19.3 % de la variation** de l'évolution du trait de côte de 1947 à 2017 d'après le test de régression linéaire. La probabilité associée au test de Fisher indique la quasi-certitude qu'il y ait un lien entre les deux types de variables (probabilité d'erreur de 0.0001).

Variable	Min	Max	Moy	Ecart-type
Evolution du trait de côte entre 1947 et 2017 (m/an)	-0,25	0,88	0,11	0,22
Taux de chenaux	0	23,68	0,57	2,05
Taux de galets	0	49,43	5,37	7,46
Taux de platiers rocheux	0	60,74	1,86	6,41
Taux de sables fins	0	99,78	67,47	32,18
Taux de schorre	0	98,41	9,46	22,68
Taux de sédiments vaseux	0	100	12,877	25,47

Figure 194 : Tableau des statistiques descriptives des données des natures d'estrans sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

Les estrans composés par des taux importants de **sédiments vaseux** et de **schorre** sont presque exclusivement situés dans des tronçons en **équilibre dynamique** (évolution entre -0.31 et 0.32 m/an selon l'intervalle de confiance de 95 % pour les sédiments vaseux, et -0.24 et 0.32 m/an pour le schorre (*cf. Figure 195 et Figure 196*).

Les **sables fins** sont parmi les variables les plus explicatives de l'évolution du trait de côte, avec une probabilité associée au test de Fisher inférieure à 0.001. Ces sables fins sont présents sur tous les types de tronçons mais en taux variables selon l'évolution. Un **taux élevé de sables fins semble lié à une accrétion**.

Le taux de **galets** est également bien explicatif de la variation. Les galets sont majoritairement présents dans des zones en **équilibre dynamique et en faible accrétion**.

Le taux de **platiers rocheux** est bien explicatif (probabilité associée au F de 0.001), avec une majorité de ceux-ci dans les zones en **équilibre dynamique et faible érosion**.

Variable	Borne inférieure de l'évolution (95%) (m/an)	Borne supérieure de l'évolution (95%) (m/an)	Test F de Fisher	Probabilité associée au F Pr > F
Taux de chenaux	-0,13	0,11	3,82	0,05
Taux de galets	0,1	0,38	10,89	**0,001**
Taux de platiers rocheux	-0,30	-0,06	11,35	**0,001**
Taux de sables fins	-0,04	0,72	23,36	**< 0,0001**
Taux de schorre	-0,24	0,32	0,03	0,87
Taux de sédiments vaseux	-0,31	0,32	12,93	**0**

Figure 195 : Tableau des tests de Fisher pour les natures d'estran et bornes des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

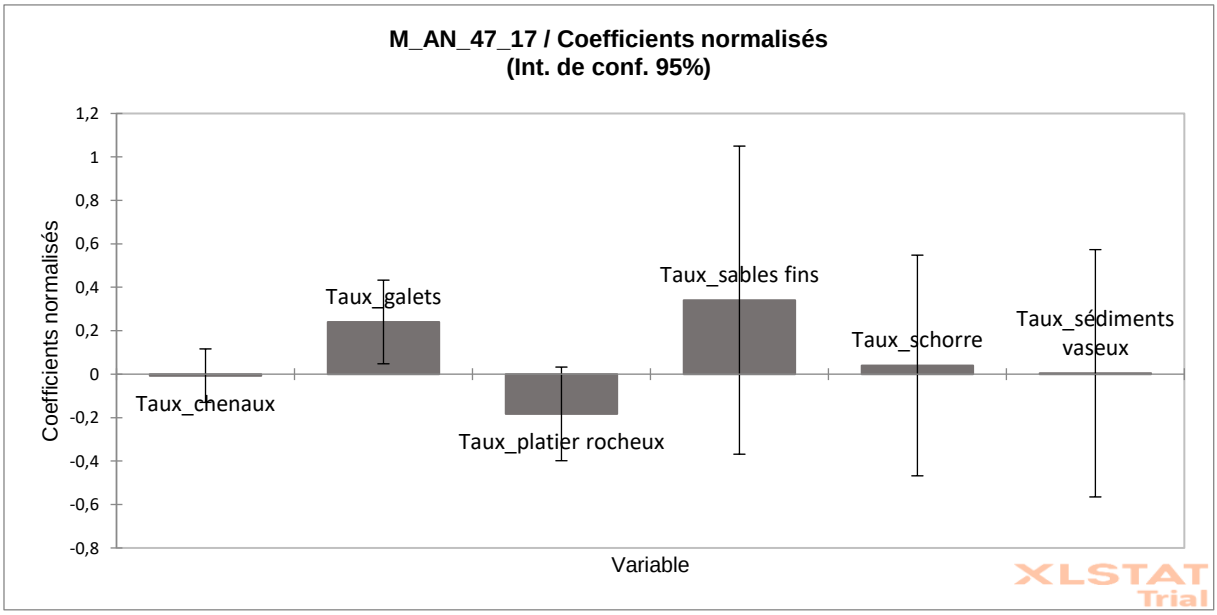


Figure 196 : Graphique des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte pour chaque nature d'estran sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

3.3.2.4. Conclusion sur les liens de causalité entre nature d'estran et évolution du trait de côte

La **nature de l'estran** n'est pas aussi corrélée à l'évolution que la nature du trait de côte. Cependant quelques enseignements peuvent être tirés.

Les **galets et sédiments grossiers** sont plutôt présents dans les tronçons en accrétion ou en équilibre dynamique. Les **sédiments fins et vaseux** se situent dans des zones en équilibre dynamique, où les mouvements sont faibles, ils sont souvent liés à l'implantation de **schorre**. Les estrans composés d'une majorité de **sables** sont plus soumis à l'érosion.

Ces conclusions ne sont cependant pas généralisables partout puisque certains tronçons présentent des indications contraires. Il serait utile de réaliser l'étude sur un secteur plus large, aux natures plus variées pour établir si le lien avec l'évolution du trait de côte est bien important.

3.3.3. La géologie : le facteur important de la résistance des roches

3.3.3.1. Données utilisées et hypothèses

La **nature de la géologie** pourrait être elle-aussi une variable explicative de l'évolution du trait de côte. La géologie du Cotentin et des deux secteurs d'étude a été présentée en *Partie 1.1.2 Géologie et géomorphologie du Cotentin : le massif armoricain à l'Ouest et l'extrémité du bassin sédimentaire à l'Est, p 39*.

Les données utilisées sont issues de la **base de données Infoterre du BRGM** (*cf. Partie 2.1.5.3. Données sur la géologie, p 146*). Le taux d'occupation de chaque nature de géologie a été calculé pour chaque boite de 50 m sur 1000 m côté terre. Les natures de géologie sont variées sur les deux secteurs mais peu d'entre elles sont présentes sur de nombreux tronçons. La bande des 1000 m retenue permet d'inclure les éléments géologiques des falaises mortes héritées des dernières phases de transgressions et régressions marines.

Plusieurs hypothèses sont formulables.

Les **formations récentes**, c'est-à-dire les dunes et les alluvions récentes, sont des formes d'accumulation. Elles connaissent donc des phases successives d'érosion et d'accrétion. Dans la période récente, il pourrait s'agir de formes plus soumises à l'érosion en raison de la diminution des stocks sédimentaires au large.

Les formations plus anciennes composées de roches dures sont résistantes, et même si elles sont vouées à être érodées, il s'agit de zones aux taux de reculs assez peu élevés en raison de leur dureté.

3.3.3.2. Les natures de géologie sur le secteur Ouest

Sur le secteur Ouest, le coefficient de détermination R^2 indique que la **géologie explique pour 54.9 % la variation de l'évolution du trait de côte**. La probabilité liée au test de Fisher indique que la probabilité que ces variables n'expliquent pour rien la variation du trait de côte est de 0.0001. 17 natures de géologie coexistent avec des taux d'occupation très différents sur le secteur.

Les types les plus fréquents dans la bande littorale des 1000 m sont les dunes récentes, les schistes et grès et les alluvions récentes (*cf. Figure 197 : Tableau des statistiques descriptives des données des natures de géologie sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019*). Des grands ensembles sont distincts avec les **caps rocheux** (Flamanville et Le Rozel) aux roches anciennes résistantes, et les anses composées **d'alluvions récentes** en bordure littorale, et de **falaises mortes composées de schistes et grès** quelques centaines de mètres en arrière.

Variable	Min	Max	Moy	Ecart-type
Evolution du trait de côte entre 1947 et 2017 (m/an)	-1,3	0,31	-0,45	0,37
Alluvions récentes (Holocène)	0	80,62	14,72	18,52
Dépôts marins sablo-argileux ou argilo-sableux (Quaternaire-Flandrien)	0	36,7	5,16	8,83
Dunes récentes (Quaternaire)	0	100	42,79	38,44
Formation des Conglomérats et grès pourprés (Cambrien)	0	12,16	0,14	1,11
Formations solifluées et colluvionnées (Quaternaire)	0	79,27	9,35	13,73
Grès à Platyorthis monnieri (Dévonien)	0	56,5	1,99	8,74
Grès armoricain cornéifié (granite de Flamanville)	0	77,54	2,52	12,6
Grès de May, Schistes du Pont-de-Caen, cornéifiés (granite de Flamanville)	0	82,73	1,88	10,54
Lamprophyres, microdiorites, diabases (Dévono-Carbonifère ?)	0	6,4	0,03	0,43
Microgranites porphyriques calco-alcalins (Paléozoïque)	0	15,69	0,13	1,2
Monzogranites calco-alcalins (Flamanville, Barfleur, Fermanville, Saint-Vaast) (Varisque à pré-Varisque)	0	100	8,97	27,7
Partie marine : sables fins à grossiers, sablons	0	4,41	0,02	0,3
Réseau hydrographique, points d'eau, bassins, étangs	0	2,68	0,03	0,27
Schistes d'Urville cornéifiés (granite de Flamanville)	0	72,43	2,3	11,79
Schistes et calcaires de Néhou (Dévonien)	0	24,87	0,37	2,39
Schistes et grès (Cambrien indifférencié)	0	95,59	7,27	20,11
Schistes et grès cambriens indifférenciés, métamorphisés (granite de Flamanville)	0	72,04	2,34	11,72

Figure 197 : Tableau des statistiques descriptives des données des natures de géologie sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

Le taux de **dépôts marins sablo-argileux** est une des variables qui a la plus grande probabilité d'être explicative de la variation de l'évolution du trait de côte. Ce type de géologie se conjugue majoritairement à des tronçons en accrétion faible.

Les formations composées de **dunes récentes** sont également explicatives de l'évolution. Elles sont situées en majorité dans des secteurs en érosion faible et en équilibre dynamique.

Les roches associées au Cap de Flamanville, telles que les **monzogranites** et les **schistes cornéifiés** sont présentes majoritairement dans des tronçons en équilibre dynamique et accrétion faible. Les natures de géologie étant, pour la plupart, présentes en faibles taux, et pas forcément en bordure immédiate du littoral, il s'agit pour beaucoup de variables qui ne sont pas très explicatives de l'évolution du trait de côte.

Variable	Borne inférieure de l'évolution (95%) (m/an)	Borne supérieure de l'évolution (95%) (m/an)	Test F de Fisher	Probabilité associée au F Pr > F
Alluvions récentes (Holocène)	-0,15	0,20	7,27	**0,01**
Dépôts marins sablo-argileux ou argilo-sableux (Quaternaire-Flandrien)	0,19	0,60	89,96	**< 0,0001**
Dunes récentes (Quaternaire)	-0,47	0,24	121,93	**< 0,0001**
Formation des Conglomérats et grès pourprés (Cambrien)	-0,13	0,07	2,32	0,13
Formations solifluées et colluvionnées (Quaternaire)	-0,04	0,27	2,73	0,1
Grès à Platyorthis monnieri (Dévonien)	-0,08	0,18	2,73	0,1
Grès armoricain cornéifié (granite de Flamanville)	-0,04	0,25	0,64	0,42
Grès de May, Schistes du Pont-de-Caen, cornéifiés (granite de Flamanville)	0,01	0,26	0,55	0,46
Lamprophyres, microdiorites, diabases (Dévono-Carbonifère ?)	-0,06	0,13	0,23	0,63
Microgranites porphyriques calco-alcalins (Paléozoïque)	-0,06	0,15	0,23	0,64
Monzogranites calco-alcalins (Flamanville, Barfleur, Fermanville, Saint-Vaast) (Varisque à pré-Varisque)	0,16	0,69	3,63	0,06
Partie marine : sables fins à grossiers, sablons	-0,01	0,188	5,05	**0,03**
Réseau hydrographique, points d'eau, bassins, étangs	-0,14	0,05	1,17	0,28
Schistes d'Urville cornéifiés (granite de Flamanville)	-0,1	0,17	0,32	0,57
Schistes et calcaires de Néhou (Dévonien)	-0,13	0,08	1,41	0,24
Schistes et grès (Cambrien indifférencié)	0,05	0,47	5,87	**0,02**

Figure 198 : Tableau des tests de Fisher pour les natures de géologie et bornes des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

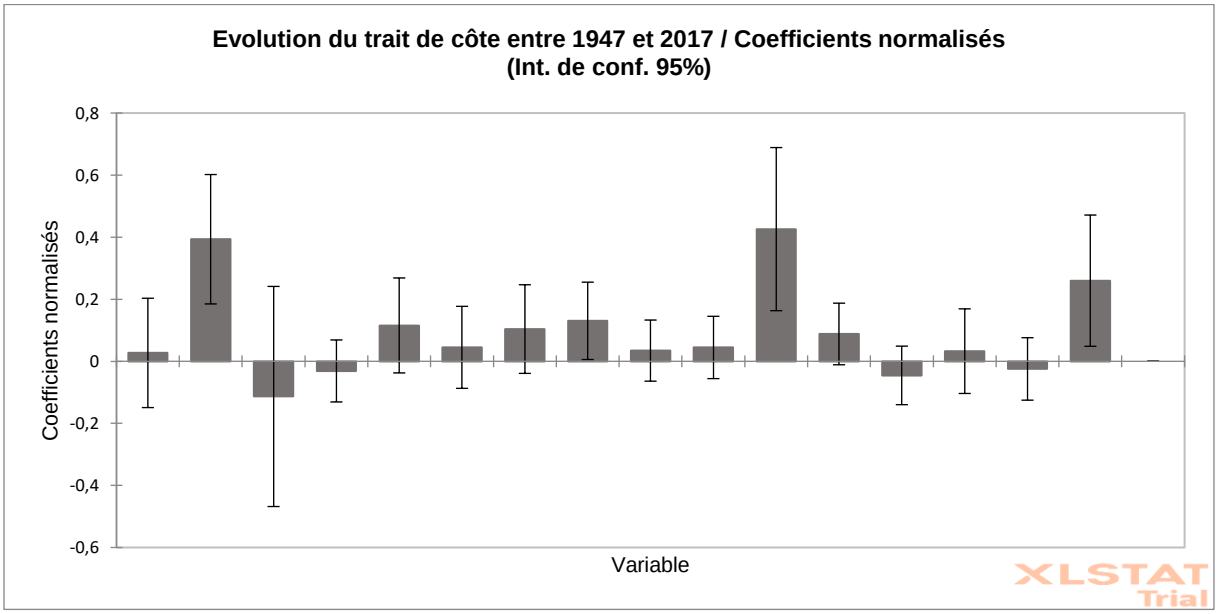


Figure 199 : Graphique des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte pour chaque nature de géologie sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

3.3.3.3. Les natures de géologie sur le secteur Est

Sur le secteur Est, les variables de la **géologie** n'expliquent que **26.5 % de la variation** de l'évolution du trait de côte. C'est moins que pour le secteur Ouest mais cela reste un pourcentage élevé qui montre l'importance de la géologie dans le système littoral.

Les éléments les plus présents dans la bande littorale des 1000 m sont des **éléments du Quaternaire**, les alluvions récentes, des sables et galets marins et des dépôts marins sablo-argileux (*cf. Figure 200 : Tableau des statistiques descriptives des données des natures de géologie sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019*). Il y a également une présence relativement importante **d'éléments du Briovérien**, les Formations de St-Lô, et du **Varisque**, des monzogranites. Il s'agit d'éléments plus durs et résistants, présents ponctuellement sur le littoral, mais plus globalement en arrière.

Variable	Min	Max	Moy	Ecart-type
Evolution du trait de côte entre 1947 et 2017 (m/an)	-0,25	0,88	0,11	0,22
Alluvions récentes (Holocène)	0	100	31,79	32,42
Argiles grises et rouges (Trias supérieur)	0	24,04	1,11	3,22
Dépôts marins sablo-argileux (Quaternaire)	0	62,35	9,8	14,68
Dunes récentes (Quaternaire)	0	52,62	5,44	9,36
Estran	0	5,42	0,15	0,58
Formations de St-Lô : siltites, argilites, grès et phtaniques (Briovérien inférieur)	0	46,47	5,23	11,19
Grès armoricain cornéifié	0	88,14	2,29	12,2
Grès de May et schistes du Pont de Caen cornéifié	0	64,37	1,83	8,74
Monzogranites calco-alcalins (Varisque)	0	78,18	3,5	10,74
Partie marine	0	5,15	0,05	0,37
Phtaniques (Briovérien inférieur)	0	11,27	0,09	0,89
Réseau hydrographique	0	65,13	3,44	11,14
Sables et galets marins (Quaternaire)	0	142,3	25,98	27,6
Schistes et grès (Cambrien)	0	15,04	0,06	0,93

Figure 200 : Tableau des statistiques descriptives des données des natures de géologie sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

Sur ce secteur, les éléments les plus associés aux évolutions de trait de côte sont les **dunes récentes** et les **grès de May et schistes cornéifiés** (*cf. Figure 201 : Tableau des tests de Fisher pour les natures de géologie et bornes des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019*). Ces deux éléments sont majoritairement situés dans des zones en équilibre dynamique et en accrétion faible sur ce secteur.

Les **alluvions récentes**, présentes dans les tronçons en équilibre dynamique, de même que les **Formations de St-Lô** sont en partie explicatives des variations d'évolution du trait de côte.

D'après le test de régression linéaire, les **dépôts marins sablo-argileux** et les **grès armoricains cornéifiés** semblent être plus présents dans les zones en équilibre dynamique, voire en érosion faible, la probabilité associée au test de Fisher est plus élevée pour ces éléments, ce qui indique une probabilité plus élevée qu'ils ne soient pas explicatifs des variations.

Variable	Borne inférieure de l'évolution (95%) (m/an)	Borne supérieure de l'évolution (95%) (m/an)	Test F de Fisher	Probabilité associée au F Pr > F
Alluvions récentes (Holocène)	-0,08	0,27	8,97	**0,003**
Argiles grises et rouges (Trias supérieur)	-0,14	0,1	0,1	0,76
Dépôts marins sablo-argileux (Quaternaire)	-0,29	0,02	0,58	0,45
Dunes récentes (Quaternaire)	0,19	0,43	29,81	**< 0,0001**
Estran	0,13	0,35	18,21	**< 0,0001**
Formations de St-Lô : siltites, argilites, grès et phtaniques (Briovérien inférieur)	0,03	0,31	5,67	**0,02**
Grès armoricain cornéifié	-0,24	0	3,32	0,07
Grès de May et schistes du Pont de Caen cornéifié	0,11	0,34	16,38	**< 0,0001**
Monzogranites calco-alcalins (Varisque)	-0,16	0,1	1,14	0,29
Partie marine	-0,16	0,07	1,17	0,28
Phtaniques (Briovérien inférieur)	-0,16	0,06	0,83	0,36
Réseau hydrographique	-0,18	0,1	2,24	0,14
Sables et galets marins (Quaternaire)	-0,04	0,26	2,17	0,14
Schistes et grès (Cambrien)	-0,1	0,12	0,04	0,85

Figure 201 : Tableau des tests de Fisher pour les natures de géologie et bornes des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

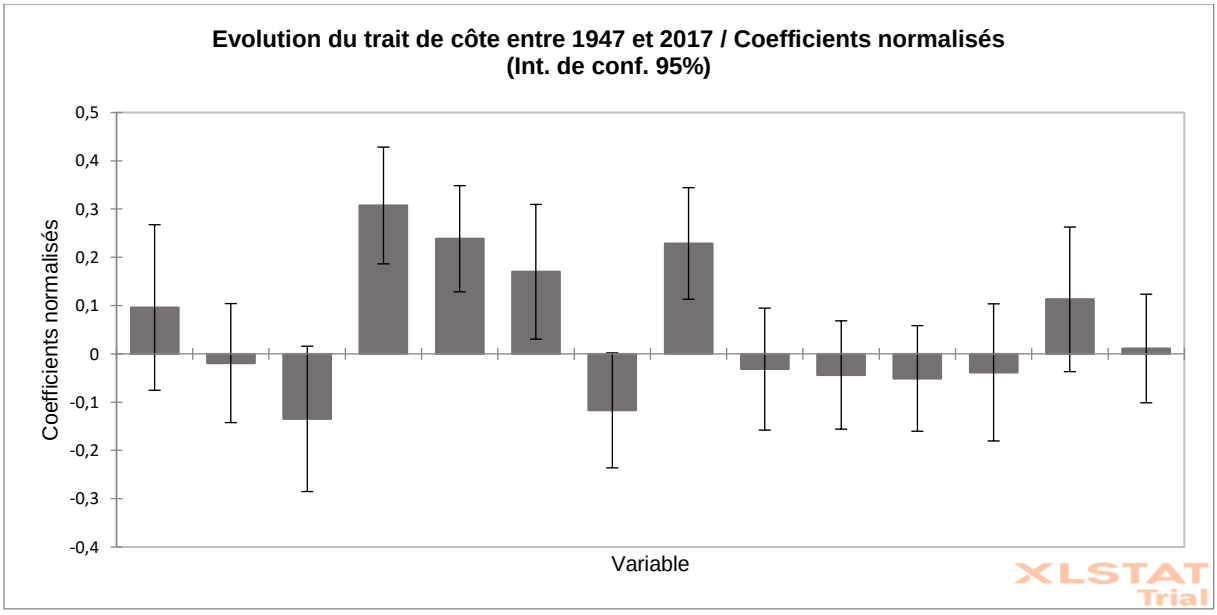


Figure 202 : Graphique des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte pour chaque nature de géologie sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019

3.3.3.4. Conclusion sur les liens de causalité entre nature de géologie et évolution du trait de côte

La **géologie est une variable importante pour l'évolution du trait de côte**, par les **résistances** et **cohésion des matériaux**. Le **grand nombre de natures géologiques** dans la bande littorale des 1000 m rend complexe l'étude des corrélations avec l'évolution du trait de côte. Quelques enseignements peuvent cependant être obtenus.

Les **roches dures** sont caractéristiques des zones en **équilibre dynamique** en raison de leurs résistances aux processus d'érosion. Les éléments du **Quaternaire** indiquent plutôt des **dynamiques érosives sur le secteur Ouest**, en raison de la taille réduite de ces éléments et des processus hydrodynamiques et éoliens qui les sollicitent. Sur le secteur Est, ces éléments du Quaternaire sont plutôt traces d'accrétion.

La bande des 1000 m n'est finalement pas la mieux adaptée pour l'étude des relations entre la géologie et l'évolution, une taille plus réduite aurait été plus appropriée et les conclusions auraient été plus précises.

3.3.4. Conclusion de partie

La méthode de la **régression linéaire** a été utilisée pour rechercher les **liens de causalité avec l'évolution du trait de côte entre 1947 et 2017** pour les 3 variables que sont la nature du trait de côte, la nature d'estran et la géologie. Cette méthode a permis de **valider statistiquement certaines impressions issues de l'observation**.

La variable qui semble avoir le **plus d'incidence sur l'évolution du trait de côte est la nature de celui-ci**. Les ouvrages artificiels sont majoritairement traces de tronçons en équilibre dynamique tandis que les pieds de dune sont plutôt en érosion. Les traits de côte végétalisés indiquent souvent un équilibre dynamique de celui-ci, voire une accrétion, par la fixation des sédiments.

La **nature des estrans et la géologie** dans la bande littorale des 1000 m expliquent également les différences d'évolution. De **nombreux autres éléments** entrent dans le système-littoral, et ont un rôle dans l'évolution littorale. C'est le cas par exemple des paramètres hydrodynamiques, des Modes d'Occupation des Sols, ou encore des ouvrages artificiels.

Des **erreurs statistiques** peuvent se glisser dans les résultats, car ceux-ci différent parfois des observations. Il s'agit de la réutilisation de données préalablement traitées (photo-interprétation, calcul de taux), ainsi, si des erreurs ou des biais sont présents initialement, ils vont se répercuter sur l'ensemble des résultats. Les conclusions retenues doivent être appréciées selon le **degré de précision qu'il convient**.

Ce travail permet **d'esquisser des explications sur les liens de causalité** et peut être un **préalable** à des études plus précises, à **diverses échelles spatiales et temporelles**. En effet, étudier les liens sur des espaces plus ou moins étendus permettra d'observer des caractéristiques locales, ou au contraire d'avoir une vision globale éliminant les particularités ponctuelles. Cette étude est basée uniquement sur l'évolution entre 1947 et 2017. Il pourrait être intéressant de la compléter avec des études sur des pas de temps plus courts, à partir des 6 périodes recensées.

Conclusion

I. Résumé du mémoire

La **première partie** de ce mémoire a contextualisé l'étude, à la fois dans son **cadre thématique** et dans son **cadre spatial**. Les deux secteurs d'étude du Cotentin ont été délimités et leurs caractéristiques géomorphologiques, littorales, hydrodynamiques ou encore d'occupation spatiale ont été développées.

Ces deux secteurs, bien que proches, présentent des caractéristiques différentes en termes géomorphologiques ou d'éléments exposés

Le **secteur occidental**, entre Sciotot et Baubigny, se caractérise par la présence **d'anses sableuses** auxquelles sont adossées des cordons dunaires, entre 3 **caps rocheux** (Flamanville, Le Rozel et Carteret). Quelques centaines de mètres après le trait de côte, la topographie s'accentue avec les falaises mortes héritées des précédentes régressions et transgressions marines. Les côtes sont **macrotidales**, et fortement **exposées aux flux d'Ouest** qui se traduisent par des conditions météo-marines contraignantes. La bathymétrie de cette extrémité Est du **Golfe normand-breton** rend complexe l'analyse des courants et des houles. Il s'agit d'un littoral relativement soumis à **l'érosion** surtout dans la partie Sud, avec des **rythmes très hétérogènes** dans le temps car principalement liés aux événements tempétueux. Les enjeux se concentrent principalement sur deux espaces littoraux, Sciotot et Surtainville, en particulier le Hameau La Plage implanté dans des mielles, en arrière de cordons dunaires. Mis à part à Sciotot où sont présents quelques enrochements, les aménagements de protection du littoral sont relativement faibles en raison du relatif éloignement du bâti par rapport au rivage. Cependant, les communes de ce secteur se développent rapidement depuis quelques dizaines d'années et de nombreuses habitations sont situées à proximité des cordons dunaires ou du trait de côte. Le **tourisme** a une présence importante, avec une population saisonnière élevée avec de nombreuses résidences secondaires et quelques campings littoraux.

Le **secteur oriental** se distingue par une côte plus régulière et plus artificialisée. Il s'agit d'un **secteur moins exposé** que le précédent, en raison de son exposition orientale et de sa position d'abri du fait de la Pointe de Saire et de la Pointe de la Hougue. Cette position d'abri est favorisée par la présence de **bancs sableux** quelques kilomètres au large. Les conditions météo-marines sont donc plus clémentes et favorisent un **équilibre dynamique**, voire une **accrétion faible** selon les périodes et les tronçons. Au Nord, l'Anse du Cul de Loup est une anse d'accumulation de sédiments vaseux. L'estran est végétalisé sur une grande surface, ainsi qu'à Aumeville-Lestre quelques kilomètres au Sud. Ce secteur présente des **enjeux et des éléments exposés plus nombreux** avec une artificialisation assez développée dans quelques bourgs et hameaux depuis les débuts du tourisme balnéaire. De nombreux bâtis ont été construits en limite de rivage, et sont protégés par des perrés ou des enrochements. **L'activité touristique** est bien développée avec plusieurs campings et de nombreuses résidences secondaires sur l'ensemble du secteur. La commune de Saint-Vaast-la-Hougue est une destination reconnue et accueille des événements de grandes envergures (traversées de Tatihou). La **conchyliculture** est très importante avec de nombreuses entreprises et surtout de nombreux parcs sur l'estran. Cet estran est donc très parcouru par des véhicules, et ces parcs font indirectement office de protection du trait de côte en diminuant la force des houles.

La **deuxième partie** de ce mémoire s'intéresse aux **données et aux méthodes suivies** lors de ce travail.

De **nombreuses données** sont disponibles pour l'étude des littoraux, et les Systèmes d'Information Géographique apparaissent bien adaptés par leur capacité à combiner les informations.

L'ambition principale du mémoire est l'étude de l'évolution du trait de côte entre 1947 et 2017, par une approche diachronique. Les données sur ces traits de côte sont issues de la photo-interprétation par le ROL des images aériennes de 1947, 1977, 1982, 1992, 2001 et 2010, et, pour compléter celles-ci, le trait de côte de 2017 a été digitalisé à partir des données obtenues par le relevé LiDAR topo-bathymétrique.

Pour étudier l'évolution du trait de côte à un échelon local, la **méthode de la segmentation par boite** a été retenue. Le trait de côte a été découpé en tronçons de 50 m, et des boites de profondeurs variables ont été créées à partir de ceux-ci, selon les éléments à observer. Ces boites servent à combiner de nombreuses informations sur le littoral, à la fois sur l'estran, la nature du trait de côte, et l'espace arrière-littoral. La segmentation par boite permet de regrouper les caractéristiques locales à partir de ces indicateurs, dans un secteur réduit. Ainsi, les spécificités locales peuvent être repérées.

Les **statistiques** permettent de simplifier les bases de données très importantes obtenues. Les typologies facilitent la lecture et l'analyse en regroupant en grandes classes les individus qui ont des caractéristiques proches. La typologie des tronçons selon les rythmes successifs d'évolution permet notamment de repérer des distinctions importantes entre des espaces, visibles par le biais de la cartographie. Des corrélations entre l'évolution du trait de côte et les différentes variables qui composent le littoral peuvent être observées, et vérifiés par le biais de la régression linéaire.

La **troisième et dernière partie** de ce mémoire a pour objet la présentation des **résultats obtenus**.

L'étude de l'évolution du trait de côte sur les deux secteurs entre 1947 et 2017 a permis de montrer une importante **hétérogénéité des évolutions**. Cette hétérogénéité est **spatiale** car des variations d'évolutions sont observables entre des tronçons de 50 m proches. L'hétérogénéité est également **temporelle** puisqu'à partir de l'étude des rythmes d'évolution pendant 6 périodes, des phases d'érosion, d'accrétion ou d'équilibre dynamique ont pu se succéder de manière complexe à analyser.

Globalement, le **secteur Ouest est en érosion**, principalement dans sa partie Sud quasi exclusivement composée de cordons dunaire. Au Nord, l'érosion coexiste avec des tronçons en équilibre dynamique. Il s'agit d'une côte fortement exposée aux flux hydrodynamiques.

Le **secteur Est** est majoritairement composé de tronçons en **équilibre dynamique** ou en accrétion faible selon la période. Cela s'explique par l'exposition moins importante aux processus hydrodynamiques, et par la forte artificialisation du trait de côte depuis de nombreuses décennies.

L'étude des **éléments exposés** a permis de repérer l'importance des activités touristiques et conchylicoles, en partie sur le secteur Est. Une typologie des tronçons a été faite selon les bâtis indifférenciés et industriels et la voirie présents dans la bande littorale. Il s'avère que les enjeux ne sont pas les mêmes sur les deux secteurs, avec une concentration plus importante d'éléments exposés sur le secteur Est.

L'étude des **liens de causalité** a permis de confirmer le rôle de la nature du trait de côte sur l'évolution de celui-ci, avec une prédominance de l'érosion pour les cordons dunaires, un équilibre dynamique pour les ouvrages artificiels et une accrétion fréquente pour les tronçons végétalisés. Les natures d'estrans et la géologie sont également des variables importantes dans l'explication mais les conclusions ne sont pas aussi catégoriques, malgré des natures quasiment spécifiques à un type d'évolution.

II. Limites et perspectives d'amélioration du mémoire

Le mémoire repose principalement sur les **traits de côte de 1947 à 2017**. Ces traits de côte sont des interprétations de photographies aériennes et de données de télédétection. Ce sont donc des **données critiquables**, qui pourraient être différentes si elles avaient été réalisées par d'autres opérateurs. De plus, l'évolution du trait de côte n'étant, comme souligné précédemment, fondamentalement non linéaire dans le temps et soumise à d'importantes variations saisonnières, la date de prise de vue de l'image aérienne ou de la télédétection est un critère capital. Si l'image date d'après un événement tempétueux, ou d'après une période estivale de rechargement de la plage, cela va fausser les moyennes d'évolution de la période.

L'ensemble des données est critiquable puisque les précisions de celles-ci ne sont pas toujours parfaites et dépendent d'interprétations. De plus des erreurs et biais liés à l'informatique et aux manipulations pour les statistiques et SIG sont toujours possibles.

Il s'agit de deux secteurs qui permettent de montrer la variabilité des évolutions dans un espace restreint. Il ne faut **pas généraliser les résultats obtenus** car ils dépendent des caractéristiques locales.

Ce mémoire présente un **cadre méthodologique** qui pourra être réutilisé sur d'autres secteurs d'étude, ou sur des tronçons plus ou moins grands pour récolter d'autres informations. La **segmentation est bien adaptée aux littoraux** puisqu'elle permet de ne pas les voir comme un simple linéaire mais plutôt comme un espace plus large, aux composantes multiples. De nombreuses autres bases de données existent sur le littoral et auraient pu être utilisées, notamment pour approcher les liens de causalité. C'est le cas par exemple des données sur les processus hydrodynamiques, qui ne sont cependant pas disponibles à une échelle aussi fine que celle de l'étude.

Ce travail permet de montrer **l'importance des SIG**, de **l'approche systémique** et des **statistiques** pour l'étude d'un système tel que le littoral.

Pour avoir une vision plus systémique du littoral et des secteurs d'étude, il serait intéressant de **rencontrer les différents acteurs de ces espaces qui sont très nombreux**. Des entretiens pourraient être réalisés avec la population par rapport au ressenti du risque, avec les élus ou les services de l'Etat par rapport au développement de la culture du risque, la prévention ou la protection, ou encore avec les organismes du littoral pour comprendre leur gestion (Conservatoire du littoral, SyMEL). Il s'agit là d'une perspective intéressante en complément à ce type de mémoire.

A partir des résultats obtenus, il serait possible de réaliser une **prospective de la position future du trait de côte** sur les secteurs à l'horizon 2100.

A partir de l'évolution passée, il est réalisable de faire un modèle présentant l'évolution future. Tout d'abord, on peut prévoir une évolution linéaire dans le temps et réaliser une simple **transposition de l'évolution actuelle**. Celle-ci permet de se rendre compte de la position du trait de côte dans un certain nombre d'années si les rythmes restent les mêmes. Les évolutions n'étant pas linéaires dans le temps, ce type de modèle n'est qu'indicatif.

Pour s'approcher de la réalité, évidemment sans l'atteindre puisque des événements peuvent provoquer d'importants changements dans le système, des modèles prenant en compte les **perspectives futures** et l'évolution des rythmes passés se révèlent plus opportuns. Ainsi ces modèles, toujours indicatifs, permettent de repérer ce que pourrait être l'évolution future, **en l'état actuel des choses et des connaissances**. Il s'agit ici de prendre en compte les dernières prévisions pour les changements climatiques du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat)

et les conclusions sur les niveaux marins de l'ONERC (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique).

A partir de ces prospectives, il serait possible de connaitre les **nouveaux éléments exposés** dans le futur à partir de la BD TOPO. Il apparait néanmoins difficile de prendre en compte la topographie et les aménagements présents pour limiter l'aléa.

III. Les littoraux dans le futur et leurs nouvelles gestions

Nous sommes aujourd'hui dans un **contexte de changements climatiques**, d'accentuation et d'apparition de **nouvelles problématiques pour les littoraux**. Les événements météorologiques seront plus fréquents et les conséquences plus importantes et le niveau marin s'élèvera. Les **aléas côtiers** seront donc plus nombreux et les conséquences plus importantes.

De **nouveaux éléments seront exposés**, sans y avoir été préparés par des aménagements de protection.

Les problématiques littorales ne sont pourtant pas nouvelles puisqu'en 1986, le SOGREAH prévenait déjà qu'il « *ne semble pas que l'on puisse espérer un changement de l'évolution actuelle constatée et il est donc nécessaire de rechercher comment composer avec l'érosion du littoral* » (*SOGREAH, 1986*). La solution n'est pas la protection à tout prix mais plutôt **l'adaptation**.

Lors d'études ou de gestions, il faut replacer ces secteurs d'études dans leurs **contextes** et il ne faut pas suivre des limites administratives mais plutôt des **limites de systèmes**. Le système hydrosédimentaire apparait être un cadre adapté.

Une **gestion concertée entre l'ensemble des acteurs du littoral** est indispensable. Il faut à la fois avoir les points de vue et respecter les volontés et idées de chacun. Les strates administratives (communes, communautés de communes, département, région, Etat), les services de l'Etat (DDTM) et organismes publics spécialisés (Conservatoire du Littoral, ONML, ROL), ainsi que les populations, touristes et entreprises doivent être intégrés à la démarche et à la réflexion. Le **Conservatoire du littoral** est un organisme important pour la gestion et la préservation des espaces littoraux. Il permet de limiter l'artificialisation des côtes et les éléments exposés.

Il est important que les organismes spécialisés continuent leurs **études pour améliorer les connaissances**. Ainsi que l'a dit P. Monadier, « *L'importance et la complexité des problèmes de protection du littoral nécessitent une connaissance aussi convenable que possible des évolutions passées et de l'ensemble des phénomènes mis en cause* » (*SOGREAH, 1986*).

Il y a une certaine **urgence** pour la gestion des littoraux pour limiter les effets et coûts à venir. Cette démarche doit être faite dans un contexte plus global **d'adaptation aux changements climatiques**.

Bibliographie et webographie

Ouvrages consultés

BAUD P., BOURGEAT S. et BRAS C., 2015. *Dictionnaire de Géographie*. 5ème édition. Hatier. Initial.

BAVOUX, J-J., 1997. *Les littoraux français*. Paris : Armand Colin. Collection U, série Géographie.

BRGM et BULTEAU, 2011. *Synthèse des travaux menés sur l'observation de l'évolution du trait de côte* [en ligne]. Rapport final BRGM – 59396.

BRGM, 2010a. *Notice explicative de la carte géologique - Cherbourg 0072N* [en ligne]. 2010.

BRGM, 2010b. *Notice explicative de la carte géologique - Saint-Vaast-la-Hougue 0073N* [en ligne]. 2010

BRGM, 2011. *Notice explicative de la carte géologique - Bricquebec - Surtainville 0093N* [en ligne]. 2011.

BRGM, 2012. *Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte : Rapport final BRGM – 60616*.

BRGM, 2013. *Le littoral*. Orléans : Éditions du BRGM.

CEREMA, 2018. *Indicateur de l'Erosion Nationale Côtière, premiers enseignements* [en ligne]. 2018.

CETE NORMANDIE-CENTRE et VIGNÉ, 2012. *Orthophotographie littorale V2*. 2012.

CETE NORMANDIE-CENTRE, 2008. *Nomenclature LittoMos* [en ligne]. 2008.

CETE, 2007. *Les évolutions des territoires littoraux 1986 - 2006* [en ligne]. Rapport public. La Documentation française.

CHOUINARD O., VANDERLINDEN J-P. et BAZTAN J., 2011. *Zones côtières et changement climatique : le défi de la gestion intégrée*. Presses de l'Université du Québec.]. Géographie contemporaine.

CNRS, 2016. *Entre mer et terre*. 2016.

COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE et SERVICE DE L'OBSERVATION ET DES STATISTIQUES, 2009. *CORINE Land Cover France Clés d'interprétation de la nomenclature* [en ligne].

COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE, 2011. *Le littoral : chiffres clés* [en ligne]. Service de l'observation et statistiques. Environnement.

COSTA S., GOURMELON F., AUGRIS C., CLABAUT P. et LATTEUX B., 2005. Apport de l'approche systémique et pluridisciplinaire dans l'étude du domaine littoral et marin de la Seine-Maritime (France). *Norois*. 2005. N° 196, pp. 8-8.

COUSIN A., 2011. *Propositions pour une stratégie nationale de gestion du trait de côte, du recul stratégique et de la défense contre la mer, partagée entre l'État et les collectivités territoriales* [en ligne].

DAUPHIN L., LE GARREC M-A. et TARDIEU F., 2008. *Les vacances des français depuis 40 ans*. 2008. INSEE.

DAUPHINÉ A. et PROVITOLO D., 2013. *Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer*. A. Colin. Paris. U. Série Géographie.

DDTM DE LA MANCHE, SEPIA CONSEILS et DHI, 2016. *Plan de prévention des risques des communes de Réville, St-Vaast-la-Hougue et Quettehou - Note de présentation* [en ligne]. 2016.

DENIAUD G., PAGNY J. et LEYMARIE R., 2017. Les manifestations du changement climatique sur la façade littorale normande - Le littoral, support des habitats et des usages. pp. 44.

DIRECTION GÉNÉRALE DE L'ENERGIE ET DU CLIMAT, 2012. *Le climat de la France au XXIe siècle - Volume 3, évolution du niveau de la mer - Février 2012* [en ligne]. Rapport public. La Documentation française.

DIRECTION GÉNÉRALE DE L'ENERGIE ET DU CLIMAT, 2015. *Le climat de la France au XXIe siècle - Volume 5 - Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises* [en ligne]. Rapport public. La Documentation française.

DREAL NORMANDIE, 2015a. *Profil environnemental de Basse-Normandie - L'eau*. 2015.

DREAL NORMANDIE, 2015b. *Profil environnemental de Basse-Normandie - La mer et le littoral*. 2015.

DREAL NORMANDIE, 2015c. *Profil environnemental de Basse-Normandie - Le climat*. 2015.

DREAL NORMANDIE, 2015d. *Profil environnemental de Basse-Normandie - Les paysages*. 2015.

DREAL NORMANDIE, 2015e. *Profil environnemental de Basse-Normandie - Les sols*. 2015.

DUBOIS-MAURY J., 2002. Les risques naturels en France, entre réglementation spatiale et solidarité de l'indemnisation. *Annales de géographie*. 2002. Vol. 111, n° 627, pp. 637-651.

FERMIN RODRIGUEZ, 2019. *Chapitre 4 : La Régression linéaire*. 2019. UFR SPSE Master 1. Université Paris-Ouest Nanterre La Défense

FIEVET D., DELACOURT C. et COSTA S., 2019. L'érosion du littoral français. *La tête au carré*. 28 février 2019.

GERVAIS-LAMBONY M-A., 1999. *Les littoraux*. Atlande. Clefs concours Géographie générale.

GOUGUET L. (DIR), 2018. *Guide de gestion des dunes et des plages associées*.

HÉNAFF A. et MANUELLE P., 2014. *Gestion des risques d'érosion et de submersion marine*. 2014.

IGN, 2011. *Descriptif de contenu, BD TOPO Version 2.1*.

INSEE et SOES, 2009. *Démographie et économie du littoral*.

INSEE, 2016. *Recensement de la population - 50 - Manche* [en ligne].

INSEE, 2017. *Environnement littoral et marin en métropole*.

INSEE, 2019. *Dossier complet - Arrondissement de Cherbourg (502)* [en ligne].

IRD2, 2016. *Notre littoral pour demain* [en ligne]. Les cahiers de l'IRD2, 2.

JUAN S., 2011. Les acteurs locaux face au changement climatique. Le cas du littoral normand. *Études rurales*. 18 février 2011. N° 188, pp. 189-203.

JUIGNER M., 2017. *La géomatique au service de l'observation du trait de côte - Contribution à l'étude des aléas côtiers sur les littoraux dunaires de la région Pays de la Loire (France)* [en ligne]. Université de Nantes.

KERGOMARD C., *La télédétection aérospatiale, Une introduction* [en ligne].

LE DÉLÉZIR R., 2008. Le développement littoral en question. *Pour*. 2008. N° 199, pp. 109 à 115.

LEVOY F., LARSONNEUR C. et CENTRE RÉGIONAL D'ÉTUDES CÔTIÈRES (CAEN), 1994. *Etude globale concernant la défense contre la mer : synthèse des études / Université de Caen, Centre régional d'études côtières*. Laboratoire de géologie marine, Caen.

LEVOY, F., 1994. *Évolution et fonctionnement hydrosédimentaire des plages macrotidales : l'exemple de la côte ouest du Cotentin*. Université de Caen.

MEDDE, 2010. *La gestion du trait de côte*. Editions QUAE. Savoir-faire.

MEDDE, 2013. *Les tempêtes*. Prévention des risques naturels.

MEDDE, 2016. *Développer la connaissance t l'observation du trait de côte - Contribution nationale pour une gestion intégrée*.

MERCIER D., 2013. *Géomorphologie de la France*.

MÉTÉO-FRANCE, Réchauffement climatique et hausse du niveau de la mer. *meteofrance.fr* [en ligne].

MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT, DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT et MINISTÈRE DE L'EQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT, 1997. *Plan de prévention des risques littoraux (PPR)* [en ligne]. 1997. La Documentation française.

MIOSSEC A., 2004. *Les littoraux : entre nature et aménagement*. A. Colin. Paris. [Consulté le 11 janvier 2019]. Campus. Géographie.

ONERC, 2015. *Le littoral dans le contexte du changement climatique*.

PASKOFF R. et CLUS-AUBY C., 2007. *L'érosion des plages : les causes, les remèdes*. Institut océanographique édition. Paris, Monaco. Propos.

PASKOFF R, 2010. *Les littoraux : impact des aménagements sur leur évolution*. IV. Armand Colin. Paris. U. Série Géographie.

PASKOFF R., 2004. *Côtes en danger* [en ligne]. L'Harmattan.

PÉGORIER A., 2006. *Les noms de lieux en France - Glossaire de termes dialectaux*. 2006. IGN.

PERHERIN C. et CETMEF, 2009. *Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux*.

ROBIN M. et GOURMELON F., 2005. La télédétection et les SIG dans les espaces côtiers. Eléments de synthèse à travers le parcours de François Cuq. *Norois*. 2005. N° 196, pp. 11-21.

ROLNP, 2014. Notice TC_BN_2014 [en ligne]. 2014.

ROLNP, 2015. Atlas population. 2015.

ROLNP, 2016. Volumes sédimentaires littoraux. *Côtes & mer : La lettre d'information du ROLNP* [en ligne]. Avril 2016. N° 9.

SERVICE DE L'OBSERVATION ET DES STATISTIQUES, AGENCE FRANÇAISE POUR LA BIODIVERSITÉ et IFREMER, 2017. *Les données clés de la mer et du littoral : Synthèse des fiches thématiques* [en ligne]. Observatoire National de la Mer et du Littoral.

SERVICE DE L'OBSERVATION ET DES STATISTIQUES, 2015. *Synthèse statistique de la façade Nord-Atlantique - Manche Ouest* [en ligne]. Observatoire National de la Mer et du Littoral.

SERVICE DE L'OBSERVATION ET DES STATISTIQUES, 2016. *Synthèse statistique de la façade Manche-Est - Mer du Nord* [en ligne]. Observatoire National de la Mer et du Littoral.

SGAR DE HAUTE ET BASSE-NORMANDIE, 2013. *L'adaptation aux effets du changement climatique en Haute et Basse-Normandie* [en ligne]. Rapport technique final.

SOGREAH, 1986. *Catalogue sédimentologique des côtes françaises. Côtes de la Mer du Nord et de la Manche*. Eyrolles. Éd. Eyrolles. Paris. Collection de la direction des études et recherches d'électricité de France.

SUANEZ S., GARCIN M., BULTEAU T., ROUAN M., LAGADEC L.et DAVID L., 2012. *Les observatoires du trait de côte en France métropolitaine et dans les DOM*. 2012.

SUZANNE J-B., 2018. *Approche géomatique des dynamiques du trait de côte : Création d'indices de caractérisation et de prédisposition aux aléas côtiers sur la côte ouest Cotentin*. Université de Caen-Normandie.

Sites consultés (liste non exhaustive)

actu.fr
aires-marines.fr
aquaportail.com
anemoc.cetmef.developpement-durable.gouv.fr
baie-bourgneuf.com
blogpeda.ac-bordeaux.fr
brgm.fr
candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr
conservatoire-du-litoral.fr
cœur-cotentin.fr
crec.unicaen.fr
data.gouv.fr
dynalit.fr
ecologique-solidaire.gouv.fr/observatoire-national-sur-effets-du-rechauffement-climatique-onerc
europresse.com
esrifrance.fr
geolittoral.developpement-durable.gouv.fr
geoportail.gouv.fr
georisques.gouv.fr
gestionorienteeverslimpact.org
help.xlstat.com
ifremer.fr
ign.fr
img.itinari.com
legifrance.gouv.fr
licco.eu
lidar-nantes-rennes.eu
manche.gouv.fr
meteofrance.com
oceanmaraisdemonts.fr
ouest-France.fr
letg.cnrs.fr
onml.fr
patrimoine-maritime-normand.org
researchgate.net
rncan.gc.ca
rolnp.fr
shom.fr
sig.normandie.fr
symel.fr
wikhydro.developpement-durable.gouv.fr

Table des figures

Figure 1 : Photographie de maisons en bordure du littoral à Quinéville, protégées par un enrochement, P. EMILE, 4/01/19 1
Figure 2 : Photographie de l'Anse du Cul de Loup à Quettehou, estran vaseux et végétalisé, P. EMILE, 22/03/19 1
Figure 3 : Photographie du hameau de La Plage à Surtainville, en arrière d'un cordon dunaire végétalisé, ... 1
Figure 4 : Photographie d'un enrochement écroulé et de séries de ganivelles devant une maison à Sciotot, P. EMILE, 26/02/19 1
Figure 5 : Photographie d'un trait de côte en érosion à Quettehou, ... 10
Figure 6 : Photographie d'une submersion marine à Asnelles (14), ... 11
Figure 7 : Courbe de Farmer, 1967 (sur researchgate.net) 12
Figure 8 : Tableau schématique du système-plage et de ses composants principaux, d'après S. Costa in MEDDE, 2010, P. EMILE, 2019 15
Figure 9 : Schéma des variations saisonnières du profil de plage, Paskoff, 1998 (sur www.oceanmaraisdemonts.fr) 15
Figure 10 : Schéma des composantes d'une dune littorale, Natura 2000, Site du Marais breton, baie du Bourgneuf, Ile de Noirmoutier et Forêt des Monts, 2019 (in www.baie-bourgneuf.com) 16
Figure 11 : Schéma de la formation de la houle jusqu'au déferlement, SHOM (sur www.shom.fr) 19
Figure 12 : Schéma de la dérive littoral d'estran, Aquaportail, 2018 (sur www.aquaportail.com) 20
Figure 13 : Carte de localisation des secteurs d'étude, P. EMILE, 2019 27
Figure 14 : Carte de présentation du secteur Ouest, d'après la BD TOPO de la Manche de 2018, P. EMILE, 2019 28
Figure 15 : Photographie du cordon dunaire entre Surtainville et le Cap de Carteret, P. EMILE, 4/01/19 29
Figure 16 : Photographie du massif de Baubigny-Hatainville, Conservatoire du littoral (sur www.conservatoire-du-littoral.fr) 30
Figure 17 : Photographie du Cap de Flamanville et de l'Anse de Sciotot, P. EMILE, 26/02/19 30
Figure 18 : Carte de présentation du secteur Est, d'après la BD TOPO de la Manche de 2018, P. EMILE, 2019 32
Figure 19 : Photographie de l'anse du Cul de Loup, P. EMILE, 4/01/19 33
Figure 20 : Photographie de l'estran à Quinéville au niveau du Hameau Simon, P. EMILE, 4/01/19 ... 34
Figure 21 : Photographies montrant l'évolution de l'urbanisation à proximité du littoral à Surtainville, images Géoportail, P. EMILE, 2019 36
Figure 22 : Photographies du hameau Le Rivage entre Quettehou et Morsalines en 1947, 2005, et 2016, approche diachronique de l'évolution du bâti, images Géoportail, P. EMILE, 2019 37
Figure 23 : Carte du relief de la Basse-Normandie, IFREMER, 2008 (sur ifremer.fr) 39
Figure 24 : Image aérienne et niveau des zones basses du secteur Ouest, P. EMILE, 2019 40
Figure 25 : Image aérienne et niveau des zones basses du secteur Est, P. EMILE, 2019 41
Figure 26 : Carte de l'hydrographie du Cotentin, DDTM de la Manche, 2013 (d'après BD Carto et BD CARTHAGE) (sur manche.gouv.fr) 42
Figure 27 : Carte géologique de la Basse-Normandie, DREAL de Basse-Normandie, 2015 (dans Profil Environnemental de Basse-Normandie, Partie Sous-sols) 43
Figure 28 : Carte géologique du Cotentin, P. EMILE, 2019 45
Figure 29 : Tableau-résumé de la géologie du Cotentin, P. EMILE, 2019 46
Figure 30 : Carte géologique du secteur Ouest-Cotentin, P. EMILE, 2019 48

Figure 31 : Carte géologique du secteur Est-Cotentin, P. EMILE, 2019 50
Figure 32 : Carte des vents annuels sur les côtes de Basse-Normandie, représentation par roses des vents, IFREMER, 2008 (sur ifremer.fr) 53
Figure 33 : Carte de l'évolution de la marée réelle dans la Manche, Ifremer, 2001 (sur www.ifremer.fr) 54
Figure 34 : Carte de la propagation d'une houle de Nord-Nord-Ouest dans le Golfe normand-breton, Godet, 2008 (in. Agence des Aires marines protégées, 2012, Fiche fonctionnalités écologiques et services rendus dans le GNB) (sur aires-marines.fr) 55
Figure 35 : Photographie aérienne des iles au large de la côte Ouest-Cotentin (images Géoportail), P. EMILE, 2019 56
Figure 36 : Carte des cellules et sous-cellules hydrosédimentaires de la Baie du Mont-St-Michel à la Baie d'Authie, ROLNP, 2013 59
Figure 37 : Diagramme de Hjulström (simplifié), Hjulström, 1935 (in blogpeda.ac-bordeaux.fr) 60
Figure 38 : Carte des fonds marins au large du secteur Ouest-Cotentin, données du SHOM, P. EMILE, 2019 62
Figure 39 : Photographie du havre de Barneville-Carteret, B. Cauvin CD50 (www.manche.fr) 63
Figure 40 : Carte des fonds marins au large du secteur Est-Cotentin, données du SHOM, P. EMILE, 2019 64
Figure 41 : Tableau des principaux indicateurs de trait de côte recommandés et classés par type et par milieu, Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte, BRGM, 2012 67
Figure 42 : Représentation schématique de différents indicateurs de trait de côte, Boak and Turner, 2005, adapté et traduit dans Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte, BRGM, 2012 68
Figure 43 : Tableau des longueurs totales du trait de côte par secteur d'étude, d'après la couche « Trait de côte de 2010 » du ROLNP, P. EMILE, 2019 69
Figure 44 : Graphique des longueurs de traits de côte par indicateurs retenus, d'après la couche « trait de côte de 2010 » du ROLNP, P. EMILE, 2019 69
Figure 45 : Photographie de la côte rocheuse au Havre Jouan, P. EMILE, 4/01/19 70
Figure 46 : Photographie d'enrochements entre le Fortin et le Hameau Courtois à Sciotot, P. EMILE, 22/03/19 70
Figure 47 : Photographie du trait de côte végétalisé précédé par un cordon de galets au Hameau Courtois, P. EMILE, 4/01/19 70
Figure 48 : Photographie d'un cordon dunaire végétalisé au niveau des Mielles de Sciotot, P. EMILE, 26/02/19 71
Figure 49 : Photographie d'un cordon dunaire fixé à l'aide de ganivelles pour protéger une habitation au niveau du camping Le Grand large, P. EMILE, 26/02/19 71
Figure 50 : Photographie du versant Sud du Cap du Rozel, P. EMILE, 4/01/19 71
Figure 51 : Photographie du cordon littoral qui s'étend du Cap du Rozel au Cap de Carteret, P. EMILE, 4/01/19 71
Figure 52 : Carte des natures de trait de côte sur le secteur Ouest (1/3), P. EMILE, 2019 72
Figure 53 : Carte des natures de trait de côte sur le secteur Ouest (2/3), P. EMILE, 2019 73
Figure 54 : Carte des natures de trait de côte sur le secteur Ouest (3/3), P. EMILE, 2019 74
Figure 55 : Photographie d'ouvrages artificiels protégeant l'espace arrière-littoral à Saint-Vaast-la-Hougue, à l'Est du Carvallon, P. EMILE, 22/03/19 75
Figure 56 : Photographie d'un tronçon de trait de côte végétalisé au niveau du camping La Galouette dans l'Anse du Cul de Loup, P. EMILE, 22/03/19 75
Figure 57 : Photographie d'un tronçon côtier végétalisé au Sud de la Redoute, P. EMILE, 4/01/19 75

Figure 58 : Photographie d'un cordon dunaire végétalisé au Sud du port de Quinéville, P. EMILE, 22/03/19 76
Figure 59 : Photographie d'un perré au Sud de Quinéville, P. EMILE, 22/03/19 76
Figure 60 : Photographie d'un perré avec enrochements à Quinéville, P. EMILE, 4/01/19 76
Figure 61 : Carte des natures de trait de côte sur le secteur Est (1/4), P. EMILE, 2019 77
Figure 62 : Carte des natures de trait de côte sur le secteur Est (2/4), P. EMILE, 2019 78
Figure 63 : Carte des natures de trait de côte sur le secteur Est (3/4), P. EMILE, 2019 79
Figure 64 : Carte des natures de trait de côte sur le secteur Est (4/4), P. EMILE, 2019 80
Figure 65 : Tableau descriptif du contenu de la table du trait de côte "artificiel" du ROLNP, Notice TC BN, ROLNP, 2014 81
Figure 66 : Graphique du nombre de chaque type d'ouvrages artificiels recensés par secteur d'étude, d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019 83
Figure 67 : Tableau du linéaire des ouvrages artificiels sur chaque secteur, d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019 83
Figure 68 : Graphique du nombre d'ouvrages artificiels recensés par année d'observation la plus ancienne sur les deux secteurs d'étude, d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019 84
Figure 69 : Tableau-type suivi pour la localisation et la description des ouvrages artificiels, d'après la couche « trait de côte artificiel » du ROLNP, P. EMILE, 2019 85
Figure 70 : Photographie de la Pointe de la Hougue et des fortifications sur le trait de côte (sur img.itinari.com) 85
Figure 71 : Photographie de la route de la Hougue, P. EMILE, 22/03/19 86
Figure 72 : Photographie du talus protégeant le camping de la Galouette, P. EMILE, 22/03/19 86
Figure 73 : Photographie des murs bétonnés placés à l'Est du Carvallon, P. EMILE, 22/03/19 86
Figure 74 : Photographie des ouvrages longitudinaux situés devant les bâtis industriels de St-Vaast-la-Hougue, P. EMILE, 22/03/19 87
Figure 75 : Photographie des enrochements devant la route côtière au niveau de la Chasse du Bourg, P. EMILE, 22/03/19 87
Figure 76 : Photographie de murs protégeant des habitations au Hameau Le Rivage, P. EMILE, 4/01/19 87
Figure 77 : Photographie de la jetée portuaire de Quinéville, à l'embouchure du cours d'eau de la Sinope, P. EMILE, 4/01/19 88
Figure 78 : Photographie des perrés protégeant les habitations à Quinéville, P. EMILE, 4/01/19 88
Figure 79 : Image aérienne de localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels du secteur Est (1/4), d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019 89
Figure 80 : Image aérienne de localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels du secteur Est (2/4), d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019 90
Figure 81 : Image aérienne de localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels du secteur Est (3/4), d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019 91
Figure 82 : Image aérienne de localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels du secteur Est (4/4), d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019 92
Figure 83 : Photographie du Havre Jouan, P. EMILE, 4/01/19 93
Figure 84 : Photographie des enrochements situés entre la route du Fort et le Hameau Courtois, P. EMILE, 22/03/19 93
Figure 85 : Photographie de la cale du parking du Hameau Courtois à Sciotot, P. EMILE, 4/01/19 94
Figure 86 : Photographie des aménagements longitudinaux au niveau du camping Le Grand Large, P. EMILE, 26/02/19 94

Figure 87 : Photographie de l'enrochement au hameau Le Pou, au Sud du Cap du Rozel, P. EMILE, 4/01/19 94
Figure 88 : Photographies du conduit d'eau sous l'estran au hameau Le Pou, P. EMILE, 4/01/219 95
Figure 89 : Image aérienne de localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels du secteur Ouest (1/3), d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019 96
Figure 90 : Image aérienne de localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels du secteur Ouest (2/3), d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019 97
Figure 91 : Image aérienne de localisation et caractéristiques des ouvrages artificiels du secteur Ouest (3/3), d'après la couche "trait de côte artificiel" du ROLNP, P. EMILE, 2019 98
Figure 92 : Graphique des taux d'occupation de l'estran dans la bande des 500 m du secteur Ouest, P. EMILE, 2019 100
Figure 93 : Photographie d'un estran composé de platiers rocheux au Havre Jouan, P. EMILE, 4/01/19 100
Figure 94 : Photographie d'un estran de sables moyens et de galets sur le haut de plage à Sciotot, P. EMILE, 4/01/19 100
Figure 95 : Photographie d'un estran de sables moyens et de platiers rocheux, P. EMILE, 4/01/19 . 100
Figure 96 : Photographie d'un estran de sables moyen entre Baubigny et Surtainville, P. EMILE, 4/01/19 100
Figure 97 : Image aérienne et types d'estrans de la côte Ouest, image ortholittorale, P. EMILE, 2019 101
Figure 98 : Graphique des taux d'occupation de l'estran dans la bande des 500 m du secteur Ouest, P. EMILE, 2019 102
Figure 99 : Photographie d'un estran composé de sédiments vaso-sableux, de schorre et de galets dans l'anse du Cul de Loup à l'Ouest de la Pointe de la Hougue, P. EMILE, 4/01/19 102
Figure 100 : Photographie d'un estran composé de sables fins, de débris coquillers et de petits galets, au Nord du hameau Le Rivage, P. EMILE, 4/01/19..... 102
Figure 101 : Photographie d'un estran composé de sables fins en partie coquillers et de platiers rocheux au hameau Le Rivage, P. EMILE, 4/01/19..... 102
Figure 102 : Photographie d'un estran composé de schorre à La Redoute à Aumeville-Lestre, P. EMILE, 4/01/19..... 102
Figure 103 : Photographie d'un estran composé de sables fins à Quinéville,..... 102
Figure 104 : Image aérienne et types d'estrans de la côte Est, image ortholittorale, P. EMILE, 2019 103
Figure 105 : Carte de l'évolution de la population des villes de la Manche, INSEE, 2018 105
Figure 106 : Carte des densités de population des communes du Cotentin, P. EMILE, 2019..... 107
Figure 107 : Graphique des populations communales du secteur Ouest, données INSEE, P. EMILE, 2019 108
Figure 108 : Graphique des populations communales du secteur Est, données INSEE, P. EMILE, 2019 109
Figure 109 : Carte des taux communaux de résidences secondaires du Cotentin, P. EMILE, 2019.... 110
Figure 110 : Graphique des taux communaux de résidences secondaires dans le secteur Ouest, P. EMILE, 2019..... 111
Figure 111 : Graphique des taux communaux de résidences secondaires dans le secteur Est, P. EMILE, 2019..... 112
Figure 112 : Graphique des MOS dans les 100 m sur le secteur Ouest (Littomos 1995), P. EMILE, 2019 113
Figure 113 : Graphique des MOS dans les 200 m sur le secteur Ouest (Littomos 1995), P. EMILE, 2019 114

Figure 114 : Graphique des MOS dans les 500 m sur le secteur Ouest (Littomos 1995), P. EMILE, 2019 114
Figure 115 : Graphique des MOS dans les 1000 m sur le secteur Ouest (Littomos 1995), P. EMILE, 2019 114
Figure 116 : Carte des MOS du secteur Ouest en 1995 d'après la Littomos, P. EMILE, 2019 115
Figure 117 : Carte des MOS du secteur Ouest en 2012 d'après le CORINE Land Cover, P. EMILE, 2019 116
Figure 118 : Graphique des MOS dans les 100 m sur le secteur Est (Littomos 1995), P. EMILE, 2019117
Figure 119 : Graphique des MOS dans les 200 m sur le secteur Est (Littomos 1995), P. EMILE, 2019118
Figure 120 : Graphique des MOS dans les 500 m sur le secteur Est (Littomos 1995), P. EMILE, 2019118
Figure 121 : Graphique des MOS dans les 1000 m sur le secteur Est (Littomos 1995), P. EMILE, 2019 118
Figure 122 : Carte des MOS du secteur Est en 1995 d'après la Littomos, P. EMILE, 2019..... 119
Figure 123 : Carte des MOS du secteur Est en 2012 d'après le CORINE Land Cover, P. EMILE, 2019 120
Figure 124 : Carte des éléments exposés du secteur Ouest, d'après BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019122
Figure 125 : Tableau de synthèse des bâtis exposés dans la bande littorale du secteur Ouest, d'après BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019 123
Figure 126 : Tableau de synthèse des voiries exposées dans la bande littorale du secteur Ouest, d'après la BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019..... 124
Figure 127 : Tableau de synthèse des PAI (Points d'Activité ou d'Intérêt) dans la bande littorale du secteur Ouest, d'après la BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019 124
Figure 128 : Carte des éléments exposés du secteur Est, d'après la BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019 125
Figure 129 : Tableau de synthèse des bâtis exposés dans la bande littorale du secteur Est, d'après BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019..... 126
Figure 130 : Tableau de synthèse des voiries exposées dans la bande littorale du secteur Est, d'après BD TOPO 2018, P. EMILE, 2019 127
Figure 131 : Tableau de synthèse des PAI (Points d'Activité ou d'Intérêt) dans la bande littorale du secteur Est, P. EMILE, 2019 128
Figure 132 : Schéma du fonctionnement d'un SIG, Communauté de Communes d'Erdre et Gesvres, 2005 (sur gestionorienteeverslimpact.org)..... 130
Figure 133 : Tableau de la typologie des observatoires de suivi du trait de côte, Bulteau et al, 2011 (in Suanez et al, 2012) 134
Figure 134 : Tableau des relevés du CREC pour le trait de côte, le volume sédimentaire et le profil de plage, données CREC, P. EMILE, 2019 136
Figure 135 : Tableau descriptif des attributs retenus pour la digitalisation du trait de côte de 2010 du ROLNP, Notice TC BN, ROLNP, 2014..... 139
Figure 136 : Image extraite du relevé LIDAR de 2017 réalisé par le ROLNP au niveau du Cap du Rozel, SHOM, 2018..... 141
Figure 137 : Image de la succession des positions du trait de côte au niveau de Surtainville, P. EMILE, 2019..... 142
Figure 138 : Tableau des différentes méthodes de segmentation en géographie, Juigner, 2017..... 150
Figure 139 : Image du menu du logiciel MOBITC, capture d'écran, P. EMILE 151
Figure 140 : Légende de la classification des évolutions annuelles des positions de trait de côte, P. EMILE, 2019..... 155
Figure 141 : Capture d'écran de la réalisation d'une CAH des rythmes d'évolution sous XLStat, P. EMILE, 2019..... 159
Figure 142 : Tableau des variables étudiées pour la régression linéaire pour expliquer l'évolution du trait de côte, P. EMILE, 2019 161

Figure 143 : Carte de l'évolution du trait de côte sur le secteur Ouest entre 1947 et 2017, P. EMILE, 2019 165
Figure 144 : Carte de l'évolution du trait de côte sur le secteur Est entre 1947 et 2017, P. EMILE, 2019 167
Figure 145 : Légende de la classification des évolutions annuelles des positions de trait de côte, P. EMILE, 2019 168
Figure 146 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1947 et 1977 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019 169
Figure 147 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1977 et 1982 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019 169
Figure 148 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1982 et 1992 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019 169
Figure 149 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1992 et 2001 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019 169
Figure 150 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 2001 et 2010 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019 169
Figure 151 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 2010 et 2017 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019 169
Figure 152 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1947 et 1977 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019 171
Figure 153 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1977 et 1982 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019 171
Figure 154 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1982 et 1992 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019 171
Figure 155 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 1992 et 2001 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019 171
Figure 156 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 2001 et 2010 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019 171
Figure 157 : Graphique du type d'évolution annuelle du trait de côte entre 2010 et 2017 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019 171
Figure 158 : Carte des rythmes d'évolution en 6 périodes sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019 174
Figure 159 : Dendrogramme de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 175
Figure 160 : Tableau des résultats de classe de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 175
Figure 161 : Tableau des barycentres de classe de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 175
Figure 162 : Graphique des profils des classes de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 176
Figure 163 : Carte des types de rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019 177
Figure 164 : Graphique des rythmes d'évolution du trait de côte au niveau de Sciotot (Les Pieux), données CREC et données issues de la segmentation des données ROLNP de 2001, 2010 et, P. EMILE, 2019 178

Figure 165 : Graphique des rythmes d'évolution du trait de côte au niveau du Hameau La Plage (Surtainville), données CREC et données issues de la segmentation des données ROLNP de 2001, 2010 et 2017, P. EMILE, 2019 179
Figure 166 : Carte des rythmes d'évolution en 6 périodes sur le secteur Est, P. EMILE, 2019 180
Figure 167 : Dendrogramme de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 181
Figure 168 : Tableau des résultats de classe de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019..... 181
Figure 169 : Tableau des barycentres de classe de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 181
Figure 170 : Graphique des profils des classes de la typologie des tronçons selon les rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 182
Figure 171 : Carte des types de rythmes d'évolutions annuelles entre 1947 et 2017 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019 183
Figure 172 : Tableau des barycentres de classes de la typologie des zones d'éléments exposés dans la bande littorale des 500 m du secteur Ouest, P. EMILE, 2019 186
Figure 173 : Tableau des barycentres de classes de la typologie des zones d'éléments exposés dans la bande littorale des 100 m du secteur Ouest, P. EMILE, 2019 186
Figure 174 : Tableau croisé des types de zones d'éléments exposés et des types de rythmes d'évolution entre 1947 et 2017 sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019 187
Figure 175 : Carte des types de zones d'enjeux dans les bandes littorales des 100 m et des 500 m sur le secteur Ouest, P. EMILE, 2019 188
Figure 176 : Tableau des barycentres de classes de la typologie des zones d'éléments exposés dans la bande littorale des 500 m du secteur Est, P. EMILE, 2019 189
Figure 177 : Tableau des barycentres de classes de la typologie des zones d'éléments exposés dans la bande littorale des 100 m du secteur Est, P. EMILE, 2019 189
Figure 178 : Tableau croisé des types de zones d'éléments exposés et des types de rythmes d'évolution entre 1947 et 2017 sur le secteur Est, P. EMILE, 2019 190
Figure 179 : Carte des types de zones d'enjeux dans les bandes littorales des 100 m et des 500 m sur le secteur Est, P. EMILE, 2019 191
Figure 180 : Graphique du nombre de bâtis dans les zones basses du secteur Ouest, P. EMILE, 2019 192
Figure 181 : Graphique du nombre de bâtis dans les zones basses du secteur Est, P. EMILE, 2019 .. 193
Figure 182 : Tableau extrait de la base de données servant au test de régression linéaire entre les natures d'estran et l'évolution du trait de côte entre 1947 et 2017, P. EMILE, 2019 194
Figure 183 : Tableau des statistiques descriptives des données des natures de traits de côte sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 196
Figure 184 : Tableau des tests de Fisher pour les natures de traits de côte et bornes des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 197
Figure 185 : Graphique des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte pour chaque nature de trait de côte sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 197
Figure 186 : Tableau des statistiques descriptives des données des natures de traits de côte sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 198

Figure 187 : Tableau des tests de Fisher pour les natures de traits de côte et bornes des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 198
Figure 188 : Graphique des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte pour chaque nature de trait de côte sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 199
Figure 189 : Tableau des 3 types d'estran du secteur Ouest, P. EMILE, 2019 200
Figure 190 : Tableau des statistiques descriptives des données des natures d'estrans sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 201
Figure 191 : Tableau des tests de Fisher pour les natures d'estran et bornes des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 201
Figure 192 : Graphique des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte pour chaque nature d'estran sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 201
Figure 193 : Tableau des 3 types principaux d'estran du secteur Est, P. EMILE, 2019 202
Figure 194 : Tableau des statistiques descriptives des données des natures d'estrans sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 202
Figure 195 : Tableau des tests de Fisher pour les natures d'estran et bornes des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 203
Figure 196 : Graphique des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte pour chaque nature d'estran sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 203
Figure 197 : Tableau des statistiques descriptives des données des natures de géologie sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 205
Figure 198 : Tableau des tests de Fisher pour les natures de géologie et bornes des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 206
Figure 199 : Graphique des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte pour chaque nature de géologie sur le secteur Ouest, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 206
Figure 200 : Tableau des statistiques descriptives des données des natures de géologie sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 207
Figure 201 : Tableau des tests de Fisher pour les natures de géologie et bornes des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 208
Figure 202 : Graphique des coefficients normalisés de l'évolution du trait de côte pour chaque nature de géologie sur le secteur Est, d'après CAH sous XLSTAT, P. EMILE, 2019 208

Annexes

Annexe 1 : Tableau de synthèse des ouvrages artificiels sur le secteur Ouest, d'après couche « trait de côte artificiel » du ROLNP, P. EMILE, 2019 232
Annexe 2 : Tableau de synthèse des ouvrages artificiels sur le secteur Est, d'après couche « trait de côte artificiel » du ROLNP, P. EMILE, 2019 234
Annexe 3 : Graphique des MOS dans les 100 m sur le secteur Ouest (CLC 2012), P. EMILE, 2019 234
Annexe 4 : Graphique des MOS dans les 200 m sur le secteur Ouest (CLC 2012), P. EMILE, 2019 235
Annexe 5 : Graphique des MOS dans les 500 m sur le secteur Ouest (CLC 2012), P. EMILE, 2019 235
Annexe 6 : Graphique des MOS dans les 1000 m sur le secteur Ouest (CLC 2012), P. EMILE, 2019 .. 235
Annexe 7 : Graphique des MOS dans les 100 m sur le secteur Est (CLC 2012), P. EMILE, 2019 236
Annexe 8 : Graphique des MOS dans les 200 m sur le secteur Est (CLC 2012), P. EMILE, 2019 236
Annexe 9 : Graphique des MOS dans les 500 m sur le secteur Est (CLC 2012), P. EMILE, 2019 236
Annexe 10 : Graphique des MOS dans les 1000 m sur le secteur Est (CLC 2012), P. EMILE, 2019 237
Annexe 11 : Graphiques des évolutions successives sur le secteur Ouest entre 1947 et 2017, à partir des données du ROLNP, P. EMILE, 2019..... 238
Annexe 12 : Graphiques des évolutions successives sur le secteur Est entre 1947 et 2017, à partir des données du ROLNP, P. EMILE, 2019 239
Annexe 13 : Echelle des temps géologiques simplifiée, BRGM (sur sigesaqui.brgm.fr) 240

Identifiant de l'objet sur le secteur	Identifiant unique de l'objet	Type d'ouvrage	Orientation de l'ouvrage	Localisation	Année d'observation la plus ancienne	Année où l'ouvrage n'est plus observé	Année la plus récente où l'ouvrage est toujours visible	Longueur de l'ouvrage (m)
1	89	Perré	Longitudinale	Le Havre Jouan à Les Pieux	1992	0	2010	94,3
2	60	Perré	Longitudinale	Bâtis à Les Pieux (de la route du Fort au hameau Le Fortin)	1992	0	2010	460,7
3	*750*	*Autre*	*Longitudinale*	*Bâtis à Les Pieux (de la route du Fort au hameau Le Fortin)*	*1947*	*1992*	*1982*	*63,7*
4	*903*	*Perré*	*Longitudinale*	*Parking du hameau Le Fortin à Les Pieux*	*1977*	*1992*	*1982*	*123,6*
5	902	Accès, chemin, voie submersible...	Transversale	Parking du hameau Le Fortin à Les Pieux	1977	0	2010	22,5
6	*751*	*Accès, chemin, voie submersible...*	*Transversale*	*Parking du hameau Le Fortin à Les Pieux*	*1947*	*1977*	*1947*	*24,4*
7	904	Perré	Longitudinale	Bâtis à Les Pieux (du hameau Fortin au parking du hameau Courtois)	1992	0	2010	217,2
8	376	Autre	Transversale	Parking du hameau Courtois à Les Pieux	1992	0	2010	40,1
9	*1351*	*Cale*	*Transversale*	*Cale à Les Pieux (à proximité de la route Le grand Sciotot)*	*1977*	*2012*	*2000*	*32,1*
10	88	Perré	Longitudinale	Camping Le grand large à Les Pieux (à proximité des Mielles de Sciotot)	1977	0	2010	47,2
11	901	Perré	Longitudinale	Camping Le grand large à Les Pieux (à proximité des Mielles de Sciotot)	1992	0	2010	109,5
12	377	Epi	Transversale	Le Pou à Surtainville	2010	0	2010	44,9

Ouvrage n'existant plus en 1977	*Ouvrage n'existant plus en 1992*	*Ouvrage n'existant plus en 2012*	Ouvrage observé en 1977	Ouvrage observé en 1992	Ouvrage observé en 2010

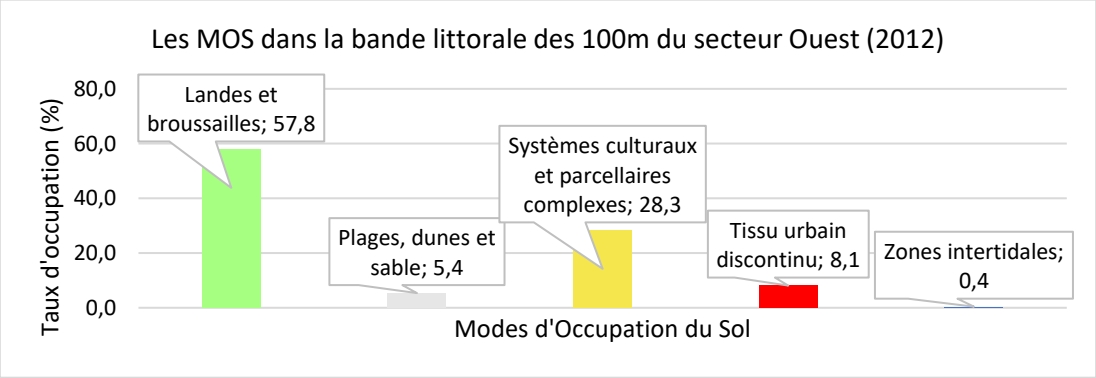
Annexe 1 : Tableau de synthèse des ouvrages artificiels sur le secteur Ouest, d'après couche « trait de côte artificiel » du ROLNP, P. EMILE, 2019

Identifiant de l'objet sur le secteur	Identifiant unique de l'objet	Type d'ouvrage	Orientation de l'ouvrage	Localisation	Année d'observation la plus ancienne	Année où l'ouvrage n'est plus observé	Année la plus récente où l'ouvrage est toujours visible	Longueur de l'ouvrage (m)
1	1048	Bâtiment, blockhaus, fortification…	Longitudinale	La Hougue à St-Vaast-la-Hougue	1947	0	2010	237,2
2	1047	Autre	Longitudinale	La Hougue à St-Vaast-la-Hougue	1992	0	2010	37,5
3	974	Bâtiment, blockhaus, fortification…	Longitudinale	La Hougue à St-Vaast-la-Hougue	1947	0	2010	151,4
4	973	Autre	Longitudinale	La Hougue à St-Vaast-la-Hougue	1947	0	2010	26,5
5	1046	Autre	Longitudinale	La Hougue à St-Vaast-la-Hougue	1947	0	2010	146,8
6	*1233*	*Autre*	*Longitudinale*	*La Hougue à St-Vaast-la-Hougue*	*1947*	*1977*	*1947*	*458,1*
7	1127	Autre	Longitudinale	Route de la Hougue à St-Vaast-la-Hougue	1947	0	2010	361,0
8	1184	Autre	Transversale	Route de la Hougue à St-Vaast-la-Hougue	1977	0	2010	218,0
9	1285	Perré	Longitudinale	Route de la Hougue à St-Vaast-la-Hougue	1947	0	2010	82,5
10	*1284*	*Autre*	*Longitudinale*	*Camping La Galouette à St-Vaast-la-Hougue*	*1977*	*1992*	*1982*	*62,5*
11	1283	Perré	Longitudinale	Camping La Galouette à St-Vaast-la-Hougue	2000	0	2010	98,7
12	983	Perré	Longitudinale	Camping La Galouette à St-Vaast-la-Hougue	2000	0	2010	221,9
13	*1282*	*Autre*	*Longitudinale*	*Camping La Galouette à St-Vaast-la-Hougue*	*1947*	*1992*	*1982*	*207,9*
14	1340	Autre	Longitudinale	Bâtis à St-Vaast-la-Hougue (à proximité du camping La Galouette)	1977	0	2010	60,8
15	966	Autre	Longitudinale	Bâtis à St-Vaast-la-Hougue (à proximité de la rue d'Isamberville jusqu'au camping La Galouette)	1947	0	2010	478,2
16	1281	Autre	Longitudinale	Bâtis à St-Vaast-la-Hougue (à proximité du chemin du Cul de loup)	2010	0	2010	43,1
17	1280	Autre	Longitudinale	Bâtis à St-Vaast-la-Hougue (à proximité du lycée)	1947	0	2010	35,1
18	1279	Autre	Longitudinale	Bâtis à St-Vaast-la-Hougue (à proximité du lycée)	1977	0	2010	70,3
19	985	Perré	Longitudinale	Bâtis à St-Vaast-la-Hougue (à proximité de la rue des Parcs)	1992	0	2010	359,1
20	1037	Digue côtière	Longitudinale	Chasse du bourg à Quettehou	1992	0	2010	189,6
21	1237	Autre	Longitudinale	Bâtis à Quettehou (à proximité du chemin d'Isamberville)	1947	0	2010	71,1

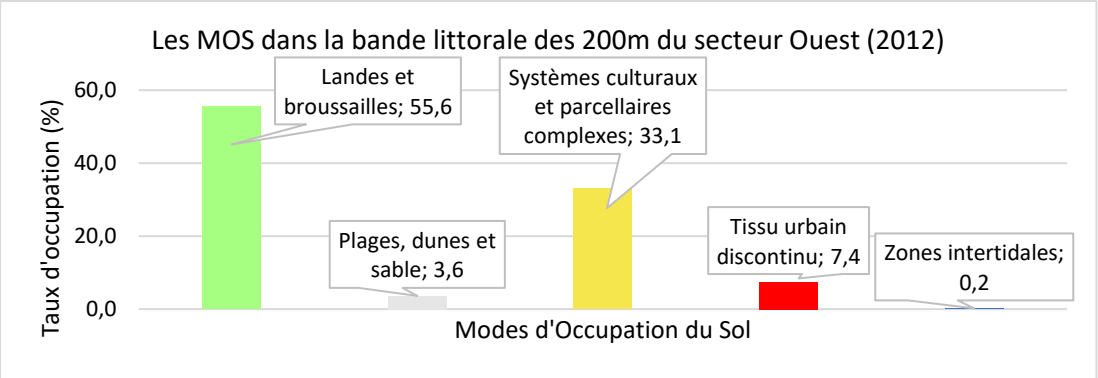
22	1183	Perré	Longitudinale	Bâtis à Quettehou (à proximité de la chasse aux Mesles)	1977	0	2010	45,4
23	1019	Autre	Longitudinale	Hameau Le Rivage à Quettehou et Morsalines	1947	0	2010	470,6
24	1045	Autre	Longitudinale	Bâtis à Morsalines (à proximité des rues Le Rivage et Les Campagnettes)	1977	0	2010	97,1
25	1038	Perré	Longitudinale	La Redoute à Morsalines	1947	0	2010	291,0
26	1182	Jetée portuaire	Transversale	Jetée portuaire (rive gauche) à Quinéville	1977	0	2010	158,5
27	1128	Jetée portuaire	Transversale	Jetée portuaire (rive droite) à Quinéville	1977	0	2010	153,4
28	1039	Autre	Longitudinale	Bâtis à Quinéville (à proximité du musée World War 2)	1977	0	2010	96,3
29	1119	Autre	Transversale	Bâtis à Quinéville (à proximité de l'avenue de la plage et du musée World War 2)	1947	0	2010	28,2
30	1008	Perré	Longitudinale	Promenade des îles à Quinéville	1977	0	2010	663,2
31	1329	Perré	Longitudinale	Bâtis à Quinéville (à proximité de la Maison du Tarais)	1982	0	2010	111,1

Ouvrage observé de 1947 à 2010	*Ouvrage n'existant plus en 1977*	*Ouvrage n'existant plus en 1992*	Ouvrage observé en 1977	Ouvrage observé en 1982	Ouvrage observé en 1992	Ouvrage observé en 2000	Ouvrage observé en 2010

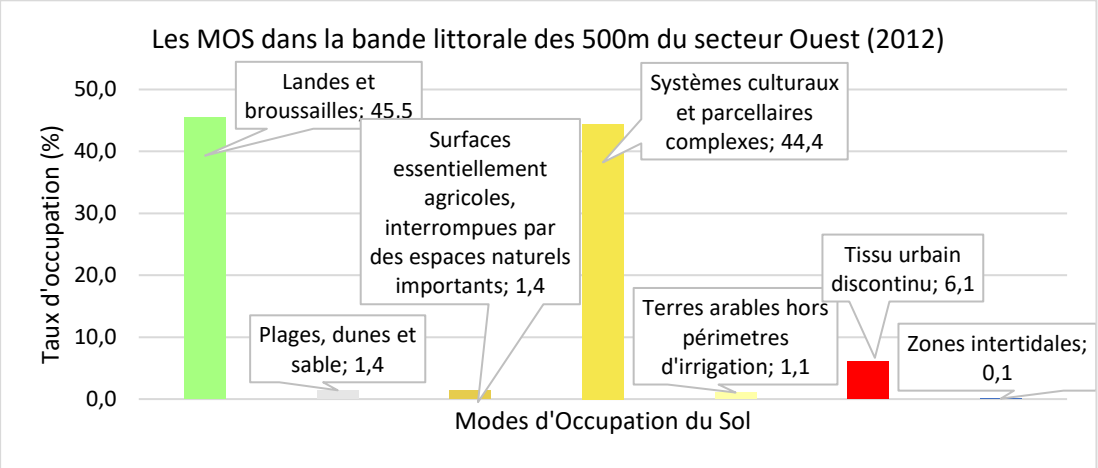
Annexe 2 : Tableau de synthèse des ouvrages artificiels sur le secteur Est, d'après couche « trait de côte artificiel » du ROLNP, P. EMILE, 2019



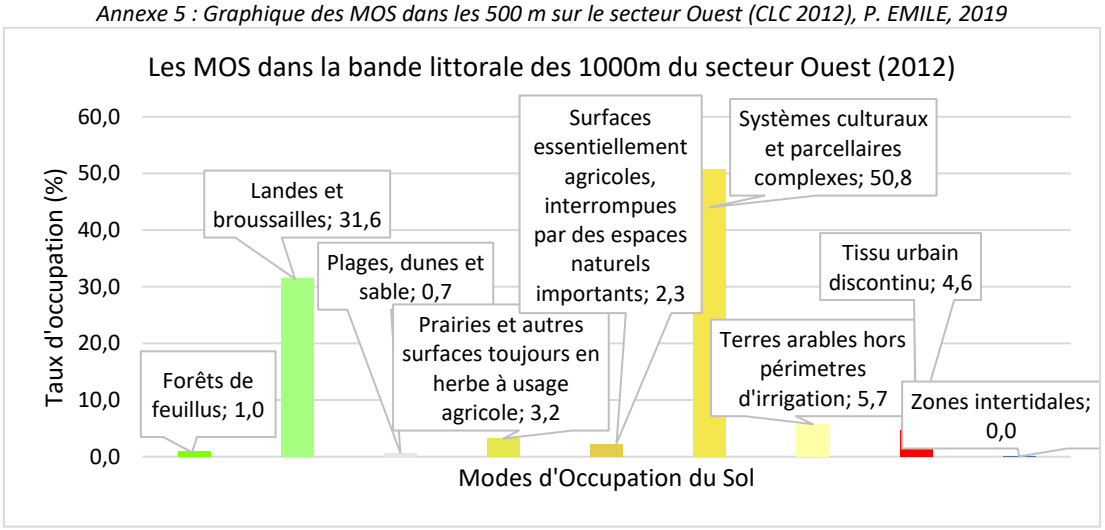
Annexe 3 : Graphique des MOS dans les 100 m sur le secteur Ouest (CLC 2012), P. EMILE, 2019



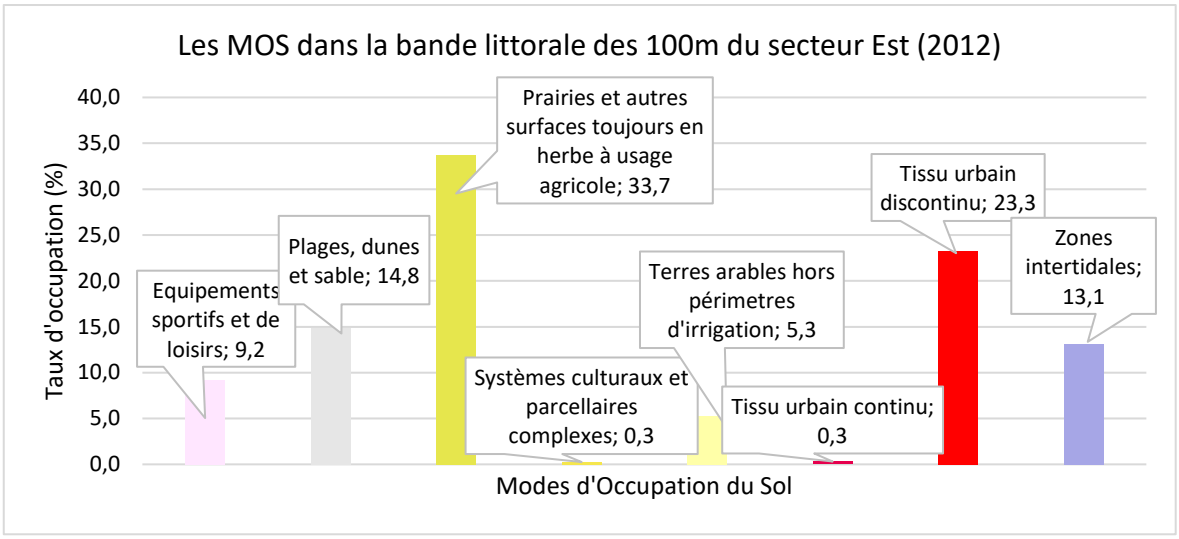
Annexe 4 : Graphique des MOS dans les 200 m sur le secteur Ouest (CLC 2012), P. EMILE, 2019



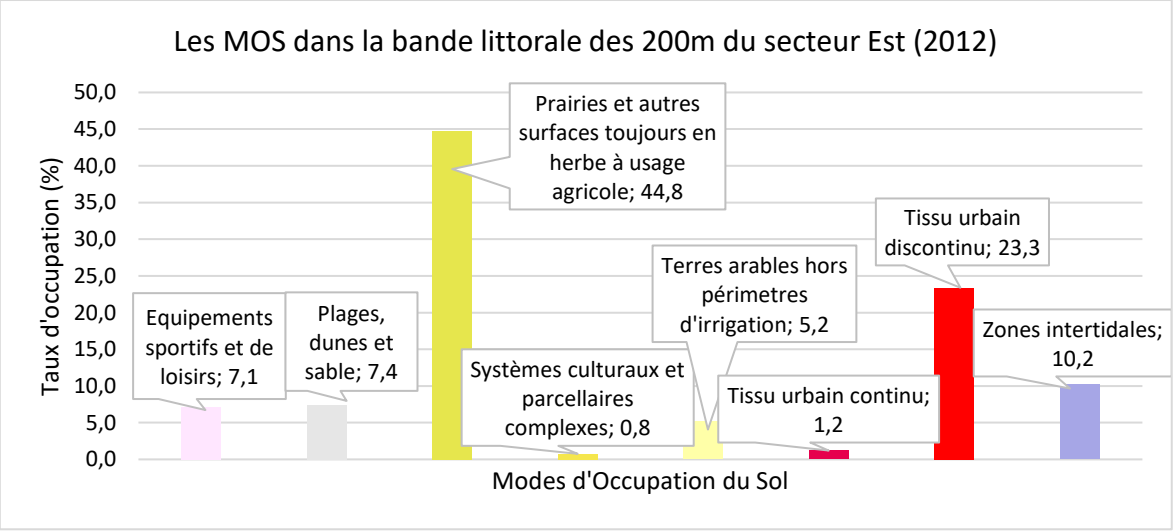
Annexe 5 : Graphique des MOS dans les 500 m sur le secteur Ouest (CLC 2012), P. EMILE, 2019



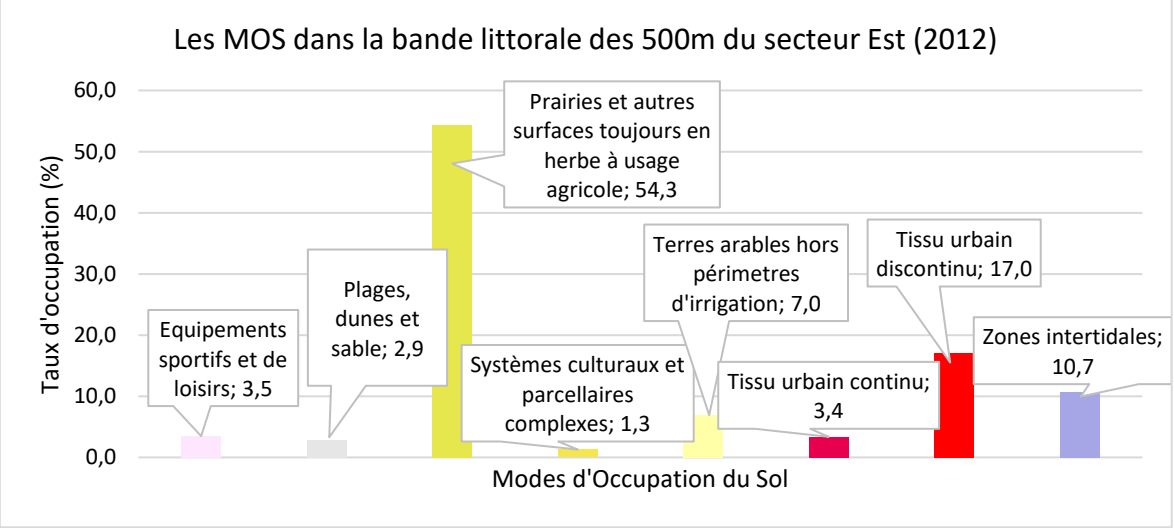
Annexe 6 : Graphique des MOS dans les 1000 m sur le secteur Ouest (CLC 2012), P. EMILE, 2019



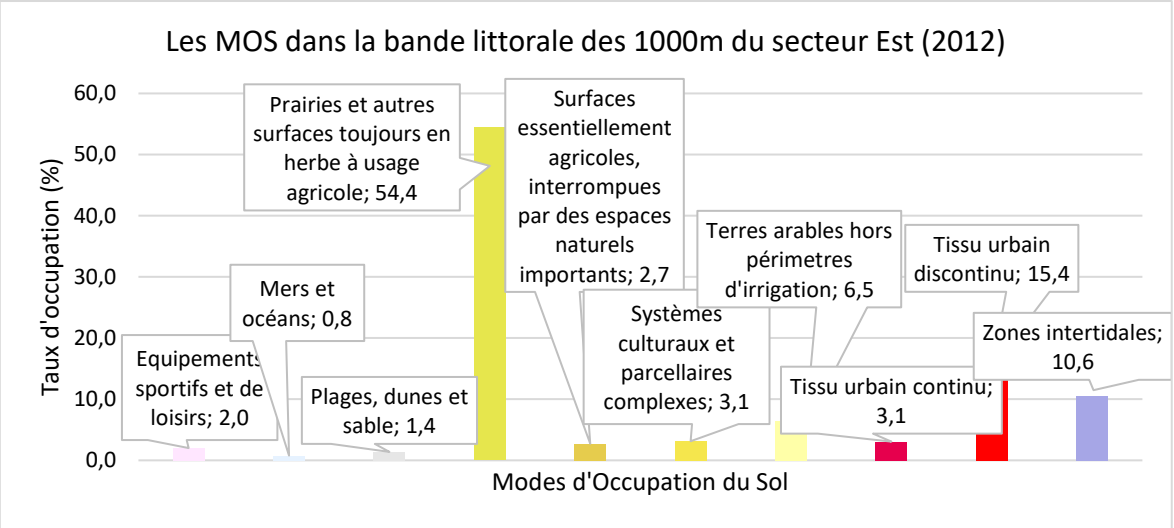
Annexe 7 : Graphique des MOS dans les 100 m sur le secteur Est (CLC 2012), P. EMILE, 2019



Annexe 8 : Graphique des MOS dans les 200 m sur le secteur Est (CLC 2012), P. EMILE, 2019

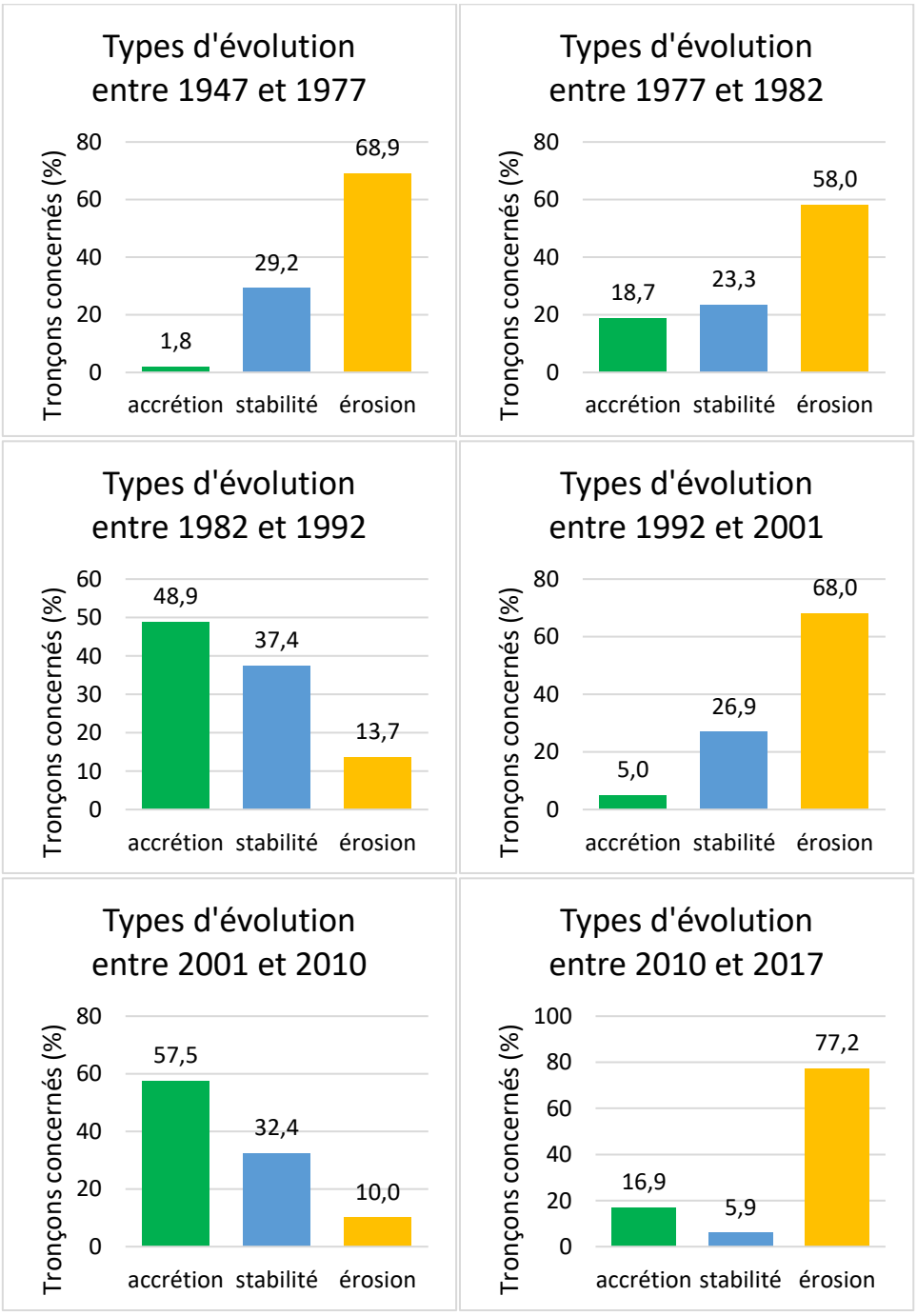


Annexe 9 : Graphique des MOS dans les 500 m sur le secteur Est (CLC 2012), P. EMILE, 2019



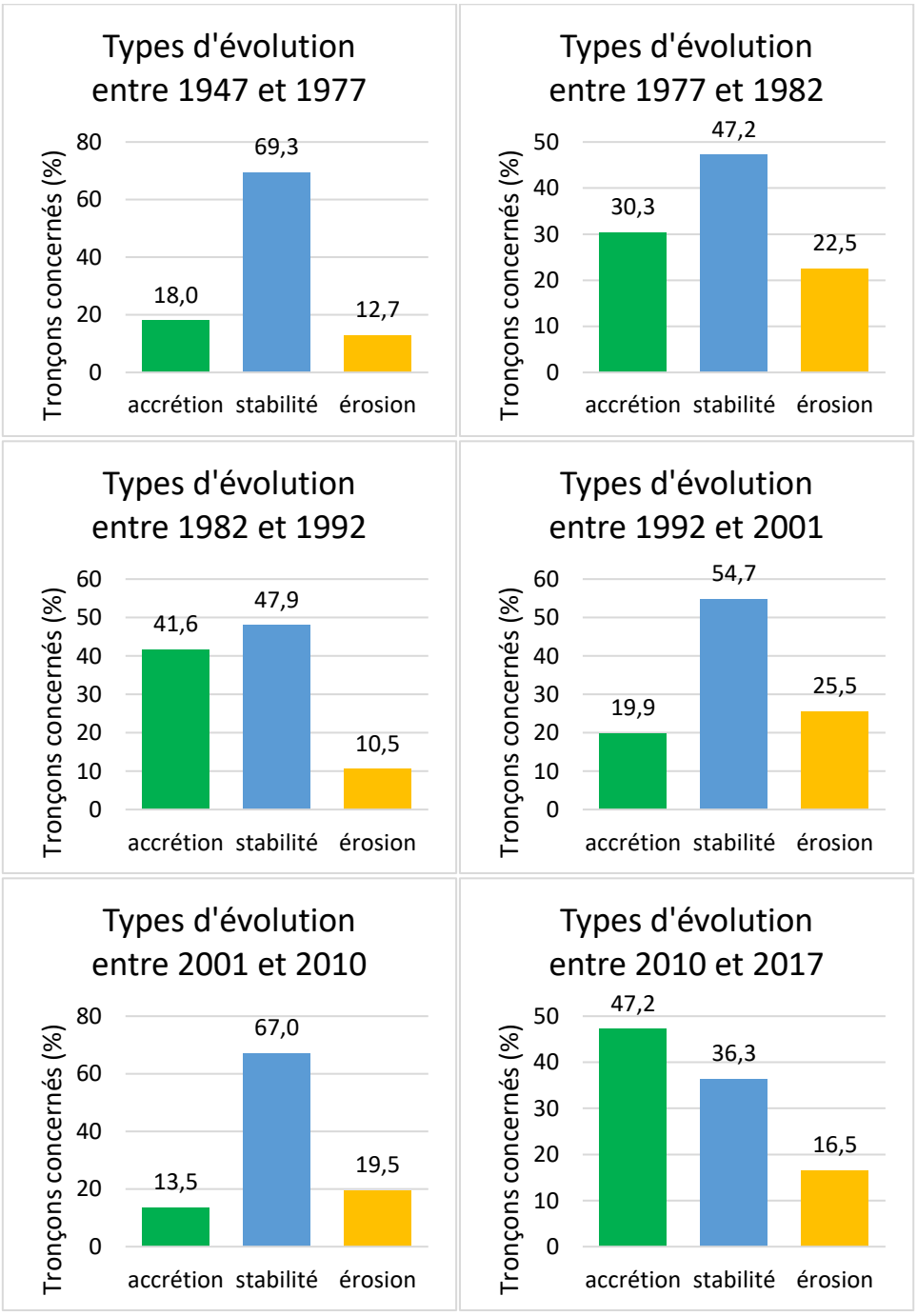
Annexe 10 : Graphique des MOS dans les 1000 m sur le secteur Est (CLC 2012), P. EMILE, 2019

Les rythmes d'évolution sur le secteur Ouest

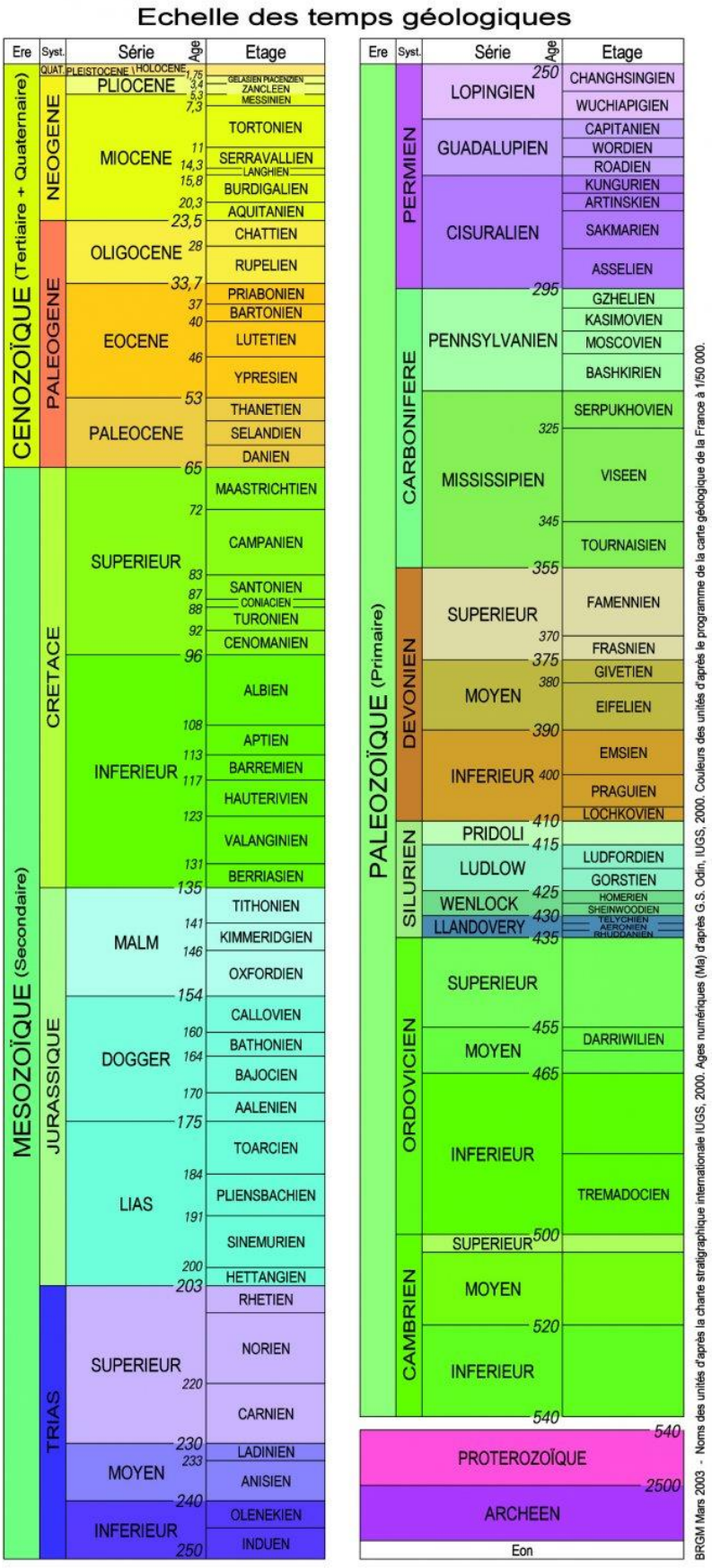


Annexe 11 : Graphiques des évolutions successives sur le secteur Ouest entre 1947 et 2017, à partir des données du ROLNP, P. EMILE, 2019

Les rythmes d'évolution sur le secteur Ouest



Annexe 12 : Graphiques des évolutions successives sur le secteur Est entre 1947 et 2017, à partir des données du ROLNP, P. EMILE, 2019



Annexe 13 : Echelle des temps géologiques simplifiée, BRGM (sur sigesaqui.brgm.fr)

Table des matières

Remerciements 3
Sigles utilisés 4
Sommaire 5
Introduction générale : le littoral, les aléas côtiers, la géographie 7
I. Le littoral et les aléas côtiers : des thématiques actuelles 8
I.1. Un littoral qui attire des populations et des activités diversifiées 8
I.2. Des problématiques nombreuses qui s'accentuent : de l'aléa côtier au risque 9
I.2.1. Les aléas côtiers 9
I.2.2. Les risques littoraux 12
I.3. Des concepts spécifiques à l'étude des littoraux 13
I.3.1. Le système littoral 13
I.3.2. Des concepts géomorphologiques et océanographiques spécifiques au littoral 14
I.3.2.1 Côtes d'ablation et côtes d'accumulation 14
I.3.2.2 Les plages 14
I.3.2.3 Les dunes 16
I.3.2.4 Le trait de côte 17
I.3.2.5 La marée astronomique 17
I.3.2.6 Les courants de marée 18
I.3.2.7 Les houles 18
I.3.2.8 La dérive littorale d'estran 20
I.4. Une gestion globale du trait de côte indispensable 20
I.4.1. Plusieurs options face aux aléas côtiers 20
I.4.2. Le concept de Gestion Intégrée des Zones Côtières 21
II. L'étude du littoral d'un point de vue géographique 23
II.1. Approches et démarches adoptées pour la réalisation du mémoire 23
II.2. Les outils du géographe et l'approche globale au service de l'étude du littoral 24
Partie 1 : Deux secteurs d'étude sur les façades Ouest et Est du Cotentin : contextes géographiques et éléments exposés 25
1.1. Des contextes physiques distincts : le Golfe normand-breton et la Baie de Seine 28
1.1.1. Présentation géographique des secteurs d'étude 28
1.1.1.1. Secteur 1 : la côte Ouest du Cotentin entre Sciotot et Baubigny 28
1.1.1.2. Secteur 2 : la côte Est-Cotentin entre Quettehou et Quinéville 32
1.1.1.3. Pourquoi le choix de ces secteurs en particulier ? 34

1.1.2. Géologie et géomorphologie du Cotentin : le massif armoricain à l'Ouest et l'extrémité du bassin sédimentaire à l'Est 39
1.1.2.1. Un relief important dans le Nord-Cotentin et des zones basses le long des côtes et au niveau des marais de Carentan 39
1.1.2.2. Une forte densité de cours d'eau dans le Cotentin 42
1.1.2.3. Le Cotentin : deux façades aux géologies distinctes 43
1.1.2.3.1. La géologie du secteur Ouest-Cotentin : des roches anciennes et des dépôts dunaires du Quaternaire 48
1.1.2.3.2. La géologie du secteur Est-Cotentin : des éléments du Bassin sédimentaire et des dépôts du Quaternaire qui recouvrent partiellement le Massif armoricain 50
1.1.3. Conclusion de partie 51
1.2. Des conditions hydrodynamiques et météorologiques plus exigeantes sur la côte Ouest, pour des dynamiques hydrosédimentaires distinctes de la côte Est plus abritée 52
1.2.1. Contexte météorologique et hydrodynamique : le vent, la houle et les courants de marée 52
1.2.1.1. Contexte général du Cotentin 52
1.2.1.1.1. Le climat du Cotentin : un climat tempéré à la forte influence maritime 52
1.2.1.1.2. Des côtes macrotidales 54
1.2.1.1.3. Des houles perturbées par les îles, îlots et fonds sableux 55
1.2.1.2. Dans le secteur Ouest : des contraintes importantes sur la côte et le rôle du Golfe normand-breton 56
1.2.1.3. Le secteur Est : une position plus abritée 57
1.2.2. Contexte hydrosédimentaire : cellule hydrosédimentaire, dérive littorale et bancs sableux 58
1.2.2.1. Contexte hydrosédimentaire du Cotentin 58
1.2.2.1.1. Les cellules hydrosédimentaires 58
1.2.2.1.2. Les sédiments du Cotentin et les processus sédimentaires au large et auprès des côtes 60
1.2.2.2. Le secteur Ouest 62
1.2.2.3. Le secteur Est 64
1.2.3. Conclusion de partie 65
1.3. Des domaines littoraux variés : de l'anse d'accumulation du Cul de Loup au massif dunaire de Baubigny en passant par les perrés de Quinéville 66
1.3.1. Les traits de côte : des longs cordons dunaires, des tronçons végétalisés et des traits de côte artificialisés 66
1.3.1.1. La notion de trait de côte 66
1.3.1.2. Les traits de côte actuels des secteurs étudiés 69
1.3.1.2.1. Les indicateurs retenus 69

1.3.1.2.2. Un trait de côte composé de dunes arrières-littorales sur le secteur Ouest avec la présence d'affleurements rocheux 70

1.3.1.2.3. Un trait de côte composé de petites accumulations dunaires en arrière de plage sur le secteur Est 75

1.3.1.3. Les traits de côte artificiels 81

1.3.1.3.1. Définition d'un trait de côte artificiel 81

1.3.1.3.2. Des ouvrages artificiels variés sur les deux secteurs d'étude 83

1.3.1.3.3. Des ouvrages artificiels construits depuis longtemps sur le secteur Est, plus récemment sur le secteur Ouest 84

1.3.1.3.4. Un trait de côte très artificialisé sur le secteur Est 85

1.3.1.3.5. Un trait de côte moins artificialisé sur le secteur Ouest 93

1.3.2. Des estrans de sables moyens et des platiers rocheux sur la façade Ouest ; des sables fins, des sédiments vaso-sableux et du schorre à l'Est 99

1.3.2.1. Des sables moyens et des platiers rocheux sur les estrans du secteur Ouest 100

1.3.2.2. Des sables fins, des sédiments vaso-sableux et du schorre sur les estrans du secteur Est 102

1.3.3. Conclusion de partie 104

1.4. Les enjeux dans la bande littorale : des espaces peu mis en valeur et des zones de concentration de population et d'activités 105

1.4.1. Une population plutôt regroupée en pôles autour desquels sont implantés des petites villes 105

1.4.1.1. A l'échelle du Cotentin : des pôles concentrant la population 106

1.4.1.2. Le secteur de l'Ouest-Cotentin, entre Flamanville et Baubigny : de fortes dissimilarités de population 108

1.4.1.3. Le secteur de l'Est-Cotentin, entre Saint-Vaast-la-Hougue et Quinéville, deux communes qui polarisent l'ensemble 109

1.4.2. Le rôle non négligeable du tourisme et des estivants dans la population du Cotentin 110

1.4.2.1. A l'échelle du Cotentin : l'observation flagrante du rôle du littoral pour les taux de résidences secondaires 110

1.4.2.2. Un taux important de résidences secondaires sur le secteur Ouest, au Sud de Sciotot 111

1.4.2.3. Un taux important de résidences secondaires mais non homogène sur l'ensemble du secteur Est, en particulier quand le bourg est proche de la mer 112

1.4.3. Des Modes d'Occupation des Sols et des enjeux en évolution dans le temps 113

1.4.3.1. Les MOS du secteur Ouest de Sciotot à Baubigny en 1995 et en 2012 113

1.4.3.2. Les MOS du secteur Est : de Saint-Vaast-la-Hougue à Quinéville en 1995 et en 2012 .. 117

1.4.4. Des éléments exposés inégalement répartis au sein des secteurs 121

1.4.4.1. Quelques zones d'importantes expositions d'éléments sur le secteur Ouest 122

1.4.4.2. Des zones de forte implantation de bâtiments d'activité conchylicole au Nord et de nombreuses habitations au Sud du secteur Est 125

1.4.5. Conclusion de partie 128
Partie 2 : Apports des SIG pour repérer les rythmes d'évolution du trait de côte et combiner les informations sur le littoral 129
2.1. De nombreuses informations à regrouper, à croiser et à représenter : l'intérêt des SIG pour l'étude des littoraux 130
2.1.1. Les SIG : outil du géographe 130
2.1.2. De nombreux rapports et organismes producteurs de données 131
2.1.2.1. La bibliographie et l'étude sur le terrain 131
2.1.2.2. Données de recensements de population ou d'occupation du sol 131
2.1.2.3. Données d'imagerie aérienne (outil Remonter le temps et BD Ortholittorale) 132
2.1.2.4. Données générales et spécialisées utilisées dans le cadre du mémoire 133
2.1.2.4.1. Des données numériques qui peuvent être traitées sous SIG 133
2.1.2.4.2. Structures d'observation du littoral 134
2.1.3. Des informations sur les positions successives du trait de côte 135
2.1.3.1. L'approche diachronique pour connaitre l'évolution et les rythmes passés 135
2.1.3.2. Le Centre Régional des Etudes Côtières (CREC) 135
2.1.3.3. La photo-interprétation de photographies aériennes 137
2.1.3.3.1. Du géoréférencement à la digitalisation 137
2.1.3.3.2. Les traits de côte du ROLNP de 1947 à 2010 138
2.1.3.4. La télédétection 140
2.1.3.4.1. Principes de la télédétection 140
2.1.3.4.2. Le trait de côte de 2017 à partir des données LIDAR du ROLNP 141
2.1.3.5. Les autres méthodes pour repérer la position du trait de côte 142
2.1.4. Des informations sur le trait de côte et l'estran 144
2.1.4.1. Données du ROLNP 144
2.1.4.2. Données sur les natures d'estran 144
2.1.5. Des informations sur l'arrière-littoral 145
2.1.5.1. Données sur les éléments exposés 145
2.1.5.2. Données sur les Modes d'Occupation du Sol 145
2.1.5.3. Données sur la géologie 146
2.1.5.4. Données sur les zones basses 147
2.1.6. Conclusion de partie 148
2.2. La méthode de la segmentation par boîte : utilisation pour l'évolution du trait de côte et la combinaison d'informations sur le littoral 149
2.2.1. Principes de la segmentation par boîte et utilisation dans le mémoire 149
2.2.1.1. Différentes méthodes de segmentation aux applications variées 149
2.2.1.1.1. La segmentation par boite pour étudier le littoral de manière systémique 149

2.2.1.2. Une démarche précise à suivre pour la segmentation 151
2.2.1.2.1. Préparation de la base de données 151
2.2.1.2.2. Réalisation des traces espacées de 50 m 151
2.2.1.2.3. Réalisation des boites de la segmentation 152
2.2.2. L'intérêt de la segmentation pour la compréhension de l'évolution de la position du trait de côte entre 1947 et 2017 : présentation méthodologique 152
2.2.2.1. Le trait de côte : une évolution non linéaire dans le temps et dans l'espace 152
2.2.2.1.1. L'évolution du littoral : un processus normal et incontournable 152
2.2.2.1.2. L'approche diachronique pour étudier l'évolution littorale 153
2.2.2.1.3. La segmentation appliquée à l'évolution du trait de côte 153
2.2.2.2. La méthode des polygones d'évolution à partir des tronçons de 50 m 154
2.2.2.2.1. Réalisation des polygones d'évolution 154
2.2.2.2.2. Quantification des évolutions du trait de côte 154
2.2.2.2.3. Ajouter l'information sur les rythmes d'évolution dans les boites 154
2.2.2.3. Représentation de l'information 155
2.2.3. Création d'indicateurs pour la segmentation 156
2.2.3.1. Informations sur le trait de côte 156
2.2.3.2. Information sur les enjeux 156
2.2.3.3. Autres informations physiques, géomorphologiques présentes dans les boites : taux d'occupation de chacun 157
2.2.4. Croisement des informations à l'aide de la segmentation par boite 157
2.2.5. Conclusion de partie 157
2.3. L'intérêt des statistiques dans l'étude du système littoral 158
2.3.1. Des typologies pour simplifier l'information et créer des niveaux 158
2.3.1.1. Principe et méthode utilisée 158
2.3.1.2. Typologie des rythmes d'évolution du trait de côte 158
2.3.1.3. Typologie des zones d'éléments exposés 159
2.3.2. Appréhender les interrelations entre variables à l'aide de la régression linéaire 160
2.3.2.1. Idée générale et objectif 160
2.3.2.2. Le test de régression linéaire 160
2.3.3. Conclusion de partie 162
Partie 3 : Des traits de côte aux rythmes d'évolution non homogènes dans le temps et dans l'espace 163
3.1. L'évolution du littoral de 1947 à 2017 : une érosion globale sur le secteur Ouest-Cotentin et un équilibre dynamique sur le secteur Est-Cotentin 164
3.1.1. L'évolution depuis 1947 : une hétérogénéité spatiale à plusieurs échelles 164

3.1.1.1. Le secteur Ouest, un secteur globalement en érosion depuis 1947, notamment au Sud du Cap du Rozel 164
3.1.1.2. Le secteur Est, un secteur entre équilibre dynamique et accrétion depuis 1947..... 166
3.1.2. Observation des rythmes d'évolution à travers 6 périodes : une hétérogénéité temporelle 168
3.1.2.1. Le secteur Ouest : un secteur plutôt en érosion aux rythmes d'évolution non homogènes 168
3.1.2.2. Le secteur Est : une côte aux dynamiques variées et non homogènes dans le temps .. 170
3.1.2.3. Conclusions et limites de l'étude des rythmes..... 172
3.1.3. Typologie des tronçons selon leurs rythmes d'évolution dans le temps 173
3.1.3.1. Un secteur Ouest globalement en érosion sur l'ensemble de la période considérée ... 173
3.1.3.2. Un secteur Est aux fortes dissimilarités dans le temps et dans l'espace 179
3.1.3.3. Intérêts et limites de la méthode 184
3.1.4. Conclusion de partie..... 184
3.2. Les éléments exposés de la bordure littorale face aux évolutions de la position du trait de côte 185
3.2.1. Typologie des éléments exposés dans les bandes littorales des 100 m et des 500 m..... 185
3.2.1.1. Dans le secteur Ouest : quelques zones de forte concentration d'éléments exposés au sein d'un espace présentant peu d'enjeux..... 186
3.2.1.1.1. De nombreuses zones faiblement exposées et des espaces aux forts enjeux dans la bande littorale des 500 m 186
3.2.1.1.2. Une majorité de zones à enjeux quasi nuls dans la bande littorale des 100 m et quelques secteurs avec des éléments exposés plus nombreux..... 186
3.2.1.2. Dans le secteur Est, une majorité d'espaces d'assez faibles enjeux et des zones avec de nombreux bâtis indifférenciés et industriels exposés..... 189
3.2.1.2.1. Des enjeux relativement faibles sur les deux tiers du secteur et une exposition importante de bâtis indifférenciés et/ou industriels dans le reste de la bande des 500 m 189
3.2.1.2.2. Des enjeux très faibles sur une majorité du secteur dans la bande littorale des 100 m avec quelques zones aux nombreux bâtis indifférenciés ou à très forte concentration de bâtiments industriels 189
3.2.2. Le bâti dans les zones basses 192
3.2.3. Conclusion de partie..... 193
3.3. Essai d'interprétation des liens de causalité entre l'évolution du trait de côte et diverses variables du littoral..... 194
3.3.1. La nature du trait de côte : un indicateur et un témoin de l'évolution 195
3.3.1.1. Données utilisées et hypothèses..... 195
3.3.1.2. La nature de trait de côte sur le secteur Ouest en grande partie explicative de l'évolution 196
3.3.1.3. La nature de trait de côte sur le secteur Est en partie explicative de l'évolution..... 198

3.3.1.4. Conclusion sur les liens de causalité entre nature de trait de côte et évolution 199
3.3.2. La nature de l'estran : un indice assez faible sur l'évolution du trait de côte 200
3.3.2.1. Données utilisées et hypothèses 200
3.3.2.2. Les natures d'estran sur le secteur Ouest 200
3.3.2.3. Les natures d'estran sur le secteur Est 202
3.3.2.4. Conclusion sur les liens de causalité entre nature d'estran et évolution du trait de côte 203
3.3.3. La géologie : le facteur important de la résistance des roches 204
3.3.3.1. Données utilisées et hypothèses 204
3.3.3.2. Les natures de géologie sur le secteur Ouest 205
3.3.3.3. Les natures de géologie sur le secteur Est 207
3.3.3.4. Conclusion sur les liens de causalité entre nature de géologie et évolution du trait de côte 208
3.3.4. Conclusion de partie 209
Conclusion 211
I. Résumé du mémoire 211
II. Limites et perspectives d'amélioration du mémoire 213
III. Les littoraux dans le futur et leurs nouvelles gestions 214
Bibliographie et webographie 216
Table des figures 222
Annexes 231
Table des matières 242