



HAL
open science

La côte d'Emeraude : forçages météorologiques et anthropiques sur la morphodynamique littorale

Haya Mahmoud

► **To cite this version:**

Haya Mahmoud. La côte d'Emeraude : forçages météorologiques et anthropiques sur la morphodynamique littorale. Géographie. Université Rennes 2, 2015. Français. NNT : 2015REN20055 . tel-01424146

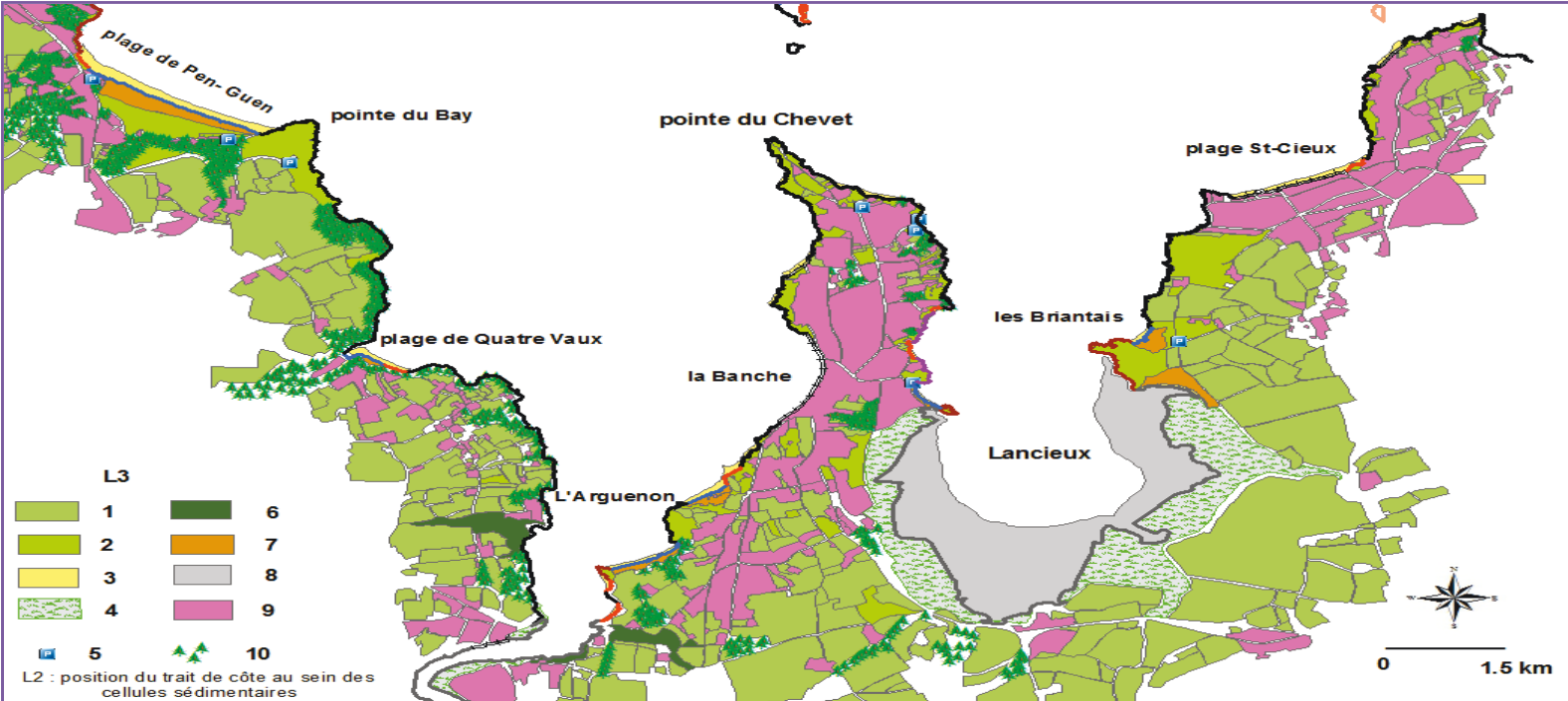
HAL Id: tel-01424146

<https://theses.hal.science/tel-01424146>

Submitted on 2 Jan 2017

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.



Présentée par
Haya Mahmoud

Préparée à l'Unité Mixte de recherche 6554
Université Rennes 2 Haute-Bretagne
COSTEL LETG UMR 6554 CNRS



**THESE / UNIVERSITE RENNES 2 HAUTE
BRETAGNE**
Sous le sceau de l'Université européenne
de Bretagne

Pour obtenir le titre de
**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE EUROPEENNE DE
BRETAGNE**

Mention : Géographie
Ecole doctorale Sciences Humaines et Sociales

La côte d'Emeraude Forçages météorologiques et anthropiques sur la morphodynamique littorale.

**Thèse soutenue le 10 décembre 2015 devant le jury
composé de :**

Marc Robin

Professeur, Université de Nantes – laboratoire Geolitomer
UMR 6554 LETG/ *examineur*

Giuseppe Mastronuzzi

Professeur, Université Bari Italie / *rapporteur*

Marie Pascale Corcuff

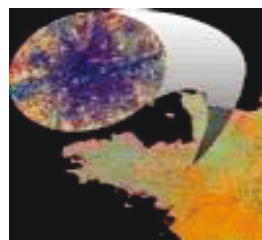
Professeur Ecole d'Architecture, Laboratoire Grief, Rennes
/ *examineur*

Christophe Morhange

Professeur, Université d' Aix Laboratoire CEREGE /
rapporteur

Hervé Regnaud

Directeur de thèse



À Rawa et Zoya

Remerciements

Mes premiers remerciements s'adressent tout particulièrement à mon directeur de thèse : Hervé Regnauld à qui je dois ces premiers pas dans le domaine de la recherche. Un grand merci pour le temps qu'il a su me consacrer, pour ses conseils scientifiques et amicaux, et pour son aide précieuse sur le terrain et ses conseils avisés.

Je remercie également l'ensemble des membres du laboratoire COSTEL au sein duquel j'ai été accueillie et notamment à Hervé Quenol et Samuel Corgne, pour la gentillesse et la sympathie qu'ils m'ont témoignées, grand merci aussi à Jean Nabucet Johan Oszwald, Alban Thomas dont les conseils m'ont aidé à dépasser certaines difficultés

Je remercie également, Xavier pour son aide et pour tous les services rendus, Pauline et Solène pour leur bonne humeur, leur écoute, et leur gentillesse.

Enfin, c'est avec beaucoup de reconnaissance et d'affection que je pense à mes proches, à ma famille. A mes parents, mes sœurs et mon frère pour leur soutien et leurs encouragements, à mes amies à la fois ceux qui furent des amis et confidents dans les moments de joie ou de découragement, Sinda, Hanada, Khaled, Dima, Bassam, merci pour toute l'aide et de tout le soutien qu'ils ont pu m'apporter lors de la réalisation de ce travail.

Chapitre 1 : Contexte général	5
<i>I. Introduction</i>	5
<i>II. Positionnement et échelles d'observation</i>	6
<i>III. Problématique et objectifs</i>	12
<i>IV. Basse des données hydrodynamique et météorologiques</i>	13
<i>V. Organisation de la thèse:</i>	13
Chapitre 2 : Caractéristiques environnementales générales	15
<i>I - le cadre général géologique</i>	15
<i>II. Les contrôles météorologiques et marégraphiques</i>	21
<i>II. 1. Le régime climatique général</i>	21
<i>III. les principaux types géomorphologiques de côtes</i>	30
III.1. Les côtes à falaises rocheuses	31
III.2. cotes sableuses.....	33
III.3. Vasières	34
<i>IV. L'urbanisation et l'artificialisation du littoral</i>	35
Chapitre 3 : Présentations des principaux sites étudiés	39
<i>I. Secteur 1 (Pointe du Grouin – St Malo)</i>	39
II. Secteur 2 : (Dinard- Saint Briac)	49
III. Secteur 3 : Saint Briac – Cap Fréhel	53
<i>Synthèse:</i>	64
Chapitre 4 : Approche méthodologique et données	65
<i>I. Rectification géométrique des données disponibles</i>	65
I.1-outils et données	65
<i>II. Modélisation et extraction de la ligne de référence</i>	67
<i>II.1. Choix d'une ligne de référence :</i>	67
II.2. Extraction de marge d'erreur	74
II.3. Production de la couche d'information.....	76
<i>Synthèse:</i>	76
Chapitre 5 : L'analyse locale de la cinématique littorale : évolution significative du linéaire côtier particulièrement des plages	78
<i>I. Cinématique locale du trait de côte au sien du secteur 1 sur chaque système côtier</i>	78
<i>I.1 système plage dune secteur 1:</i>	78

I.2. Cinématique du trait de côte au sein du secteur 2 sur chaque système côtier.....	91
I.3. Cinématique du trait de côte au sein du secteur 3 sur chaque système côtier.....	93
Synthèse	124
Chapitre 6 : Analyse spatiale de la mobilité du trait de côte et identification des schémas de circulation hydro-sédimentaire.....	125
<i>I. La mobilité du trait de côte aux fronts dunaires de secteur 1.....</i>	<i>126</i>
<i>II. La mobilité au sein des plages de secteur 2</i>	<i>139</i>
<i>III. La mobilité au sein des plages de secteur3</i>	<i>144</i>
<i>IV. identifier les schémas de circulation hydro- sédimentaire.....</i>	<i>151</i>
Synthèse	164
Chapitre 7 : Présentation des contraintes relative au recul du trait de côte en zone d'étude (1952 – 2010).....	167
<i>I. Effets de tempête et forme de recul</i>	<i>168</i>
<i>II. Effets des actions anthropiques sur la ligne côtière.....</i>	<i>174</i>
<i>III. Quel effet à l'anthropisation sur le fonctionnement sédimentaire</i>	<i>188</i>
Synthèse :	194
Conclusion générale.....	195
Table des figures : (certaines photos proviennent de la base de données de cartes postales Cartolis).....	202
Liste des Tableaux	208
Bibliographies	211

Chapitre 1 : contexte général

I. Introduction

La côte (ou littoral) est définie comme le contact entre une étendue maritime et le continent. Cette zone d'interface peut s'étendre de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres de part et d'autre de la limite terre-eau, selon les échelles retenues,

Le système littoral composé d'eau, d'air, de sédiments, de roches cristallins et d'organismes vivants. Il est également un espace d'activités privilégié pour les hommes. Ces éléments naturels et ces activités anthropiques se sont juxtaposés au fil du temps et les interactions entre eux sont de nature très variées et généralement non-linéaires. Elles ne peuvent pas être expliquées par une simple relation de proportionnalité, et sont marqués par une forte variabilité spatiale et temporelle (***Carter 1988, Haslett 2000***)

L'étude des systèmes littoraux en général implique un espace à 3 dimensions, mesurées en latitude, longitude et altitude/profondeur. Elle prend également en compte la dimension temporelle indispensable pour décrire les modifications du milieu.

La structure du système s'organise dans l'espace et dans le temps, elle est caractérisée par :

-Une limite ou frontière qui est mobile. Ce sont les limites par exemple qui séparent un cordon dunaire d'un marais. Il ne s'agit donc pas d'une frontière absolument étanche mais plutôt d'un changement de forme, de sédiment et de type de mobilité.

-Des éléments ou composants, pouvant être assemblés en catégories. Ces éléments sont, principalement des sites qui injectent du matériel dans le système (les sites sources qui s'érodent) un réseau de communication, qui permet des échanges de matériel (zone de transit soumise à la dérive littorale en surface et sur le fond) et enfin des bassins, des réservoirs, dans lesquelles les éléments peuvent être stockés (sites puits, sites d'accumulation). C'est ainsi qu'est apparu le concept de cellule sédimentaire, concept rattaché à la notion de transit longitudinal et décrit par beaucoup d'auteurs comme étant indissociable de celui de budget sédimentaire.

Le recul des côtes peut s'expliquer par le cumul de différents effets naturels et anthropiques (**Paskoff, 1998a**) : la position du trait de côte peut être vue comme un équilibre entre les apports sédimentaires maritimes et terrestres, d'une part sous l'action des vagues et marées et d'autre part transportés par les rivières et le vent.

Au cours du XXe siècle les volumes sédimentaires côtiers ont diminué et l'anthropisation a aggravé la situation en diminuant l'apport sédimentaire provenant des rivières (barrages sur l'ensemble des fleuves et rivières, jouant le rôle de pièges à sédiments). De plus, la tendance à l'installation humaine au plus proche des côtes tend à détruire les dunes et ainsi à diminuer encore les réservoirs sédimentaires terrestres. Sans oublier la conséquence de la multiplication d'évènements extrêmes dont il est difficile de déterminer le rôle sur la stabilité des plages.

Donc L'étude du littoral implique de penser la côte comme un milieu dynamique et changeant, qui ne peut pas être réduit à un simple inventaire de formes.

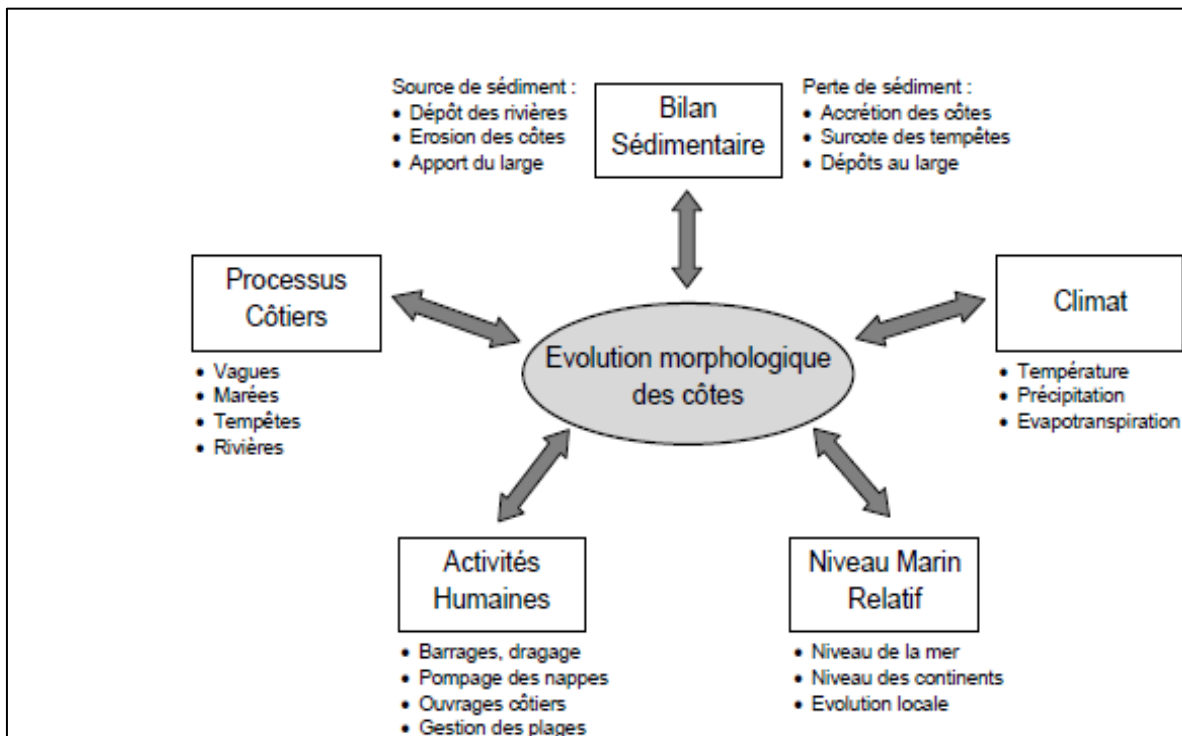


Figure 1 : Synthèse des paramètres influençant l'évolution morphologique des côtes (Thornton, Dalrymple et al. 2000)

II. Positionnement et échelles d'observation

Ces travaux s'intéressent à la Côte d'Emeraude sur le littoral nord de la Bretagne, entre la pointe du Grouin à l'Est et le Cap Fréhel à l'Ouest (**Regnaud. Mahmoud, H. 2015**) Ce domaine

côtier est caractérisé par une grande diversité, avec des morphologies en partie déterminées par l'hétérogénéité pétrographique des roches encaissantes et de la tectonique qui les affecte. La frange littorale est également composée de plages sableuses de petite taille, encastrées entre des pointes rocheuses et de baies abritées souvent vaseuses.

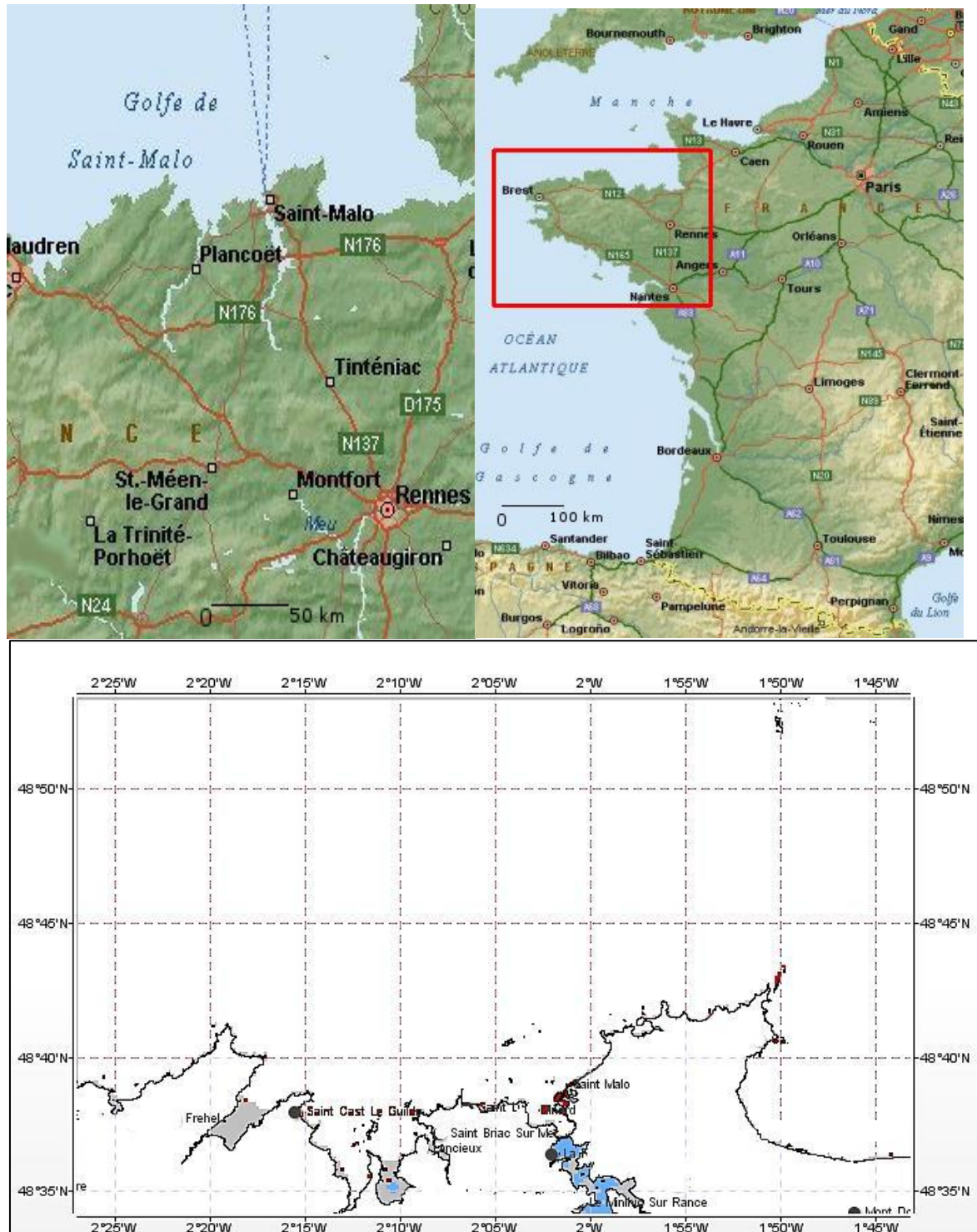


Figure 2: localisation générale de la zone d'étude sources IGN et Prévimer

Ce littoral est très fréquenté. Il est aménagé par deux types principaux d'aménagement tantôt « doux », tantôt « durs » et protégé de telle façon que cette sur-fréquentation ne le dégrade pas (trop). Il abrite des sites préhistoriques, il a une dynamique érosive localement forte mais un bilan sédimentaire souvent positif ce qui entraîne une forte variabilité morphologique pour les profils de plage et une très grande variabilité des paysages au cours de l'année. L'espace choisi, aux alentours des villes de Dinard et Saint Malo correspond à un milieu macro tidal, particulièrement anthropisé (ports militaires, tourisme, construction du barrage de la Rance) et pourtant considéré comme un littoral relativement préservé, au point qu'un projet de Parc Naturel régional le concerne. L'ensemble étudié va donc, comme cela a été signalé plus haut, du Cap Fréhel à l'ouest jusqu'à la Pointe du Grouin à l'est. Ces deux pointes peuvent être considérées comme les deux extrémités d'une large baie de St Malo qui fonctionnerait alors comme une sorte de cellule sédimentaire à l'échelle régionale, entre celle du Mont St Michel à l'est et celle de la Baie de St Brieuc à l'ouest. Il y a donc un ensemble qui peut être considéré comme cohérent du point de vue morphodynamique et du point de vue des politiques d'aménagement (périmètre du projet de PNR).

L'analyse d'un tel environnement est donc complexe. Cela vient aussi de la variété des forçages (par exemple climatiques) et de la diversité des éléments emboîtés et reliés les uns aux autres (en tenant compte des formes et des matériels hérités). Sur de tels systèmes, une large gamme d'évolutions se développe à des échelles spatiales et temporelles très vastes.

Pour ces raisons trois principales échelles spatiotemporelles ont été utilisées, en suivant l'idée initiale de **(Cowell , Thom 1994)** souvent reprise dans des travaux plus récents **(Dehouck 2006)**

-l'échelle géologique (grande échelle) : elle concerne les évolutions morphologiques et géologique opérant sur des durées variant entre quelques dizaines et quelques centaines de milliers d'années voire des millions. Selon le schéma de **Cowell et Thom (1994)** cela concernerait des distances allant de 10 000 à 100 km. Les éléments qui vont se transformer significativement à ces échelles sont par exemple les plateaux continentaux, avec les variations du niveau marin et du climat. Eventuellement une frontière entre plaques tectoniques peut aussi bouger significativement. Dans le cas de la Bretagne nord cette échelle est intéressante mais pas fondamentale car il s'agit d'une marge passive très stable, sans néo tectonique notable (sinon une légère subsidence en Baie du Mt St Michel), Cependant la variation du niveau marin depuis le pléni-glaciaire (-20 000 ans) joue, localement un rôle essentiel.

-l'échelle décennale concerne un pas de temps compris entre l'année et la dizaine d'années et serait associée à des dimensions de l'ordre de 100 à 1 km. Cette échelle est fondamentale pour la circulation de la cellule sédimentaire. Elle permet par exemple d'expliquer l'érosion d'un cordon dunaire, les régimes des houles et de vents et aussi l'action anthropique qui influence très nettement le littoral depuis plusieurs siècles.

- l'échelle événementielle (petite échelle) : elle est comprise entre 1 an et 1 seconde, pour des tailles allant de 1km à 1 cm. Les objets littoraux à cette échelle sont des formes élémentaires par exemple les croissants de plages, un pan de falaise... tandis que les forçages sont, par exemple, les tempêtes.

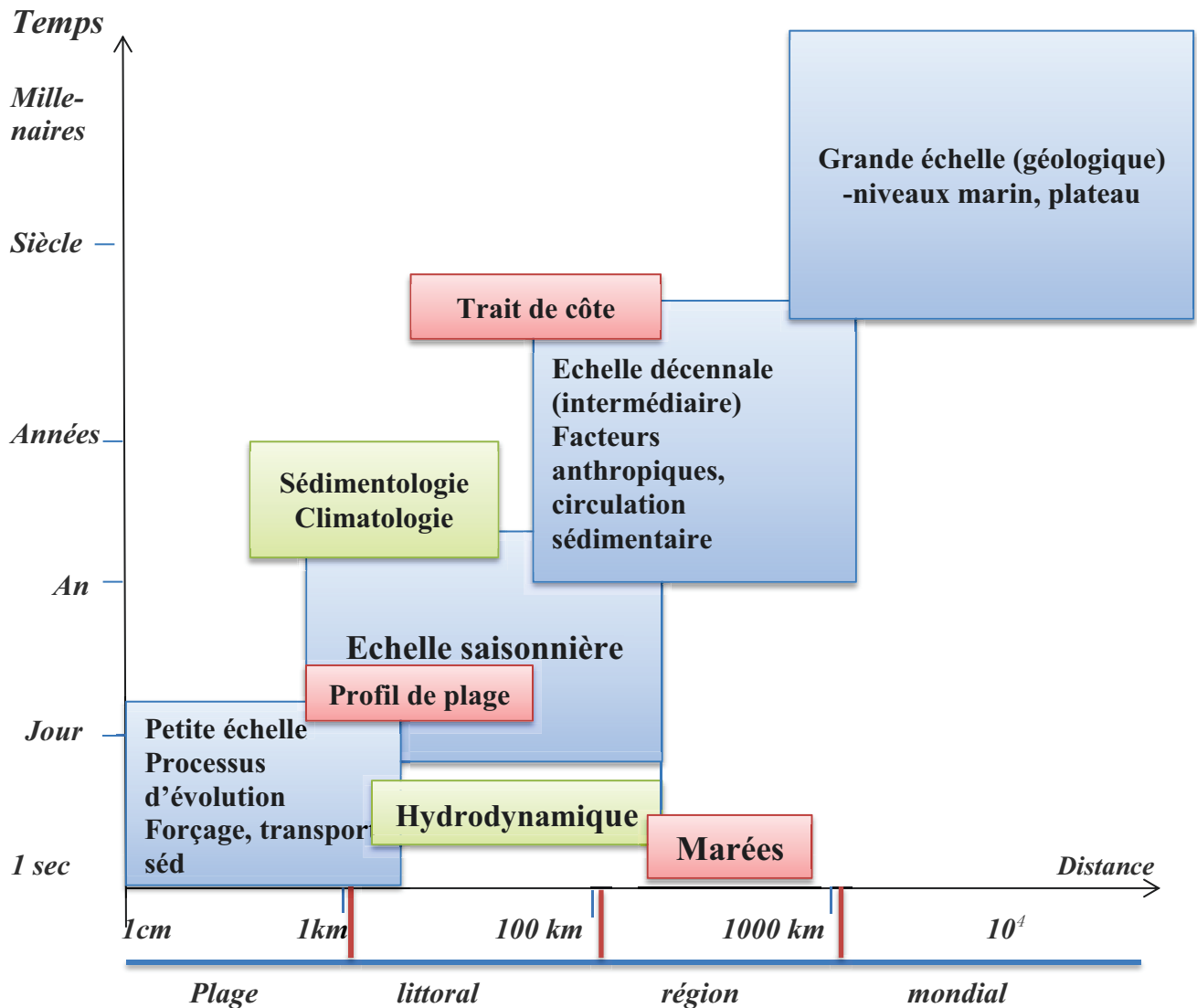


Figure 3: les échelles Les échelles d'observation d'un système littoral. (Inspirée de **Cowell P.J. et Thom B.G, 1994**). La géomorphologie englobe toutes ces échelles

Un enjeu scientifique important est de déterminer si ces trois échelles sont également pertinentes pour expliquer l'évolution morphodynamique d'un littoral ou si l'une d'entre elles est plus importante. Le travail de **Sabatier et al 2009** a par exemple souligné l'importance des liens entre les échanges sédimentaires dunes-plages opérant à court terme. Par contre

l'identification des principaux schémas de circulation sédimentaire sur des pas de temps plus longs et les processus de transports sédimentaires à long et moyen termes ont été traités dans les travaux de **Byrnes et Hiland, 1995, Larson et Krauss 1995** quand ils ont analysé de la mobilité du trait de côte. Le rôle des événements brutaux est également discuté. Il existe, par exemple des littoraux qui sont principalement forcés par les tempêtes et qui, en dehors de ces périodes d'agitation forte n'évoluent pas (ou presque pas) (cf numéro spécial de Norois sur tempête de 2008, dirigé par Suanez). D'autres littoraux sont peu impactés par les tempêtes mais sont contrôlés par l'association d'une tectonique positive et des variations du niveau marin (**Pirazzoli 1996**) Dans le cas précis de la côte d'Emeraude la question est largement ouverte : certaines tempêtes n'ont quasi pas d'impacts visibles car elles surviennent lors de marées basses de vives eaux, d'autres en marée haute de vives eaux laissent des traces très visibles dans le paysage littoral. Or il n'est pas absolument évident que les effets des tempêtes survenant en marée basses soient négligeables sur le fond et sur les transits sédimentaires. De la même façon les impacts visibles d'une tempête de marée haute sur un front dunaire sont spectaculaires mais peuvent être cicatrisés en quelques semaines. Il est donc délicat de définir si, à l'échelle événementielle, le contrôle principal sur les systèmes dune/plage est celui de la marée ou celui des tempêtes. Les travaux de (**Fouqué C 1996**) montrent qu'il n'existe pas de corrélation claire entre la morphologie des plages situées entre Saint Malo et Cancale (leur profil) et les conditions hydrologiques. A l'échelle du temps court le comportement de ce littoral n'est pas du tout homogène d'une plage à l'autre et ne manifeste aucune forme de régularité. Il semble n'y avoir que de la variabilité. Les travaux de (**Musereau, Regnaud et al. 2007**) ont également cherché à expliquer l'impact de la force et la fréquence de tempête sur l'évolution des vitesses de recul d'un littoral précis. Ils ne montrent pas davantage de corrélation solide entre profil de plage et hydrodynamisme. Ils signalent cependant que le littoral répond à la fois aux houles dominantes et aux directions de houles de tempêtes les plus fortes qui ne sont pas semblables (**Dubois 1988, Rosati 2005**). Le littoral de la Côte d'Emeraude est également composé de falaises, certaines taillées dans des roches résistantes (des grès ou des migmatites) d'autres dans des accumulations périglaciaires meubles (head, loess, paléo dunes). Sur ces reliefs l'impact des tempêtes est déterminant et il y a une très bonne corrélation entre épisodes de recul et tempêtes fortes en haute mer de vives eaux.

Il paraît donc important d'étudier l'évolution de ce littoral à l'échelle moyenne c'est-à-dire sur des pas de temps de plusieurs décennies, avec un large ensemble de sites divers. On peut alors espérer lisser la variabilité morphologique événementielle et obtenir des résultats fiables sur l'évolution morphodynamique des sites. Ce doctorat se propose donc d'étudier la côte d'Emeraude à l'échelle pluri décennale, sans tenir compte (sauf exception) de la variabilité morphologique événementielle.

Cette échelle de temps a un deuxième avantage : elle permet de prendre en compte les effets de l'anthropisation, qui sur ces sites a débuté vers le néolithique, avec un niveau marin probablement plus bas de trois mètres que l'actuel.

L'histoire de l'occupation des littoraux de la Bretagne nord par les populations est associée aux développements d'usages spécifiques, généralement dépendants de la proximité du bord de mer (**Bonnot Y. 1995**). Or la position de cette ligne de rivage a changé dans le temps, non seulement à cause de la remontée relative du plan d'eau mais aussi (et surtout) à cause de l'artificialisation du littoral pour des raisons militaires, industrielle et touristique. Des auteurs étudiant des sites différents (**Schoonees, Theron et al. 2006 ; Lee and Ryu 2008 ; Paskoff 1998; (Paskoff et Clus-Auby 2007 ; Chamley 2002; Costa, Gourmelon et al. 2005; Chaibi 2009)** ont montré les effets des structures installées pour contrôler les mouvements du trait de côte sur la dynamique littorale (**Hénaff et Jegu 1995 ; Costa et Davidson 2004**). Quelques auteurs ont également mis en avant le contexte actuel de sous-alimentation en insistant sur le faible recul des falaises meubles quaternaires et l'absence d'apports en provenance de l'estran ou de l'avant-côte (**Morel 1997 ; Fichaut 2007**).

III. Problématique et objectifs

L'objectif de ce doctorat est de décrire et d'expliquer la mobilité du littoral (des formes littorales) au cours d'une période couverte par des photos aériennes pour déterminer les tendances et les rythmes d'évolution actuels et les comparer (si c'est possible) avec l'évolution pluri séculaire telle qu'elle est connue à partir de données archéologiques et sédimentologiques.

Il vise également à décrire les changements, leurs rythmes, leurs causes et leur évolution puisque de nombreux sites passent d'un comportement en recul à un comportement en aggradation.

Le doctorat vise enfin à hiérarchiser l'efficacité des divers agents (naturels et anthropiques) qui contrôlent les processus morphogéniques. Ces derniers se relaient, s'assemblent et/ou s'opposent dans le temps et dans l'espace et expliquent non seulement les mouvements ponctuels (qui font parfois l'objet de mesures in situ en temps presque réel si des événements le rendent nécessaire) mais surtout l'évolution pluri décennale de trait de côte.

Par des raisons de commodité cartographique le littoral a été divisé en 3 secteurs. Le premier va du Grouin à Saint Malo, le second de Dinard à Saint Briac et le troisième de Saint Briac au Cap Fréhel. Au sein de chacun d'eux, on a distingué quatre systèmes littoraux (dune/plages, vasières, falaises dure, falaises meubles). L'analyse a cherché à obtenir des cartes d'évolution du littoral et des taux moyens de recul ou d'avancée de la ligne de rivage. Il s'est ensuite agité d'identifier les principaux facteurs contrôlant cette mobilité.

L'étude des interactions entre les contraintes physiques et anthropiques vise à déterminer si l'évolution actuelle du trait de côte est principalement due aux contraintes naturelles et relativement indépendantes des pressions anthropiques ou si au contraire l'importance des

aménagements et de l'anthropisation jouent un rôle majeur voire exclusif dans certains sites où elles contrôlent forme, stabilité et instabilité.

IV. Basse des données hydrodynamique et météorologiques

Les données utilisées dans ce doctorat viennent des organismes publics suivants

Le Centre d'Archivage National des Données de Houle In Situ (CANDHIS) est géré par le CETMEF et propose un archivage des données de houles mesurées in situ en temps réel à partir des bouées disposées en mer.

Prévimar : c'est un ensemble d'observations et d'outils de modélisations numériques coordonnées par l'Ifremer et le SHOM permettent de fournir des prévisions à 4 jours (96h) sur l'état de la mer, les courants, les niveaux de marée, la température et la production primaire.

Les données de la morphologie du trait de côte ont été obtenues par photo-interprétation, à partir de l'orthophotographie 2008 pour le troisième secteur (ST Briac sur mer –Cap Fréhel) et de l'orthophotographie 2010 pour le premier et le deuxième secteur, disponible en format ecw, produites par l'IGN avec une résolution de 50 cm. Les photos plus anciennes viennent aussi de l'IGN, avec des résolutions variables.

V. Organisation de la thèse:

Ce premier chapitre a permis d'introduire de manière générale le contexte scientifique dans lequel se positionne cette thèse, sa problématique spécifique et les sources documentaires disponibles.

Le chapitre deux présente successivement le cadre géologique, les principales formes géomorphologiques littorales et se termine par une description des caractéristiques hydro-climatiques

Le chapitre trois est une présentation détaillée des systèmes côtiers dans chaque secteur, qui montre la diversité géomorphologique des littoraux de la zone d'étude et qui constitue le fondement du choix de sites représentatifs pour aborder l'analyse locale de la cinématique littorale.

Le chapitre quatre présente la méthodologie mise en œuvre pour extraire et cartographier les indicateurs des traits de côte retenus et pour analyser les variations du trait de côte à l'échelle des systèmes côtiers (des sites) retenus.

Les couches cartographiques utilisées pour décrire les aspects morphologiques et cinématiques des sites exposées et expliquées en chapitre cinq

Le chapitre six est consacré à analyser la mobilité des formes d'accumulation (souvent des plages) dans chaque secteur et à cartographier les cellules sédimentaires associées aux systèmes dune-plage.

Le chapitre sept étudie les causes du recul de ces formes à travers l'analyse des forçages anthropiques et météo-marins (les tempêtes)

Chapitre 2 : Caractéristiques environnementales générales

L'ensemble des sites étudiés se situe sur la rive sud d'une sorte de site puits sédimentaire à l'échelle de la Manche : le golfe normano-breton et à une échelle plus locale, la baie de Saint Malo. Il convient donc d'abord décrire la configuration générale, depuis les traits principaux de la structure géologique jusqu'aux étapes principales de l'évolution holocène. Dans un second temps les conditions météo contrôlant les conditions hydrodynamiques seront présentées (vent, houles, vagues, marées).

La description de la morphologie des différents types de côtes sera suivie par une description rapide des principaux éléments qui caractérisent l'anthropisation.

I - le cadre général géologique

Le littoral étudié s'inscrit dans la partie Nord de la plateforme armoricaine (domaine nord-breton), principalement composée de des roches éruptives (granites) et métamorphiques (gneiss, micaschistes) ou parfois sédimentaires (grès à Fréhel) Sur ce massif armoricain, la couverture holocène affleure dans de nombreux secteurs, et constitue pour une certaine part la réserve sédimentaire des littoraux actuels (**Proust 2008**)

I.1. le matériel lithique et son organisation :

La connaissance de la structure du substratum est importante pour comprendre la morphologie de la côte et aussi pour expliquer la nature des sédiments issus de l'érosion des roches.

Dans la partie ouest de la zone étudiée les principales formations pétrographiques rencontrées dans les baies de Lancieux et de l'Arguenon sont des schistes et des gneiss. Au-delà de la plage des Quatre-Vaux, le plateau se prolonge dans les schistes micacés. La région de Saint-Cast est découpée par un certain nombre de fractures qui ont une grande influence sur la découpe de la côte figure (3) Plus à l'Ouest la pointe de la Latte, en grès, est occupée par un ancien horst datée de la période de grands mouvements compressifs de l'orogénèse cadomienne.

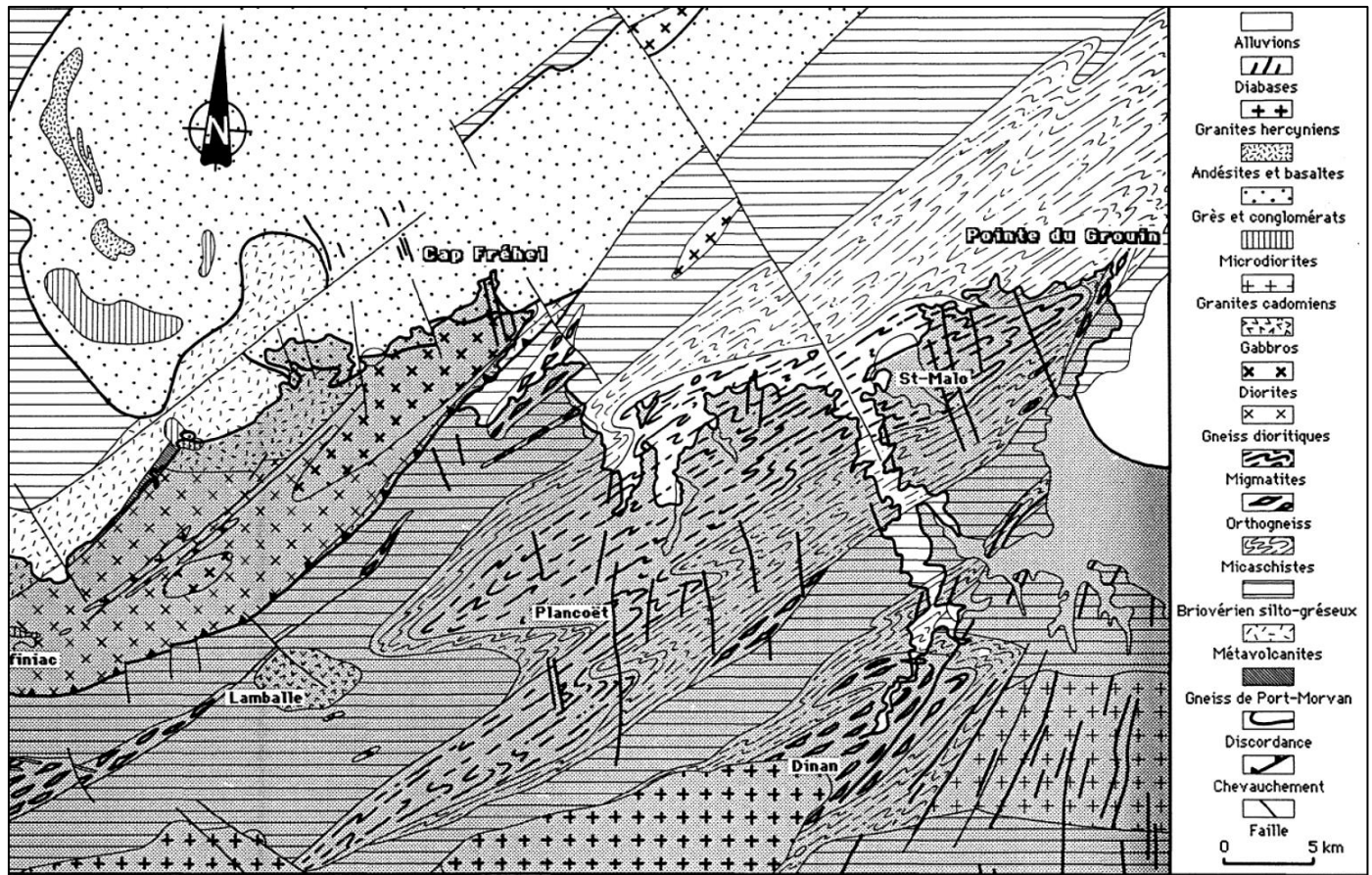


Figure 4: Carte géologique marine et terrestre de Cap Fréhel à la pointe du Grouin (d'après les travaux de (Kerrien 1972 ; Lefort 1975 ; Augris C. et P. 1966)

Dans la partie est de la zone d'étude (Cancale- Saint Malo) le socle ancien est représenté par les migmatites de Saint-Malo fréquemment altérées en une arène granitique. A la suite des transgressions marines, une importante quantité de sédiments fins et d'alluvions s'est déposée sur ce socle métamorphique notamment dans les fonds de vallées.

En bord de mer, des formations d'origines éoliennes sont signalées : dunes anciennement dites flandriennes (Dz) constituées de sables moyens à fins principalement accumulés par le vent, souvent beiges et carbonatés.

- en amont, le fond de la vallée est occupé par des dépôts lacustres (formations saumâtres et lacustres : Lz, holocène).

- De part et d'autre des talwegs prennent place des formations périglaciaires de versant.

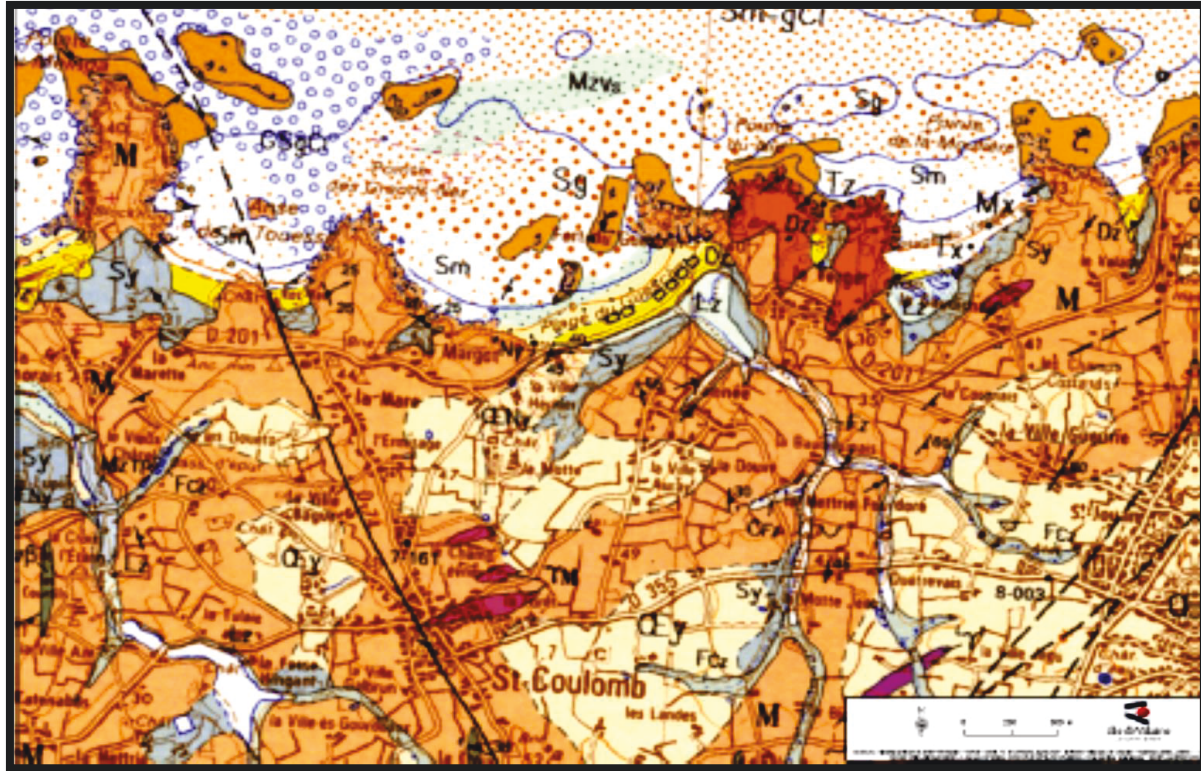


Figure 5: carte géologique de Saint-Malo, échelle 1/50000 (BRGM, 2010)

I.2. L'évolution lors du dernier épisode de refroidissement et la remonté Holocène

L'évolution générale des sites a été étudiée depuis plusieurs années et a donné lieu à de nombreuses publications. De manière schématique les coupes de l'Anse Du Guesclin permettent de poser les principales étapes.

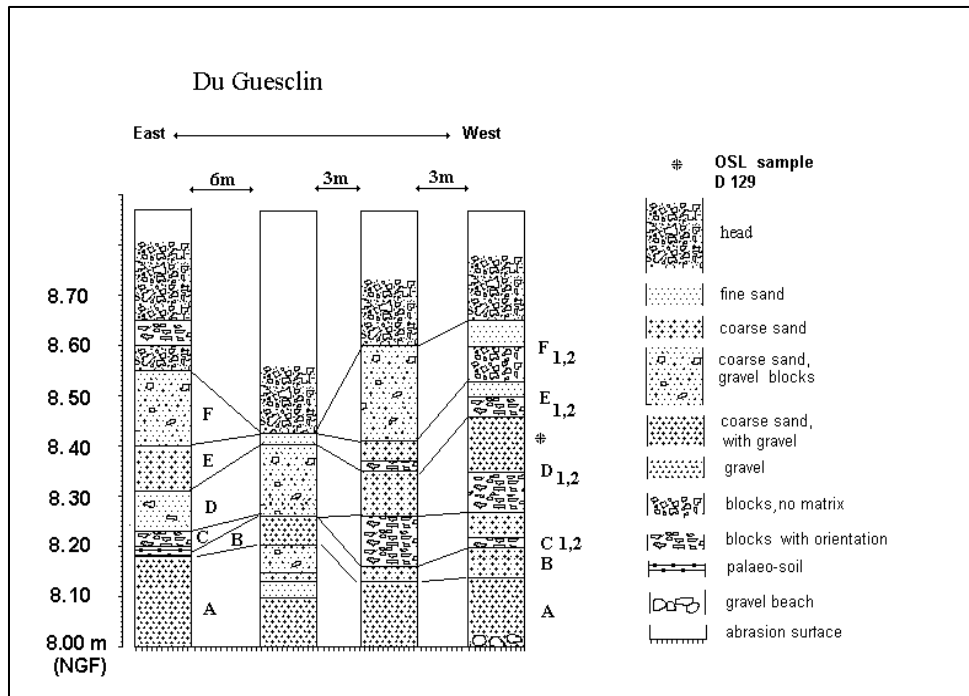


Figure 6: Coupe de l'Anse Du Guesclin (Regnauld, Mauz et al. 2003)

La base est une plateforme d'abrasion taillée et polie dans la roche (migmatites) par le va et vient d'un ancien cordon de galets remués par la mer. C'est l'étape B sur la figure 8. Le niveau marin devait être similaire à l'actuel, voire plus haut. Les alternances (B à E) de sables grossiers, graviers, blocs anguleux disposés à plat, correspondent à une dynamique complexe. Le site était en bordure de mer mais non atteint par les vagues (pas de matériel grossier roulé, mais du sable marin soufflé par le vent vers la terre) ce qui implique un niveau marin plus bas. L'unité de sables fins, moyens avec quelques blocs (F) correspond à une arrière dune parfois encombrée par des dépôts flués depuis le versant. Le niveau marin devait être un peu plus haut que le précédent, mais plus bas que l'actuel. Les dates OSL donnent, dans cette unité 90 Ka et plus. C'est l'étape C sur la figure 8.

La suite de la coupe peut être schématisée comme suit sur la figure 7

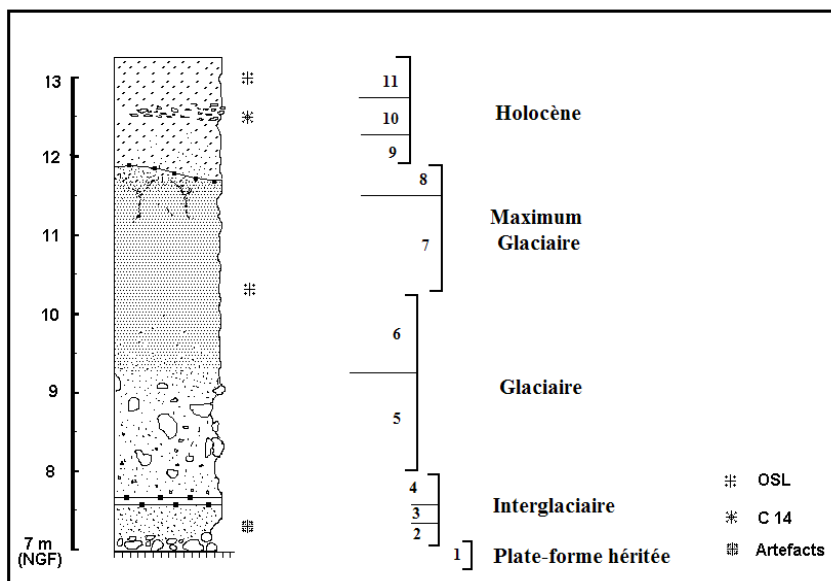


Figure 7 : Coupe levée en 2000, Anse Du Guesclin, aujourd'hui disparue à cause du recul (publiée dans Regnaud et al, 2003).

1 : Plate-forme d'abrasion héritée ; 2 : Galets attribués à l'Eémien ; 3 : Dune datée à 90 ky OSL ; 4 : Paléo sol ; 5 : Head ; 6 : Loess ; 7 : Loess avec cryoturbations ; 8 : Paléo sol ; 9 : Sable dunaire ; 10 : Knokkenmodding néolithiques ; 11 : Dune sub-actuelle. Les points mesurés pour étudier le recul de ce type de falaise sont d'une part le sommet de la dune perchée (sommet de 11), d'autre part le contact entre les galets et la plateforme d'abrasion (entre 1 et 2)

Cette coupe donne une image assez claire de l'ensemble de l'évolution du littoral qui va probablement de l'Eémien à l'actuel. On peut l'interpréter en 3D et tenter de reconstituer, sur des blocs diagrammes, le paysage de l'époque.

A la base, sur une plateforme d'abrasion fossile se trouve une plage de galets puis une dune (étape C sur la figure) et un head indifférencié (étape D sur la figure). Il est surplombé par un loess (étape E), parfois incisé par des ravins locaux (étape F) puis par une dune Holocène (6ky OSL et divers âges ^{14}C entre 6000 et 2000 BP, étape G). Le sommet est un sol historique daté par des artefacts celtiques (Cocaign, Bizien-Jaglin et al. 1996) recouvert par une dune sub-actuelle, dont l'âge de mise en place est inconnu. On y a retrouvé des artefacts datant du Premier Empire. Le cordon dunaire est daté d'environ 4600BP (par un knokkenmodding, dépôt de cuisine néolithique recouvert d'un dépôt de tempête (Regnaud, Cocaign et al. 1995) et le marais qu'elle protège avait commencé à se mettre en place vers 8000 BP (Regnaud, Jennings et al. 1996).

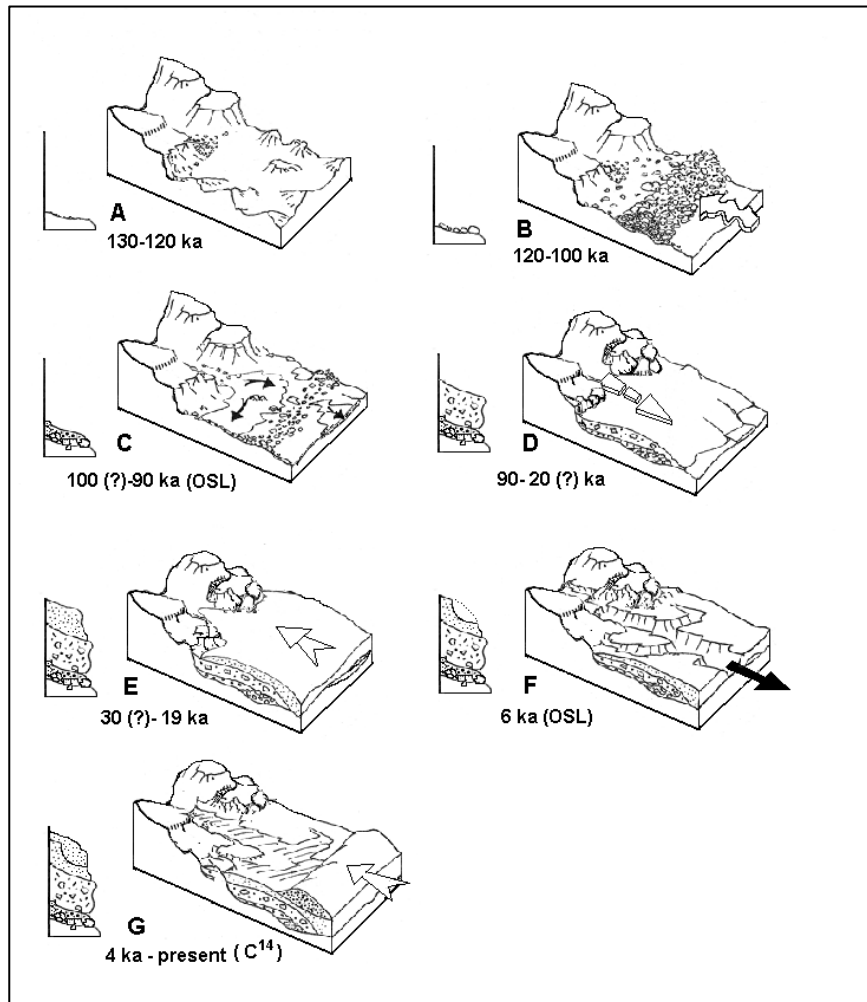


Figure 8 : Evolution du littoral, par projection latérale de l'information donnée en 2D par les coupes.

La plus récente synthèse sur l'évolution de ce littoral (**Costa S. 2013**) permet d'interpréter - schématiquement- comme suit. Les galets à la base sont les restes des plages émiennes lorsque le niveau marin était plus haut que l'actuel (1 à 5 m vers environ 125 ky). Les cryoturbations et les heads sont dus aux étapes de la longue période de refroidissement entre 120 ky et 25 ky. Les loess sont les marqueurs du maximum glaciaire (de 25 à 20 ky). Durant l'Holocène le réchauffement se voit dans les strates qui contiennent de plus en plus de matière organique. Le niveau marin était à environ -4m vers 6000 BP, -2 m vers 4000 BP. Le niveau actuel aurait été atteint vers 1500 BP. Cependant avec un marnage de plusieurs mètres - possiblement variable dans le temps- toutes ces valeurs sont à manier avec précaution.

II. Les contrôles météorologiques et marégraphiques

II. 1. Le régime climatique général.

II.1.1. Température et précipitations

La côte située à l'est du golfe normano-breton est soumise à un climat doux de type océanique qui est particulièrement caractéristique sur le littoral breton. Il est caractérisé par une atténuation des températures extrêmes et une grande instabilité des types de temps. (**Planchon O.1997**)

La température annuelle moyenne est d'environ 11.2°C (Station météo de Dinard). Le cumul annuel des précipitations est de 690 à 732 mm avec un maximum en octobre-novembre-décembre.

1-1 houles

La houle résulte de l'action de la pression au large et lorsqu'elle arrive à la côte elle dépend principalement de la topographie sous-marine de la côte et de sa morphologie. Le littoral nord de la Bretagne compris entre Cancale et le cap Fréhel est un milieu ouvert et exposé, notamment aux houles d'ouest à nord-ouest qui ne sont pas liées aux vents locaux mais à la circulation atmosphérique régionale. Pour la plupart des directions de vents locaux de S-SO, les agitations sont le plus souvent de type mer du vent.

Dans notre site d'étude le fond des baies est relativement protégé. Cela est dû d'une part à la réfraction des houles sur la plate-forme continentale depuis leur entrée en Manche, (elles ont donc perdu une partie de leur énergie) et surtout d'autre part à la diffraction de ces houles autour des pointes, en particulier le cap Fréhel, la pointe de Saint-Cast, la pointe du Décollé, l'île Besnard et la pointe du Meinga. Après avoir été diffractées par ces pointes à l'approche de la côte, les caractéristiques des houles se modifient. La cambrure s'amplifie. Le plus important est que les houles incidentes au rivage peuvent avoir localement une direction N vers NE.

Les vagues + houles (ce que Météo France appelle « mer totale ») les plus morphogènes abordent donc ces plages avec un angle important, ce qui renforce leur capacité de transport sédimentaire longitudinal. Ces transits sont ainsi responsables d'une redistribution des sédiments le long des cordons littoraux des baies provoquant parfois une érosion du cordon à l'est et un engraissement au centre de la baie (par exemple au Verger comme on le verra dans les chapitres suivants).

II.1.2. Caractérisation du régime des houles

Plusieurs types de données sont disponibles. En 1984 les des données provenaient du LCHF (Laboratoire Central d'Hydraulique de France Spagnuolo 1984). Au Cap Fréhel par exemple les houles dominantes sont de secteur ouest. A Saint Malo les roses des agitations (LCHF, 1984) soulignent la prédominance des houles de secteur O et NO et les amplitudes maximales supérieures à 4 m. Cependant le travail de (**Allen 1982**) qui étudie la période et l'amplitude

moyenne de ces houles fournit une hauteur maximale la plus fréquente de 0,80 m avec une période de 10 à 12 secondes, aussi bien pour les houles d' O que de N-O.

Pour la période actuelle la base de données CANDHIS propose une analyse des enregistrements effectués par des bouées situées au large des côtes, (mesure directionnelle et états de mer). La profondeur et la distance à la côte est suffisante pour que le point de mesure ne soit pas affecté par des effets locaux (effet de marée, diffraction). Malheureusement la bouée de Saint Malo n'est pas directionnelle.

Les mesures été enregistrées pour la station : **03501** - Saint Malo

Période de mesure : du 09/08/1993 au 23/09/1995

Durée effective : 1.22 ans

Latitude : 48°42,000'N

Longitude : 02°01,000'W

Distance à la cote : 2.6 km

Marnage VEM : 10.55 m

Matériel :

Type : Bouée

Réf : Datawell Non Directionnelle

Les paramètres (**H1/3**, Hmax, TH1/3, THmax) sont calculés par le logiciel **VagueDir** du **CETMEF**. Les paramètres direction au pic, étalement au pic et la température de l'eau sont extraits de la centrale d'acquisition du houlographe.

(H1/3):Hauteur significative, valeur moyenne du tiers supérieur des hauteurs des vagues observées sur une durée de 30 minutes.

(Hmax):Hauteur de la plus grande vague observée sur une période de 30 minutes

(TH1/3): Période significative, définie par la valeur moyenne des périodes du tiers supérieur des plus grandes vagues observées sur une durée de 30 minutes.

(THmax) : Période de la vague de la plus grande hauteur observée sur une durée de 30 minutes.

Analyse statistique $H_{1/3}$			
	$H_{1/3}$ (m)	$T_{H1/3}$ (s)	
Max	3.9	8.5	
≥ Q99%	≥ 2.7	de 6.4	à 9.3
≥ Q95%	≥ 1.9	de 5.5	à 11.9
≥ Q75%	≥ 1.1	de 4.2	à 13.8
≥ Q50%	≥ 0.8	de 3.5	à 15.5
≥ Q10%	≥ 0.3	de 2.5	à 15.5
≥ Q1%	≥ 0.2	de 2.5	à 15.5

Analyse statistique H_{max}			
	H_{max} (m)	T_{Hmax} (s)	
Max	6.9	8.0	
≥ Q99%	≥ 4.3	de 5.7	à 11.1
≥ Q95%	≥ 3.0	de 4.5	à 15.2
≥ Q75%	≥ 1.9	de 3.5	à 18.7
≥ Q50%	≥ 1.2	de 2.5	à 26.4
≥ Q10%	≥ 0.4	de 1.8	à 26.4
≥ Q1%	≥ 0.3	de 1.7	à 26.4

Les houles les plus fréquentes sont caractérisées par des hauteurs significatives comprises entre 1m et 2.7m, pour des périodes comprises entre 4s et 9s.

Les houles les plus fortes et les plus fréquentes sont caractérisées par une hauteur significative égale à 3m et 4.3m et une période moyenne égale à 8s

Par contre les houles les moins fréquentes, inférieures ou égales à 10‰ du total des enregistrements, sont caractérisées par des hauteurs significatives comprises entre 0.2-0.3m

Les données de houle issues de la base de données de **Wisuki** permettent de compléter cette description générale des houles en proposant une information complémentaire concernant l'orientation des houles pour la même station Saint Malo pour l'année 2012. Selon cette base de données, la direction moyenne des houles (pour tous les niveaux) les plus fréquentes sont orientées O-NO (A). Cependant les houles maximales +3m viennent toujours de la même direction.

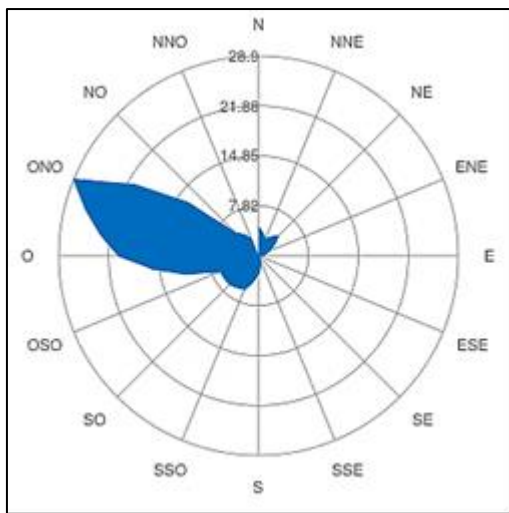


Figure 9 : direction de houle moyenne en 2012

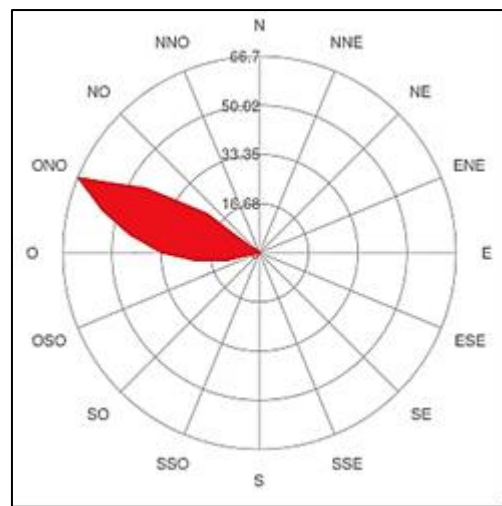


Figure 10 : direction de houle maxi +3m en 2012

Localisation : Saint Malo

A partir de la base de données PREVIMER pour la période de 1 Janvier au 31 Décembre 2012 les résultats obtenus sont très voisins. Les houles les plus fréquentes sont orientées O-NO avec une fréquence de 75 %. Les houles de NNE représentent 19% des observations.

On constate un renforcement des conditions d'agitation marine durant la période hivernale (entre les mois de décembre et de février) à travers une fréquence accrue des fortes houles, d'une hauteur significative supérieure à 3 m. En hiver les houles les plus fréquentes avec une amplitude de 2m à 3m proviennent principalement d'ONO et plus rarement des flux de SO.

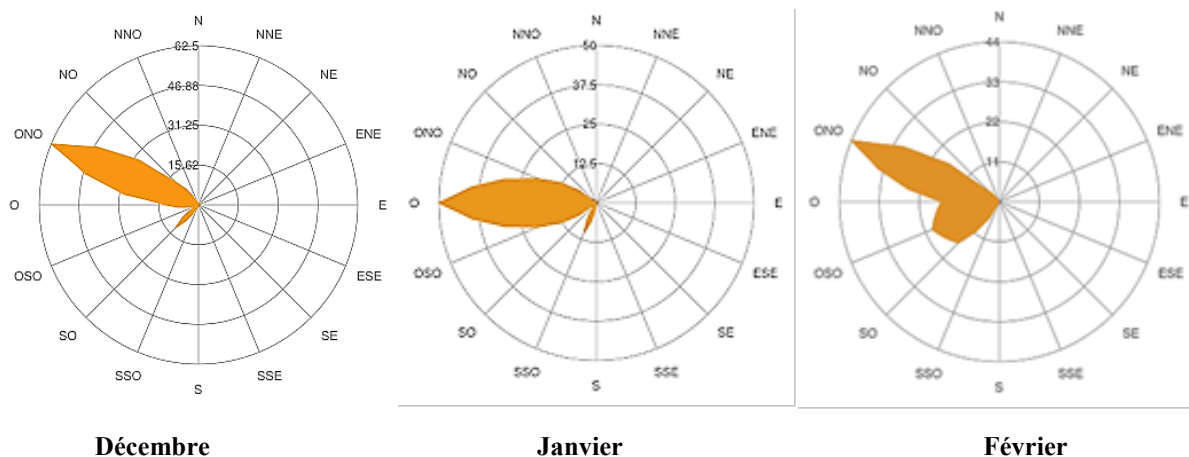


Figure 11 : Rose de direction des houles Saint Malo 2012 (hiver)

Source : Wisuki statistiques 2012 / Saint Malo / Bretagne

La période estivale (entre les mois de juin et août) se caractérise, en revanche, par un affaiblissement important des conditions hydrodynamiques. Les vagues de hauteur inférieure à 1 m sont les plus fréquentes (80% des cas) et ne présentent généralement qu'un faible pouvoir morphogène sur le littoral. Elles viennent de l'O- ONO.

En Automne la direction O est dominante avec 25 % des amplitudes entre 1 et 2 m, 70% en dessous de 1m. Les directions E-NE sont rares.

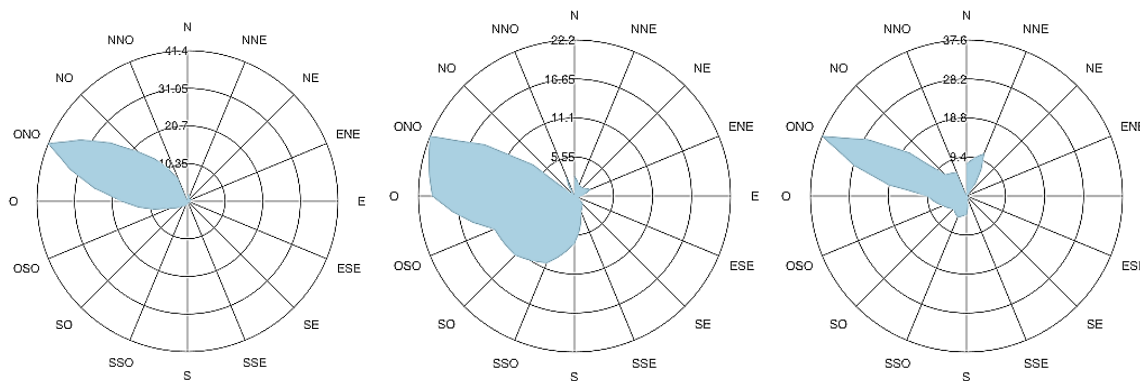


Figure 12 : Rose de direction des houles Saint Malo 2012(automne)

Source : Wisuki statistiques 2012 / Saint Malo / Bretagne

L'orientation de la côte par rapport aux houles et ses conséquences sur le transport sédimentaire

La partie ouest de la côte au niveau de l'Anse des Sévignés, entre le Cap Fréhel et la pointe de La Latte, ainsi que la plage de Saint-Cast et celle de Pen Guen (entre la pointe de La Garde et la pointe du Haye) sont orientées au nord-est, et protégées des houles dominantes de NO par le cap Fréhel, et par la pointe de Saint-Cast. Il faut ajouter le rôle important des îlots et écueils de l'archipel des Hébihens et le Banc de l'Etendrée dans la protection de cette partie du littoral face aux agitations de N-E

La baie de la Fresnaye, aux rives parallèles, est aussi orientée au N-E. Elle est abritée des houles de NO par le cap Fréhel et la pointe de La Latte. Le fond de la baie est très abrité des agents dynamiques marins. Il est en voie de colmatage (sans doute aussi à cause des effets des bouchots) et l'érosion marine est minime.

La Baie de Lancieux, orientée au nord et séparée de l'estuaire de l'Arguenon par la presqu'île de Saint-Jacut est protégée par l'archipel des Hébihens qui amortissent les houles de NO et par l'île Agot et la pointe de La Haye qui atténuent les houles de nord-est (le moins fréquentes). Seule l'agitation de nord peut pénétrer directement au fond de cette baie.

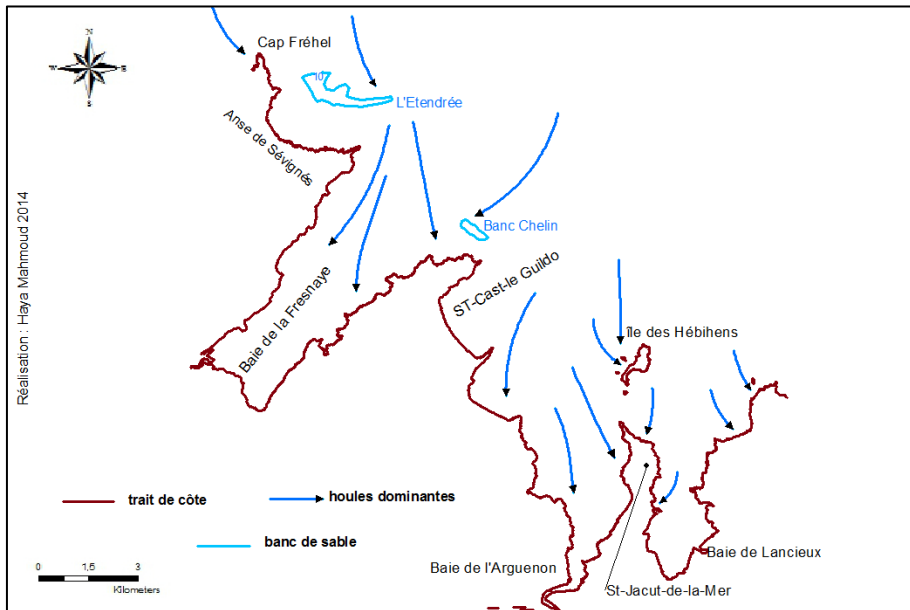


Figure 13 : carte de l'orientation de la côte par rapport aux houles dominantes (secteur 3)

La notion de houles dominantes indique l'orthogonale de la direction la plus fréquentes par circulation dépressionnaire à l'ouest (anticyclones exclus). A partir des données Prévimer 2012-2015 pour chaque site.

La plage de Longchamp dans le secteur 2 est totalement protégée des houles de nord-est par la pointe du Décollé, tandis que la pointe de la Garde Guérin offre une protection aux houles de nord-ouest pour la plage de Longchamp et des houles de nord-est pour la plage de Port Hue qui est aussi abritée par l'île de Dame Jouanne.

La côte entre la pointe de La Roche Pelée et la pointe de La Malouine dans le secteur 2 est aussi protégée des agitations marines par la présence de deux pointes rocheuses et par la présence en tant qu'obstacle du banc des Pourceaux qui freine la pénétration des houles dans ce secteur.

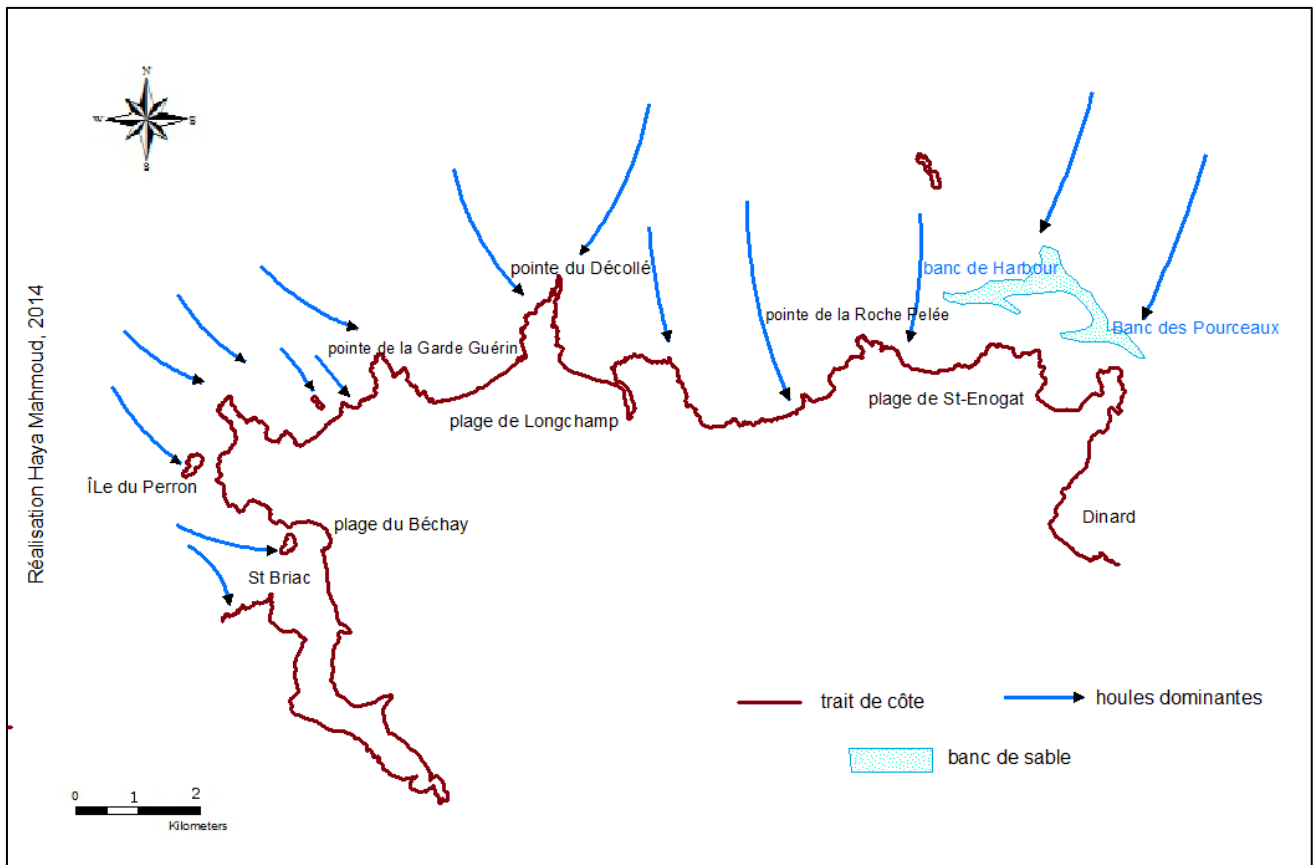


Figure 14 : Carte de l'orientation de la côte par rapport aux houles dominantes secteur 2.

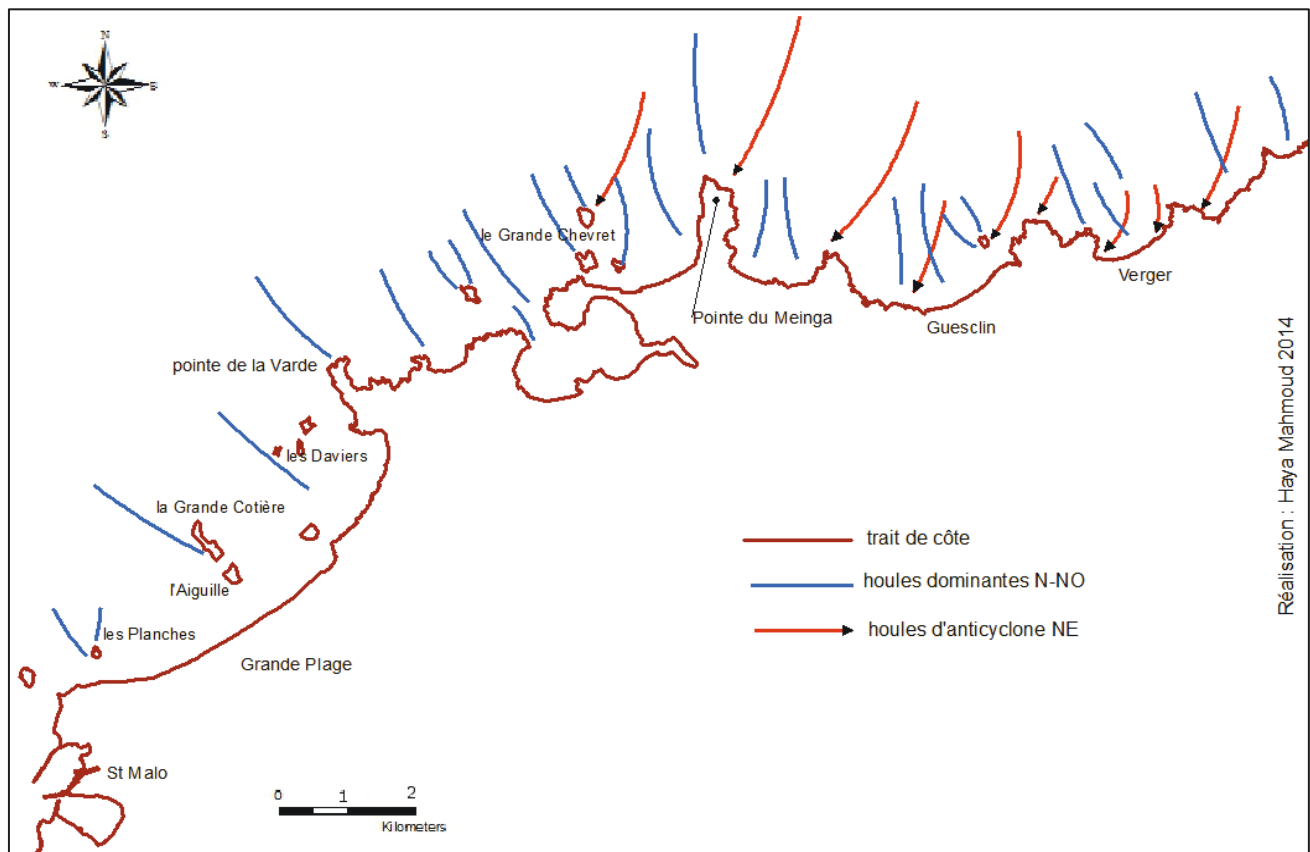
La grande plage positionnée à l'Est de Saint Malo est relativement protégée des houles dominantes de nord-ouest par la présence de nombreux écueils et îlots rocheux de l'avant-côte comme les Daviers, banc Roc aux Dogues, les planches et l'Aiguille. Il est soumis à une dérive littorale générale vers l'est.

Le havre de Rothéneuf à l'Est de Saint-Malo et la plage de Chevret sont protégées des houles de NE par la pointe du Meinga et des houles O- NO par la présence de nombreux écueils comme le Bénétin le Grand Chevret et le Petit Chevret et l'île Besnard. La dérive littorale dans cette partie est vers l'Est.



Figure 15 : photo, effet de l'orientation de la cote et micro falaise dans le sable au Verger. Mars 2015

Sur cette photo on voit une plage engraisée par des houles moyennes venues de l'Ouest, puis une micro falaise taillée dans ce même profil les jours suivants (Mars 2015) lors d'un épisode de houles de Nord.



Réalisation : Haya Mahmoud 2014

Figure 16 : Carte de l'orientation de la côte par rapport aux houles dominantes secteur1.

II.1.3. Vents et vagues

Sur cette côte le vent joue un rôle majeur non seulement sur l'hydrodynamique en forçant les courants marins, mais aussi sur la propagation des vagues locales. Le vent peut provoquer, des courants résiduels non négligeables, tant parallèles que perpendiculaires au littoral. Il faut ajouter aussi les transports éoliens de sables qui peuvent atteindre des masses importantes.

Les données des bases statistiques de Wisuki (Météo France) pour la région de Saint Malo (statistiques basées sur les données recueillies depuis 01 Janvier 2012) ont été utilisées

Deux directions de vents moyens principaux caractérisent les conditions météorologiques de la côte. La première direction dominante se situe dans une fourchette du SSO à SO.

Une deuxième composante correspond à des vents provenant du secteur N à NE. Bien que plus rares, les vents de ce secteur sont généralement variables en intensité et provoquent des conditions d'agitation sur la côte non négligeables.

Cependant les vents forts (supérieurs à 6 Beaufort soit supérieurs à 27 km) viennent du secteur S à SSO

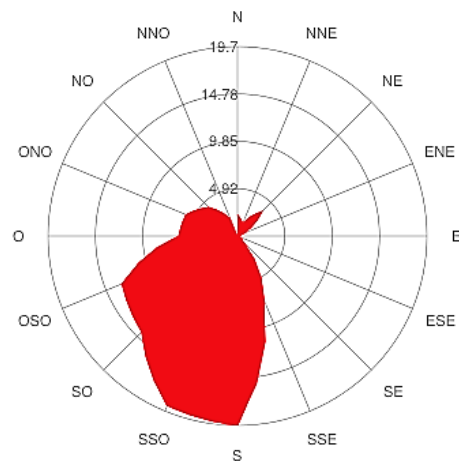
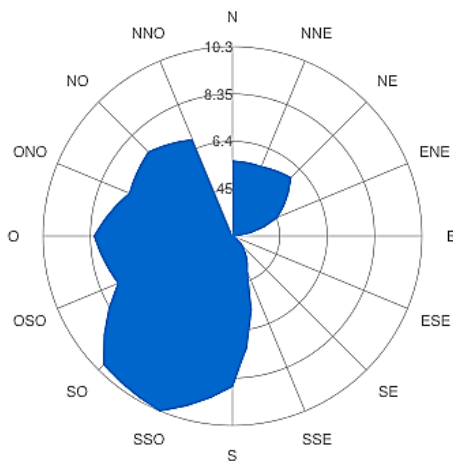


Figure 17 : direction annuelle du vent toutes intensités confondues

Figure 18 : direction annuelle du vent maxi +6bft

Localisation : Saint Malo

La répartition saisonnière des vents est telle que la fréquence des vents forts est distribuée au cours de l'année selon l'ordre suivant : hiver, automne, printemps, été. Les coups de vent (vitesse supérieure à 6 B) ont lieu principalement en hiver et en automne avec une direction dominante S à SSO, tandis que ceux correspond à des vents provenant du secteur N à NE sont moins fréquents et moins forts en hiver et plus fréquents au printemps (Mars, Avril, Mai).

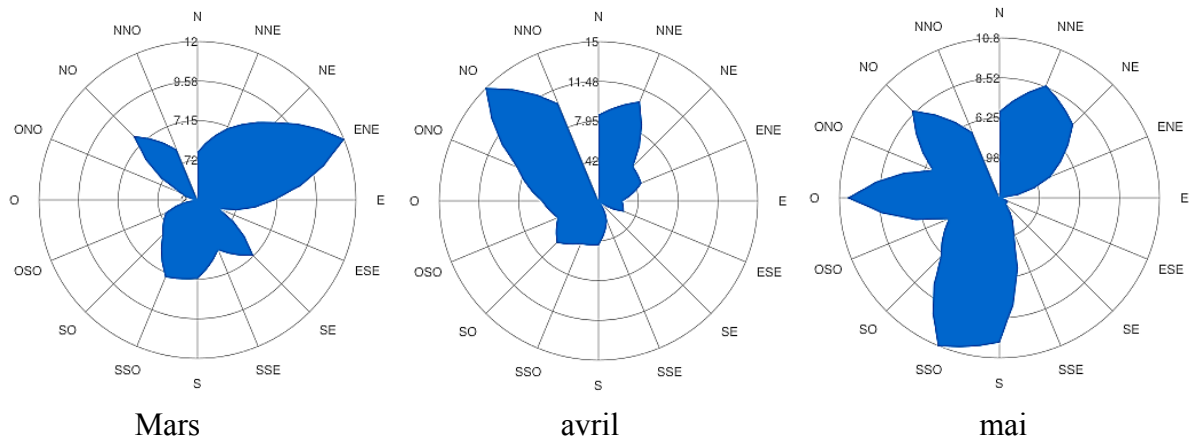


Figure 19 : rose de vent (toutes vitesses confondues) saisonnière (en printemps) données statistiques de Wisuki 2012

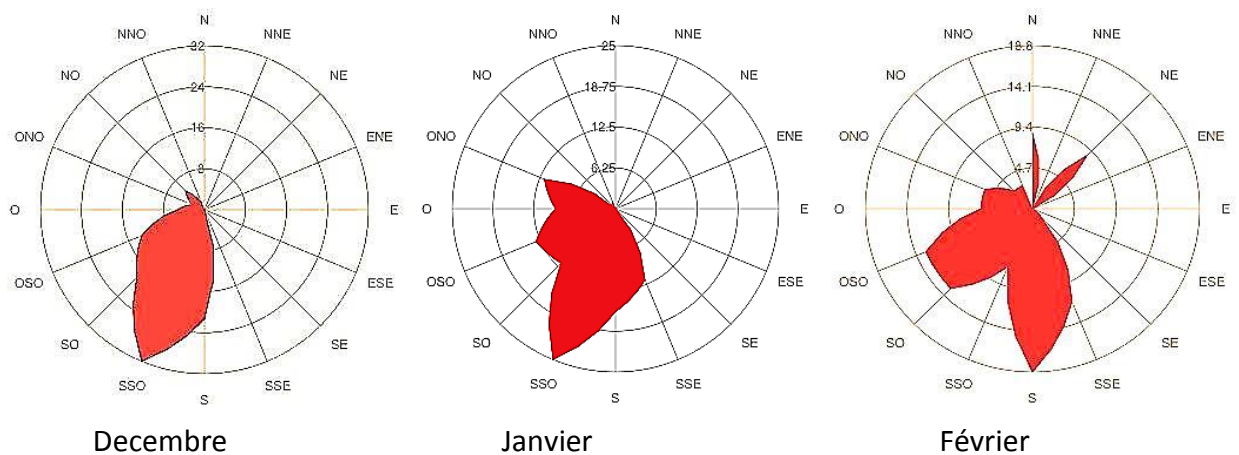


Figure 20 : direction du vent maxi +6 B en Hiver données statistiques de Wisuki 2012

II.1.2. marées et courants

La marée est une ondulation de la surface de l’océan avec une période semi-diurne s’effectuant sur un cycle de 12 heures en moyenne (**Saum 1977**). Le marnage (l’amplitude) est compris entre 4 et 13m. Contrairement aux houles l’action de la marée n’apporte pas une énergie capable de modifier profondément la morphologie de la plage mais elle produit un courant.

Le courant de flot, correspond au courant de marée montante peut apporter des sédiments marins fins (type vase) et le courant de jusant, de marée descendante, génère un transport des matériaux continentaux vers le large.

Ces courants atteignent en mer 7 à 8 km/h en vives eaux (pleine et nouvelle lune) et de 2 à 3 km/h en mortes eaux, les plus grandes marées de vive-eau atteignant un maximum de 14 m dans la baie du Mont-Saint-Michel et atteignant 13,60 m à Saint-Malo

Entre le cap Fréhel et Saint-Malo il est rare toutefois que les courants de marée atteignent une vitesse suffisante pour mobiliser les sédiments grossiers sur l'estran. Les courants ont des vitesses faibles, de l'ordre de quelques cm/s, (**Garreau 1993**) . Dans ce secteur le profil de la côte comme la topographie influent de façon importante sur les courants par exemple dans le secteur 3 il existe un gradient de courant depuis le large vers le fond des baies (de plus de 1 m/s au large à moins de 10 cm/s en baie de Fresnaye).

Ainsi les pointes de la Latte et de St-Cast-le-Guildo sont propices à la formation de courants intenses avec un maximum au nord immédiat du cap Fréhel de 2 m/s . En général on peut dire que les changements rapides de la bathymétrie dans les secteurs de hauts fonds engendrent des disparités de directions (**Garreau 1993**)b. L'ampleur de la marée est mesurée par un coefficient, qui s'établit entre 20 et 120. Les coefficients supérieurs à 110 sont rares, moins de 2% selon le Service hydrologique et océanique de la Marine, le 21 mars 2015, le coefficient était 119. En 2014, le coefficient le plus haut fut de 115.

III. les principaux types géomorphologiques de côtes

L'analyse morphologique est un élément essentiel, elle permet de décrire les caractéristiques communes des littoraux afin d'analyser leur comportement géomorphologique sur les courts et moyens termes.

Les caractères morphologiques au sein de la zone d'étude individualisent à l'échelle locale une grande diversité de matériaux et de formes littorales. En général la côte est représentée par une alternance de pointes rocheuses encadrant des systèmes dunaires plus ou moins dégradés. Chacun d'entre eux, situés à la base de ces escarpements rocheux, constituent l'exutoire de micro-bassins versants ou de systèmes plus importants tels que l'Arguenon ou la Baie de la Fresnaye localisant d'assez vastes vasières. Enfin la Rance est une vaste ria artificialisée. La morphologie côtière est donc très variée constitue une véritable richesse paysagère, entre estrans sableux et rocheux, zones exposées et abritées, forts ou faibles régimes hydrauliques, grands complexes rocheux et grande baies, alimentés par des petits fleuves sans oublier les archipels et quelques grands plateaux d'écueils rocheux affleurants (de l'île Agot aux Tintiaux en passant par Cézembre).

A partir de cette description rapide il est possible de classer les différentes formes littorales jalonnant la côte entre Cancale et Cap Fréhel en quatre grands types de systèmes côtiers, repris dans la légende de la figure suivante. Les cotes artificielles seront vues dans la partie 4 de ce chapitre.

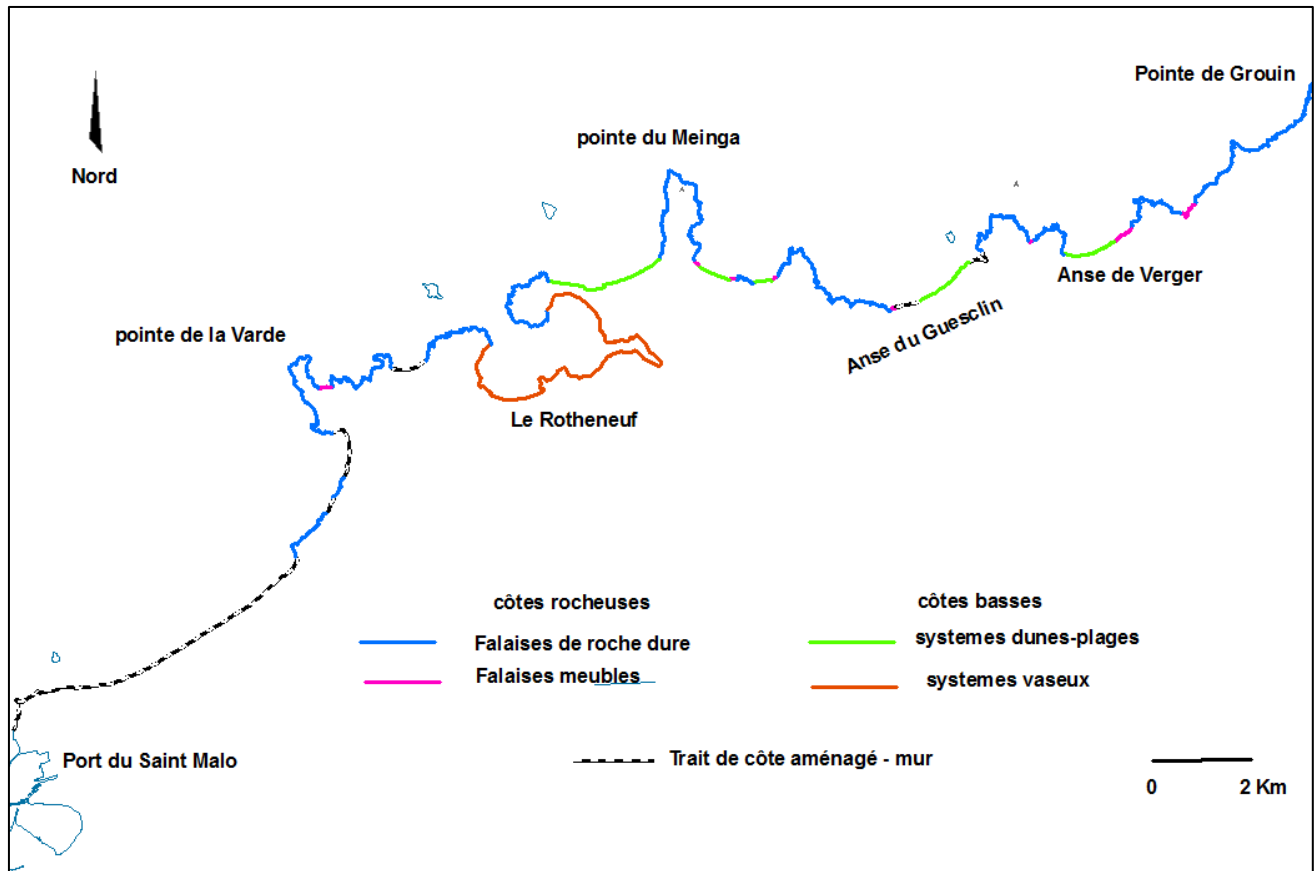


Figure 21 : Carte des types de côtes, secteur1 pointe de Grouin- St Malo

III.1. Les côtes à falaises rocheuses

Avec 60% du linéaire côtier de notre zone d'étude elles sont modelées soit dans des formations meubles périglaciaires soit dans des roches dures.

III.1.1. Les falaises taillées dans les formations dures

Ces falaises couvrent au total 57% du terrain étudié, elles sont taillées dans des roches dures métamorphiques ou sédimentaires dont le versant est généralement abrupt, donnant des formes proches de la verticale, rarement couverte de sol et de végétation. La base des falaises peut être localement attaquée à marée haute par les vagues, leur versant recule en général sur le long terme de façon parallèle à lui-même laissant devant lui une plate-forme rocheuse inclinée vers la mer, le platier, qui est souvent large de plus de 10 m (par exemple devant l'Anse de la Saussaye, ou celle du Petit Port). Les roches encaissantes (grès de Fréhel, diorites de La Latte, micaschistes, gneiss ou migmatites de la série métamorphique du massif de Saint-Malo) sont très résistantes, le ruissèlement peu efficace à cause de leur extrême dureté.

Ces formations rocheuses constituent les secteurs les plus élevés du littoral étudié, elles atteignent souvent 20m et n'excèdent pas 70 m (Cap Fréhel taillée dans le grès)

Par contre les falaises taillées dans les gneiss, moins résistants, dont l'altitude est toujours inférieure à celle des falaises gréseuses (10-30 m), occupent la majeure partie du secteur 3. Elles encadrent la baie de Lancieux, limitent la presqu'île de Saint- Jacut et se poursuivent sur la rive occidentale de l'estuaire de l'Arguenon jusqu'à la plage des Quatre-Vaux.

III.1.2. Les falaises taillées dans les formations meubles

Ces falaises couvrent au total 3% du terrain étudié. Ces falaises (hauteur < 10m) sont taillées dans les formations périglaciaires qui ont nappé de grandes surfaces du socle ancien particulièrement sur l'ensemble de la côte Nord de la Bretagne (**Monnier 1973**). Elles contiennent en coupe des informations sur les paléo-climats et les paléo-dynamiques (section 1-2).

Elles sont perméables et l'eau s'y écoule lentement, alourdissant le sédiment tout en le rendant glissant (**Pinot 1998b**) Ces falaises ne sont pas résistantes à l'attaque de la mer et subissent également une érosion continentale liée aux infiltrations d'eau dans le sol. Ces falaises meubles évoluent assez rapidement car leur vitesse de recul est estimée en moyenne à 0,2 m/an depuis deux siècles. Il faut ajouter les facteurs anthropiques qui jouent un rôle déterminant sur la stabilité de ces formations et qui, depuis 30 ans, ont accéléré le recul de ces versants.

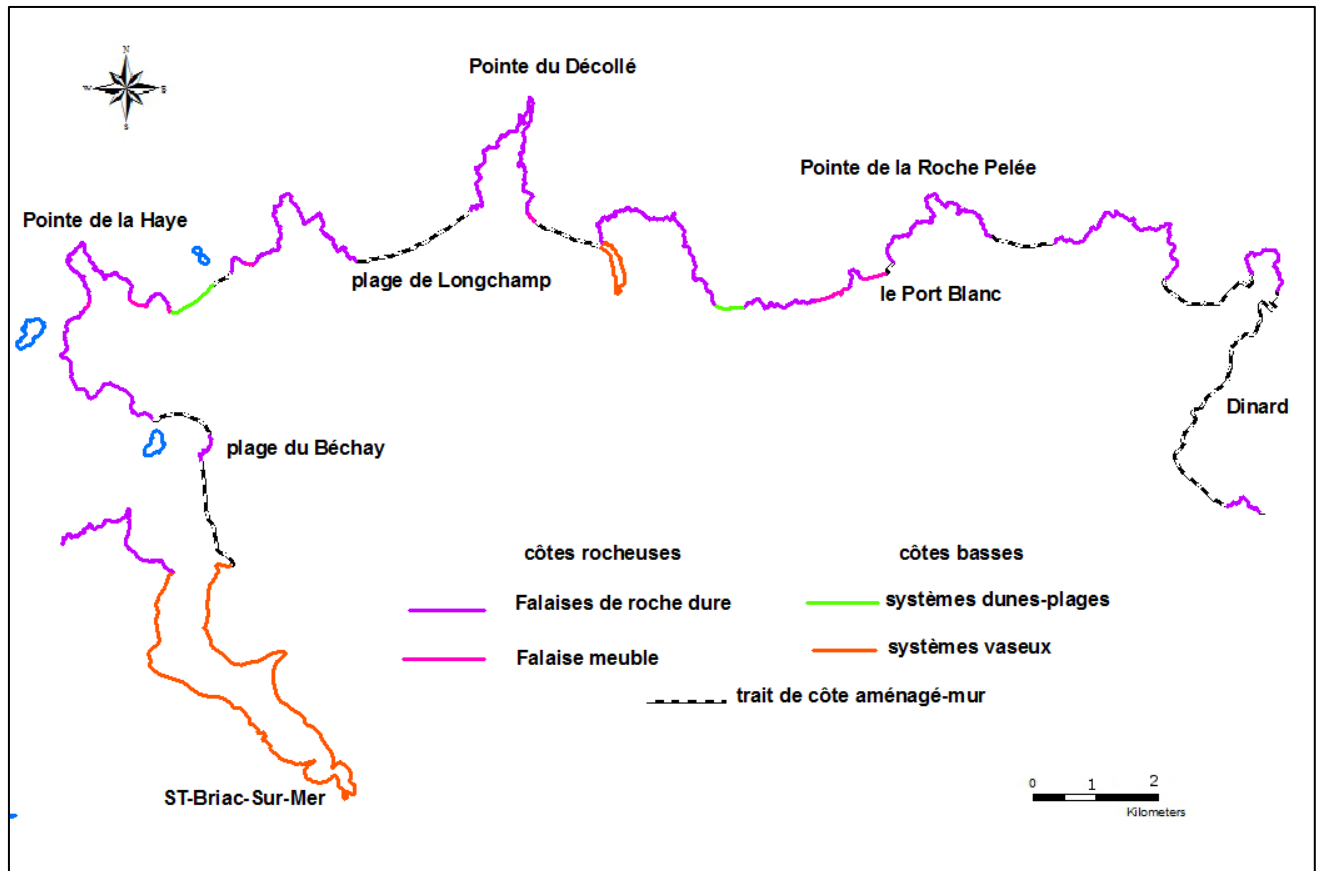


Figure 22 : Carte des types de côtes secteur 2 Dinard- Saint Briac sur Mer.

III.2. cotes sableuses

Les côtes basses, constituées de matériaux majoritairement sableux, représentent environ 6 % du linéaire étudié. Les massifs dunaires bretons se sont installés après la fin dernière glaciation, durant la période de l'holocène (**Meur-Férec 1993**) lors d'une phase de transgression. Ce sont donc des littoraux plus jeunes que les précédents.

Sur les communes littorales du département 35 les côtes sableuses sont organisées en cordons sableux ou en systèmes dunes-plages abritant un marais ou une baie inégalement développés en surface (Verger, Anse de Guesclin, dunes des Chevret ...).

Dans le département des Côtes d'Armor, les plages adossées se présentent sous deux formes.

Les grandes plages sont presque tout bordées par un ouvrage de protection (mur) sur le haut de plage comme la plage de Saint Cast le Guildo, et la plage de Banche (Saint Jacut).

Les petites plages situées entre les stations balnéaires ne sont pas aménagées en général (petites criques de l'Arguenon et Lancieux).

De façon générale sur tout le secteur d'étude les contacts plage-dune sont les témoins des variations sédimentaires de la plage liées à des cycles annuels d'agitation de la mer. En général pendant les périodes estivales de sédimentation l'avant dune se développe en haut de plage et est accompagnée de petites banquettes et il en résulte une avancée ponctuelle dans l'espace et dans le temps du trait de côte. Au contraire en période hivernale de manque de sédiment où le bilan sédimentaire est négatif (houles et vagues plus érosives) l'avant dune est absente ou en cours de destruction.

Il faut noter la présence de nombreux aménagements sur la majorité des dunes dans la zone d'étude. Cependant sur certaines plages, la morphologie du versant externe des dunes bordières témoigne d'une érosion du front dunaire, entaillé par des brèches d'origine parfois éolienne ou le plus souvent anthropique (Plage du Verger dans certains secteurs, Briantais, Anse de Guesclin). La couverture végétale est piétinée et les barrières de ganivelles parfois endommagées.

III.3. Vasières

Les côtes d'accumulation de sédiments marins fins (et terrestre provenant de l'érosion des sols sur les bassins versants) ont plutôt tendance à s'engraisser et représentent environ 23% du linéaire côtier du secteur étudié. Elles se développent le plus souvent dans les espaces littoraux abrités des houles du large par des îles, des bancs ou des promontoires rocheux. Les marais maritimes les plus importants sont la baie de la Fresnaye, l'estuaire de l'Arguenon et la baie de Lancieux qui sont situées dans l'ouest du Golfe de Saint-Malo. La vase est relativement stable une fois déposée et cette stabilité permet sa colonisation par la végétation. La présence ou l'absence de la végétation installée sur les vases permet de distinguer dans les accumulations vaseuses deux variétés : la vasière nue, ou *slikke*, et le pré salé, ou *schorre* qui occupe les régions les moins submergées. Il faut noter que parfois la transition entre la *slikke* et la surface couverte par le *schorre* est marquée par un talus d'une hauteur souvent inférieure à 50 cm, taillé dans le *schorre* en constituant une micro falaise.

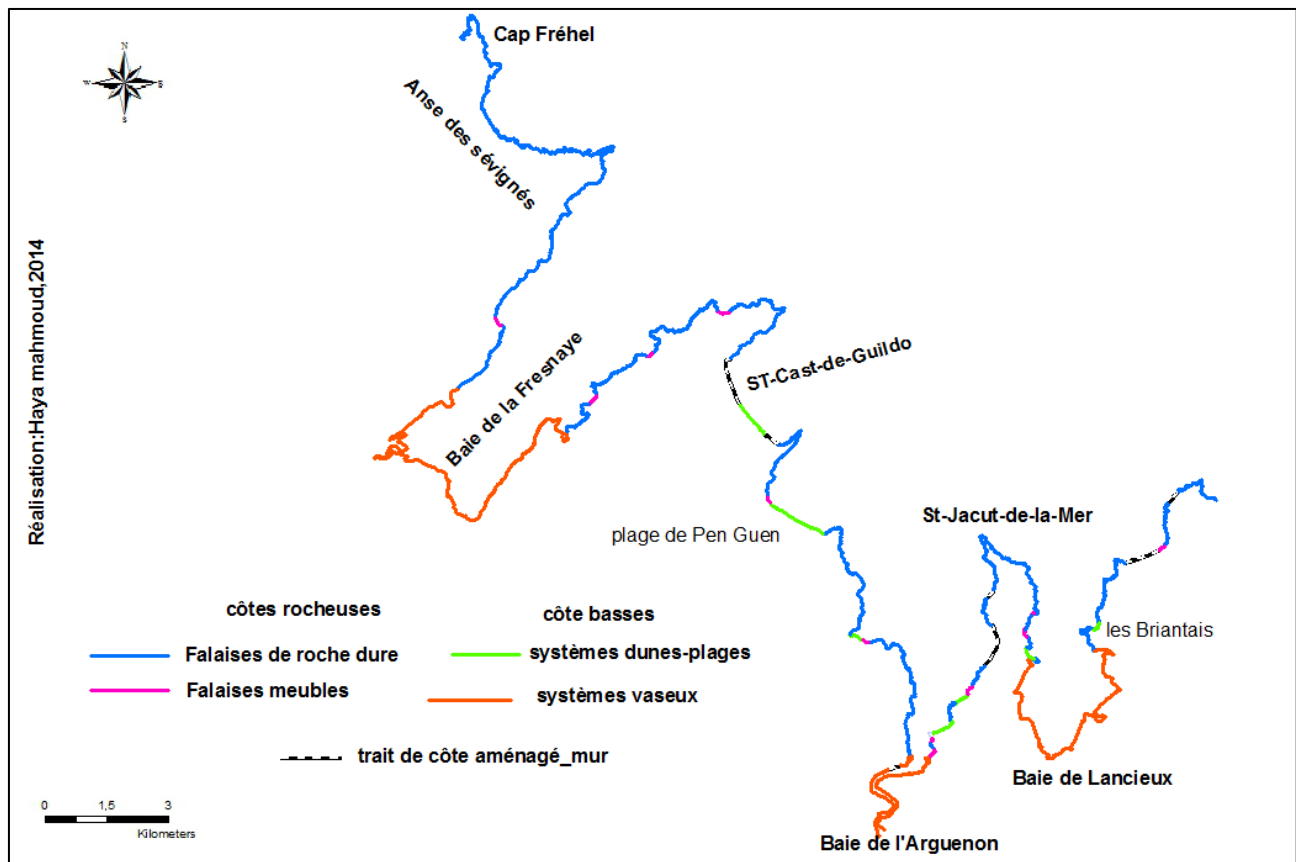


Figure 23 : Carte des types de côtes secteur3 Lancieux - Cap Fréhel.

IV. L'urbanisation et l'artificialisation du littoral

Le littoral français est marqué par une forte densité humaine et la Bretagne ne fait pas d'exception : la moitié de la population bretonne vit dans des communes littorales. Mise à part Rennes, toutes les grandes villes sont en bord de mer, d'estuaires ou de rias.

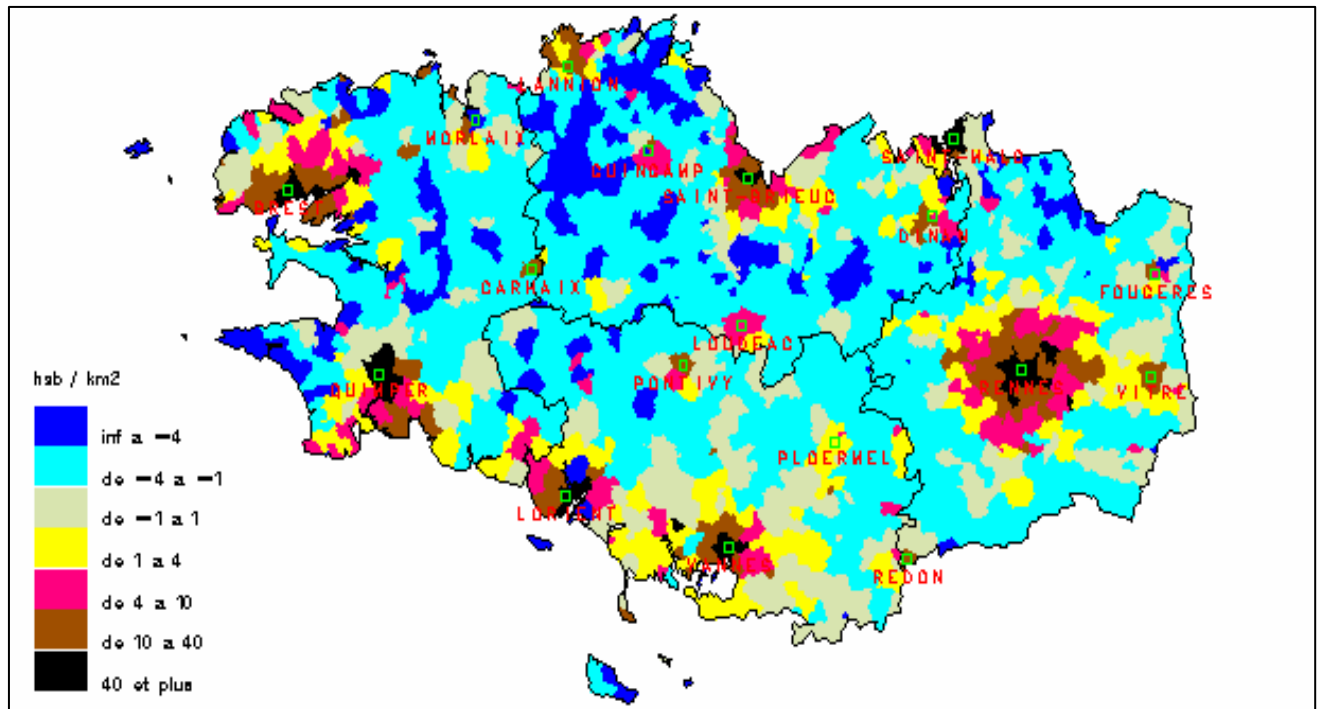


Figure 24 : Variation de la densité de population entre 1901 et 1999

Source : IGN – INSEE Bretagne (Document extrait du CD ROM : « Un siècle de démographie en Bretagne » - INSEE, 2000

Entre 1999 et 2006, la population a crû de +2% sur la Côte d'Émeraude (Cancale- Cap Fréhel) et son arrière-pays (contre +7% en Bretagne), passant de 93 404 à 95 823 habitants. Cependant on constate un solde naturel négatif pour la première fois depuis 1968 (-851 entre 1999 et 2007). Cet accroissement de la population littorale s'explique donc principalement par un solde migratoire positif. Le solde naturel n'a eu que peu d'impact sur cette évolution de la population, cela confirme l'attractivité du littoral breton.

La pression urbanistique est accentuée par les concentrations touristiques estivales qui entraînent un doublement de la population littorale. Une grande partie de la capacité d'accueil des campings et du parc hôtelier se situe sur le littoral comme le montrent les cartes suivantes. On peut noter le grand nombre d'emplacements par canton : vers 1000 dans la partie Est de zone d'étude (Cancale et Saint Lunaire) et plus de 2000 dans la partie ouest Saint Cast -Cap Fréhel.

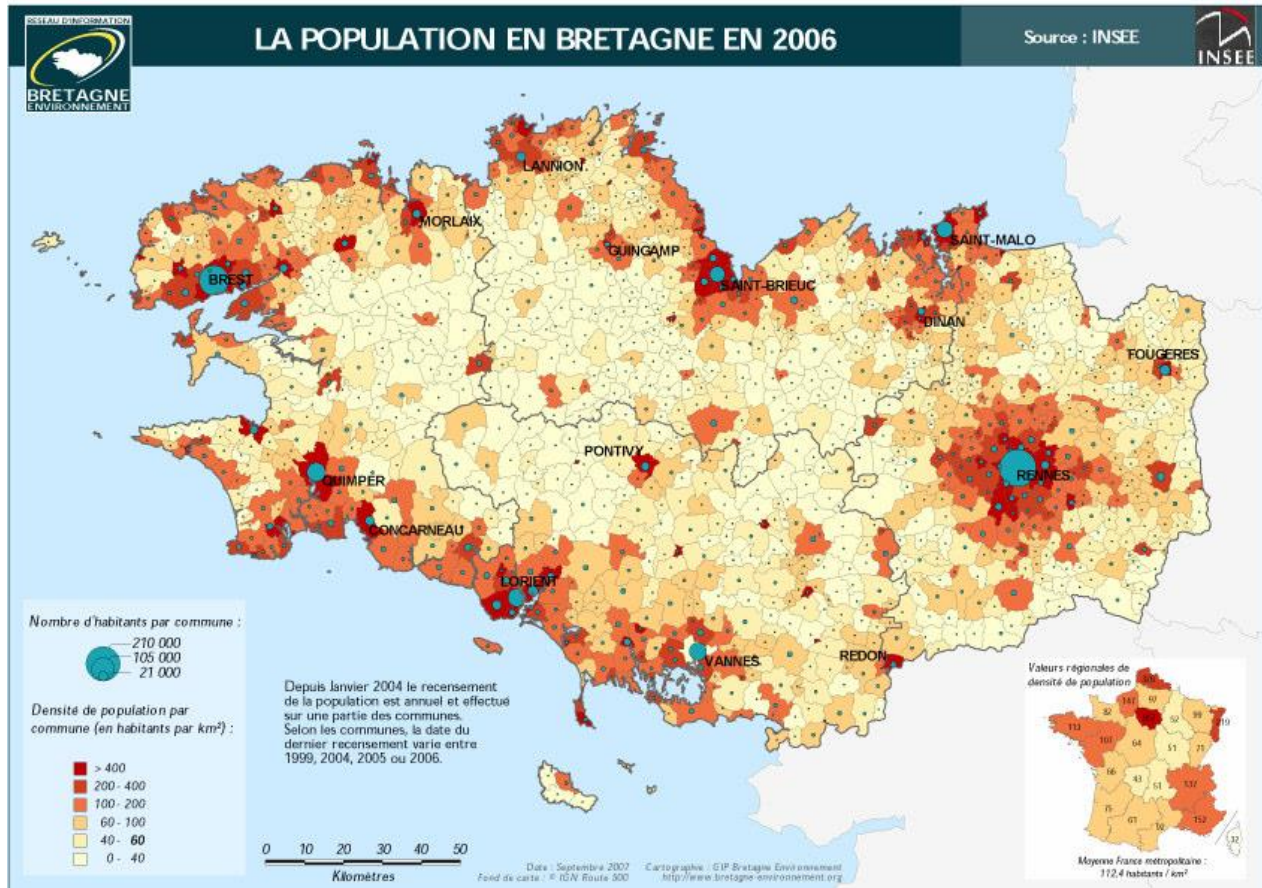


Figure 25 : Densité de population en Bretagne par commune, en 2006 in <http://www.bretagne-environnement.org>

En 2006, certains espaces de la Côte d'Émeraude caractérisés par leur exigüité étaient soumis à de fortes pressions touristiques : on observait des densités de plus de 3 000 personnes présentes au km² à la Pointe du Grouin, plus de 900 au Cap Fréhel , Par contre 68% de l'hébergement touristique (hors camping) restent concentré sur les trois communes principales de Cancale, Saint-Malo et Dinard

Le résultat de l'ensemble de ces éléments montre une pression de l'urbanisation très forte qui se caractérise sur le littoral breton par une forte expansion. 70% du linéaire côtier breton est urbanisé

Les surfaces artificialisées progressent très rapidement en Bretagne : elles ont doublé en 20 ans Pendant la même période, la population régionale n'augmentait que de 11,7 %. Près de 4 000 ha ont ainsi été utilisés chaque année pour la croissance urbaine entre 1985 et 2005

A partir des années 1960 les pressions anthropiques exercées sur le littoral sont croissantes, et se manifestent par une artificialisation importante du trait de côte notamment dans les villes dotées de grands ports (Saint Malo et Dinard) où le rivage est figé par des aménagements portuaires ou des ouvrages de défense.

Selon l'étude de l'IFEN l'artificialisation du littoral, sur une bande de 5 ou 10 kilomètres de profondeur dans les terres, a augmenté entre 1975 et 1990. En Bretagne dans une frange de 5 kilomètres le taux d'artificialisation était en 1975 de 7,8% et en 1990 de 8,9%.

En 2005, les emprises artificialisées représentaient près de 23 % du trait côtier littoral (bande des 500 m depuis le rivage)

La progression considérable de l'urbanisation dans les communes littorales et rétro-littorales a été particulièrement forte sur la côte de l'axe Dinan-Dinard de notre zone d'étude. En 20 ans, l'urbanisation a progressé de plus de 8 700 ha dans la bande des 500 m en bord de littoral, soit plus de 10 % des 80 000 ha artificialisés en Bretagne

Afin d'améliorer les conditions d'accueil des visiteurs sur la Côte d'Emeraude, la mise en place d'un certain nombre d'infrastructures été nécessaire. L'accès aux plages, les problèmes de circulation et de stationnement font l'objet des principales récriminations des touristes, et peut-être plus encore des résidents. Dans le cas de plages « urbaines », un certain nombre d'équipements sont nécessaires (parkings...). La mise en place de ce type d'infrastructures va davantage renforcer l'urbanisation du site. A l'inverse, concernant les plages situées hors des zones urbaines, d'autres problèmes liés à la fréquentation sauvage sont rencontrés. Cette fréquentation sauvage (non respect des espaces isolés par des ganivelles) se fait en général à l'encontre du respect de l'environnement et peut se traduire par la dégradation du couvert végétal des dunes.

Chapitre 3 : Présentations des principaux sites étudiés

Ce chapitre a pour but de présenter l'état des connaissances sur chaque site pris à l'échelle locale. L'ensemble est divisé en trois secteurs selon le découpage présenté dans les cartes du chapitre précédent.

I. Secteur 1 (Pointe du Grouin – St Malo)

Ce premier secteur est situé à l'Est de la zone d'étude et commence à la pointe rocheuse du Grouin. À partir de cette pointe la côte connaît une alternance de pointes rocheuses et d'anses basses abritant des systèmes dunaires. L'orientation de la ligne de rivage par rapport aux houles et vents dominants (voir chapitre 2) laisse supposer l'existence d'une dérive littorale générale vers l'est qui redistribue les sédiments parallèlement au rivage. La question qui se pose est de déterminer si cette dérive est générale à toute la zone ou si elle se limite à de petites cellules sédimentaires isolées les unes des autres. Il est également possible que ponctuellement il y ait des dérives locales vers l'ouest.

I.1 Système plage- dune dans le secteur 1 :

A partir de la pointe du Grouin et jusqu'à l'extrémité ouest de l'Ille-et-Vilaine la côte est marquée par une série de pointes rocheuses orientées le plus souvent vers le Nord. Entre les pointes, des anses ont été remblayées par des sédiments sableux avec localement des cordons dunaires associés à des marais arrière-littoraux. Les systèmes dunaires identifiés sont le massif dunaire de l'Anse du Verger – celui de l'Anse du Guesclin- celui des Chevrets et celui de l'Anse de la Touesse. (Voir figure 21)

I.1-1 Le massif dunaire de l'Anse de Verger :

Il est décrit comme un cordon dunaire qui enferme un marais d'eau douce ayant commencé à se mettre en place vers 8000 BP (**Regnault, Jennings et al. 1996**). Il est limité par deux pointes rocheuses taillées dans des migmatites : la pointe de la Moulière et la pointe du Nid. La partie ouest de l'Anse est occupée par un parking. La partie centrale est un système de dune, la partie est une falaise taillée dans les dépôts périglaciaires (toujours en recul). Le marais arrière-dunaire d'eau douce s'étend dans la partie centrale et la partie ouest. L'histoire du site a été reconstituée par (**Regnault, Mahmoud et al. 2010**). Elle est brièvement rappelée.

En 1952 le site est très peu touristique et ne dispose d'aucun aménagement. Toutes les parcelles alentours sont cultivées et souvent entourée de haies. Les chemins et les routes côtiers n'existent pas. A cette époque il n'y a pas de falaise meuble dans la partie est car le système dunaire s'étend sur toute l'Anse, avec une couverture végétale très homogène et dense. Cependant à cette époque le marais était peu important et il y avait un treillis de

chenaux permettant la pénétration de l'eau salée en marée haute exceptionnelle et l'écoulement des eaux du bassin en marée basse.

La première extraction de sable dunaire pour construire le barrage de la Rance a commencé en 1960 dans la partie Ouest puis elle s'est étendue à l'ensemble du site. Le marais a été vidé de son eau et excavé comme une carrière. Après cette énorme quantité de prélèvements le site devenu très accessible et le cordon dunaire ne joue plus son rôle de barrière. Dans le marais une modification de l'emplacement des chenaux a été observée et une nouvelle roselière apparaît **(Fournier and Regnauld 1991)**.

De 1970 et 1985 le site a été hyper fréquenté. Le littoral recule beaucoup, le cordon est considérablement érodé et sa couverture végétale est devenue discontinue. La surface érodée (entre 1952 et 1977) est considérable particulièrement dans la partie ouest. En 1982 deux parkings ont été installés, un devant le marais et le deuxième sur le sommet de la falaise des Daules. La création du parking en bordure du marais, à l'emplacement des anciens chenaux entraîne une modification des échanges avec le milieu marin (pose d'une buse en béton) et donc une modification de la végétation. En 1985 sous l'impulsion du Conservatoire du littoral et des Espaces Lacustres le cordon est mis en réserve, avec la plantation d'oyats et la mise en œuvre de système de piégeage du sable (installations des ganivelles).

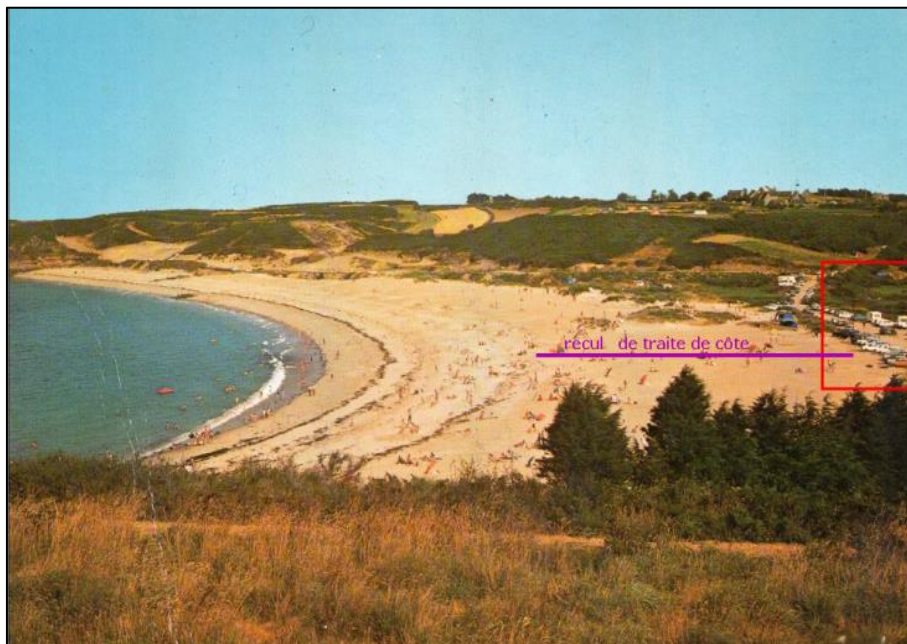


Figure 26 : Anse de Verger 1970 avant l'aménagement, la plage est très accessible, le cordon est érodé
Le recul du trait de côte est (approximativement) entre 1950 et 1970.

Progressivement le chemin littoral est recréé trente à quarante mètres plus à l'intérieur et en 2010 le cordon a retrouvé son apparence, de nouvelles ganivelles sont posées tous les quatre ou cinq ans.

Mais cette évolution du front de dune qui est marquée par une avancée du front dunaire reste toutefois insuffisante pour résorber totalement l'importance du recul mesuré sur la période précédente

Sur cette plage les pressions anthropiques ont été fondamentales (extractions) et demeurent très importantes en période estivale mais également hivernale. Bien entendu, toutes ces contraintes anthropiques ne peuvent expliquer à elles seules l'érosion ou le recul de littoral, mais elles jouent un rôle majeur qui ne doit pas être négligé.

L'orientation de la ligne de rivage par rapport aux houles et vents dominants (chapitre deux), laisse supposer l'existence d'une dérive littorale redistribuant les sédiments parallèlement au rivage vers l'est (c'était le cas en 1952). Cependant dans ce site et dans sa configuration actuelle qui en fait une baie beaucoup plus échancrée qu'en 1952, la diffraction des houles derrière la pointe fait qu'une dérive de l'est vers l'ouest peut survenir. La dynamique de la plage et du trait de côte est sensible à l'action des courants de houles et le concept de cellule sédimentaire (qui va être détaillé dans le chapitre 3) paraît assez essentiel pour appréhender l'évolution du trait de côte

Dans l'état actuel des connaissances l'alimentation du cordon semble venir des périodes « calmes », avec un vent souvent d'W ou WNW soufflant sur un estran découvert à marée basse. Les événements forts (tempêtes) ont tendance à détruire le front dunaire.

La dynamique du marais est reconnue comme stable avec un niveau de 13.50 m côte marine. L'eau salée ne remonte plus dans le marais grâce à l'installation d'une buse obstacle à la circulation des eaux) Les seules modifications significatives du niveau sont liées à des pompes pour l'arrosage des parcelles agricoles.

La partie Est du site est constituée de falaises meubles de faible amplitude de (< 5 m), élaborées dans des formations récentes du quaternaire correspondant aux accumulations de loess dont la couleur claire et plus ou moins jaunâtre contraste avec les roches anciennes beaucoup plus sombres. La coupe est similaire à celle qui est décrite à du Guesclin dans le chapitre précédent.

Sur une plateforme d'abrasion fossile se trouve une plage de galets (attribuée à l'Eémien) puis une dune et un head indifférencié. Il est surplombé par un loess périglaciaire puis par une dune Holocène (6ky OSL et divers âges 14C entre 6000 et 2000 BP). Le sommet est un sol sub actuel recouvert d'une dune grimpante.



Figure 27 : falaise meuble (<2m) Anse de Verger (3 octobre 2014)

La plupart de ces falaises sont érodées à la base par la mer lors des surcotes, mais de nombreux éboulements sont également dus aux fortes pluies hivernales. Le recul de la falaise est toujours actif mais avec des vitesses hautement variables dans le temps (pouvant aller jusqu'à deux mètres en 24 heures puis ne plus bouger pendant un an).

Une étude sur le terrain a permis d'identifier les formations végétales et les contacts Plage-dune qui sont le témoin des variations sédimentaire de la plage.

Au Verger on peut noter deux types de contact avec la plage : le contact dune en accrétion-plage s'effectue à travers une pente douce, colonisée par une végétation dunaire, type *amophilia arenaria* (oyats) spécialement dans la partie ouest photo (1) ; par contre dans la partie Est de la plage à côté de la zone de falaise meuble on observe des groupements à Chiendent des sables (*Agropyrum junceum*).

Le contact dune en recul plage-dune est caractérisé par des hauteurs parfois supérieures à 1 m figure (27) et il n'y a pas toujours de végétation.



Figure 28 : plage du Verger Avril, 2010 types de contact plage – dune



Figure 29 : plage du Verger octobre 2014, secteur de falaise meuble

Sur le sommet de la falaise meuble à l'Est de la plage on observe la présence d'*Armeria maritima* et le Criste marine (*Crithmum maritimum*) dans une lande où l'Ajonc d'Europe est dominant (*Ulex europaeus*).

La hauteur de la végétation est d'environ 25-35 cm et la densité est variable sous l'effet de l'érosion (naturelle ou artificielle). Il faut noter, à ce propos, que dans les zones de sommet de falaise meuble des ganivelles ont été installées pour éviter les piétinements d'une part et pour diminuer l'érosion due aux ravinements sur le sol nu d'autre part. (Figure 29)

1-1-2 Anse du Guesclin :

L'anse du Guesclin se situe sur les communes de Saint-Coulomb et de Cancale, sur le littoral du département d'Ille-et-Vilaine.

Le site se compose d'un massif dunaire d'environ 2ha entre deux promontoires rocheux Pointe (du Nid à l'Est et Pointe des Grands Nez à l'Ouest) d'un marais arrière-dunaire actuellement cultivé. Avant sa phase de dégradation majeure des années 1960 le site se compose d'un massif dunaire globalement uniforme avec peu de traces de fragmentation sauf quelques chemins. Il y a quelques parcelles sur l'arrière dune (pâturage peu intensif) et le marais est quasiment totalement poldérisé. Voir les figures suivantes



Figure 30 : Anse du Guesclin 1950

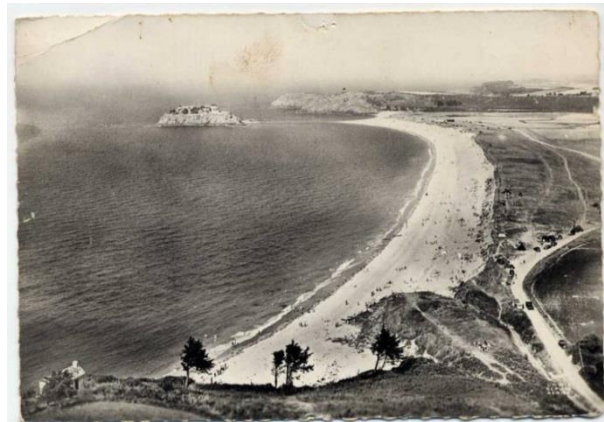


Figure 31 : Anse du Guesclin 1952

Le site été caractérisé par une fréquentation touristique moyenne utilisant majoritairement la plage Le stationnement des voitures se fait sur la dune mais cela concerne encore peu de véhicules.

Les premières perturbations fortes ont été réalisées en 1961 dans le cadre du projet du barrage de la Rance et aussi lors de la création de la route départementale 201, qui passe sur la dune, creusée pour l'occasion en tranchée. Le cordon dunaire n'est alors plus en mesure de protéger les polders lors des tempêtes.

Les premiers travaux de restauration ont été réalisés en 1985, afin de protéger la dune et de gérer le flux touristique vers la plage : un enrochement-digue consolidé par du bitume a été mis en place tout le long d'Anse, afin d'empêcher l'eau de mer d'envahir les polders puis une dune de sable rapportée a été déposée sur l'enrochement (qui reste toutefois encore visible dans l'ouest du site). De nouveaux parkings ont été installés (dont un sur l'enrochement). Des ganivelles ont été mises en place. Aujourd'hui malgré le bilan sédimentaire positif de cette dune « artificielle » un problème demeure : le sable de la dune va sur la route et doit être dégagé régulièrement.

Sous l'angle géomorphologique, ce site évolue de façon différente du reste des autres massifs dunaires dans le secteur 1 pour plusieurs raisons. La plus importante est son artificialisation ; la phase d'accrétion est le résultat de la construction de la digue-enrochement-dune. Une deuxième raison est la présence de l'Île Du Guesclin, qui en fait divise l'Anse en deux parties dont la dynamique est dissociée. A marée haute et par houles modérées d'ouest il y a une légère dérive littorale sur toute l'Anse vers l'est. A marée basse il y a deux cellules sédimentaires distinctes séparées par un tombolo. On observe que la plage est formée dans sa partie Est de matériaux plus grossiers que à l'Ouest où le sable devient plus fin.

Globalement le massif de l'anse du Guesclin présente un stade de naturalité moins avancé que l'ensemble des massifs dunaires d'Ille-et-Vilaine. La variation de son trait de côte est initialement due à des événements d'origine anthropique. Cependant depuis sa reconstruction seules les tempêtes les plus extrêmes peuvent encore l'éroder comme celle du 10 mars 2008 - associée à de forts coefficients de marée - La route départementale a été recouverte sur une épaisseur de sable d'un mètre par endroit. La mer est passée par-dessus la dune et a ennoyé le marais arrière dunaire.

La diversité des milieux induit une flore variée. La dune mobile, incessamment renouvelée par le sable et le vent, est colonisée par des plantes pionnières tels que l'oyat et le chiendent des dunes, et aussi la laîche des sables.

1-1-3 Anse de la Touesse :

Parfaitement abritée des vents d'Ouest, cette Anse s'étale en 2 croissants (plage de Roz-Ven et plage de Port) à peine séparés par une langue rocheuse qui est nommée la pointe des Petits Nez.

Le haut de la plage est planté d'oyats protégés par des ganivelles. Les plages de sable fin, abritée des vents dominants, sont particulièrement appréciée des touristes. Derrière la Plage de port (site naturel protégé) s'étend une vaste «dune perchée ». Terrasse sableuse adossée à une falaise morte qui peut atteindre à certains endroits 25 m de hauteur, cette formation dunaire est couverte d'une pelouse rase où fleurissent des orchidées sauvages.

Le paysage n'a pas beaucoup changé entre les années 1952-2010 parce que la réputation touristique du site l'a préservé des extractions de sable et parce qu'aucune route ne longe l'Anse.



Figure 32 : type de contact plage – dune (falaise dunaire), anse de la Touesse, plage du Port, le 4 Juin, 2015

1-1-4 Les dunes de Chevret

Sur les communes de Saint Coulomb et Saint Malo s'étendent les dunes des Chevrets, le long du tombolo qui relie la Pointe du Meinga à l'île Besnard à l'ouest. Ce site est composé d'une dune blanche mobile plantée d'Oyats sur la partie ouest protégée du piétinement par des ganivelles et d'une dune grise. Ses îlots des Petit et Grand Chevret (réserve naturelle), sont accessibles à marée basse de grand coefficient. Ils protègent la plage des houles d'W et NW tandis que le Meinga protège des houles de NE

Dans ce secteur, le massif dunaire est entièrement artificialisé, l'accès à la plage est canalisé par des chemins également protégés par des barrières de ganivelles. La hauteur moyenne des dunes est comprise entre 1.50m et 2.5m, mais elles peuvent localement dépasser 5 m. Le trait de côte est fortement artificialisé, notamment la dune grise, qui est occupée maintenant par des campings.

En 1952 le site ne dispose d'aucun aménagement et l'accès pedestre était difficile. La massif dunaire était globalement uniforme, l'arrière dune était homogène, et on ne distingue pas d'impact de camping sauvage ni de parkings. La photo aérienne de 1961 produit le même type d'information avec cependant des chemins traversant les dunes. En 1977 la paysage été fortement modifié : le camping occupe tous les dunes et l'arrière dune. Il ya un parking dans la partie Ouest. Le site est acquis par le conservatoire du littoral en 1986.

Le contact dune-plage s'effectue à travers une pente douce, colonisée par une végétation dunaire, type *amophilia arenaria* (oyats) cela sur la partie ouest de la plage par contre dans la partie est (le camping) la dune est parcourue par de nombreux chemins piétons permettant l'accès aux plages, très fréquentées et le front dunaire est taillé en falaise dunaire.



Figure 33 : type de contact plage- dune, plage des Chevrets Octobre 2014

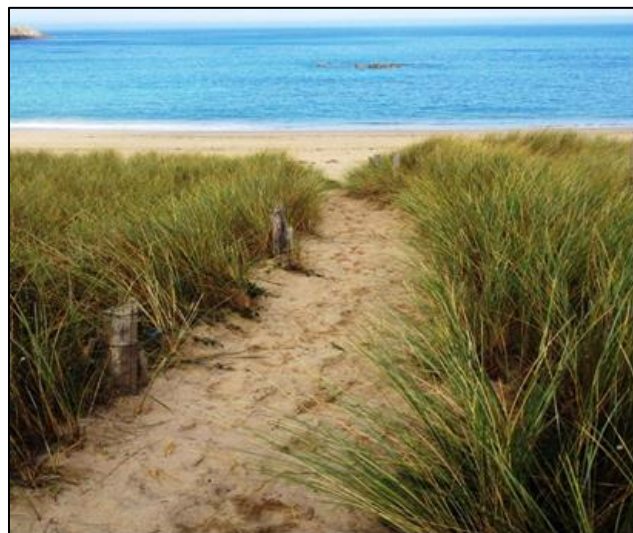


Figure 34 : passage côtier aménagé dans les massifs dunaire des Chevrets (Octobre 2014)

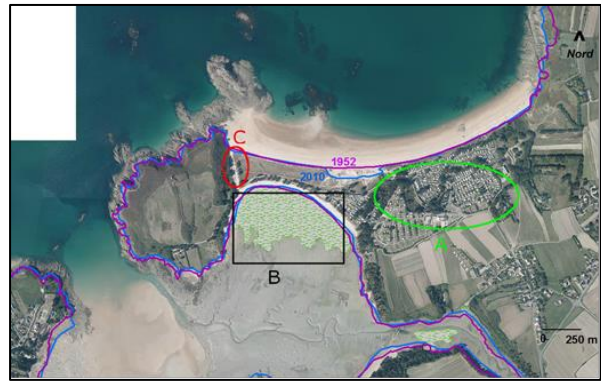
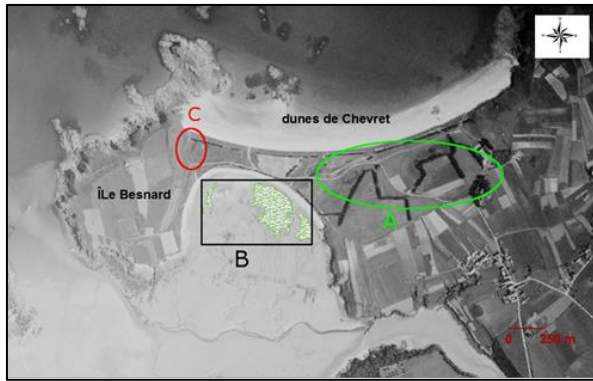


Figure 35 : Photo aérienne 1952 pour la plage des Chevrets **Figure 36 : Photo aérienne 2010 (les Chevrets)**
 (Secteur A développement de camping, secteur B développement de schorre, secteur C installation de parking)

En conclusion la principale variable qui permet de différencier les sites les uns des autres paraît être l'intensité de la dégradation provoquée par différents facteurs tels que les extractions de sédiments, l'urbanisation touristique, la fréquentation non canalisée. La seconde variable correspond au type d'aménagement qui a été mis en place pour stopper ces dégradations



Figure 37 : le schorre du Havre du Lupin, 2014

1-2 Le système falaise dure dans le secteur 1

La partie du trait de côte, qui est fait de falaises de migmatites, offre une succession d'anses (la Touesse, du Guesclin) et de pointes (la Varde, Rothéneuf, le Meinga, les Grands Nez, le Nid, la Moulière et le Grouin). Les versants montent vers le Sud en larges pentes douces ouvertes sur la

mer avec une hauteur moyenne de 30 à 50 mètres. Cette partie de la côte compte un estran très limité, souvent réduit à une simple plateforme, parfois avec des écueils

Ces falaises, dans la partie ouest des pointes sont directement exposées à l'action des houles dominantes, et leur recul est contrôlé par la structure géologique et l'altération de la roche le long des nombreuses failles locales. L'érosion gravitaire joue un grand rôle. Cependant les pressions anthropiques exercées sur le sommet des falaises sont, de loin, l'agent morphogénique dominant.

La fréquentation des sites, en période estivale aussi bien qu' hivernale, est importante et concourt à accroître la sensibilité de la falaise aux processus d'érosion subaériens (**Claude 2000, Fench 2001**) , Les promeneurs, contrairement aux baigneurs sont, en effet assez nombreux durant les week end d'hiver et leur impact est donc annuel plutôt que saisonnier.

Ces falaises sont recouvertes d'un sol peu épais (1m maximum), colonisé par une végétation buissonnante, arbustive ou arborée. Les pointes ont un couvert végétal irrégulier, la face exposée aux vents d'Ouest étant couverte par une lande rase, alors qu'il y a souvent quelques arbres côté Est.

Ces pointes ont parfois été occupée par des installations militaires de surveillance (petites maisons de pierre abritant quelques soldats) qui sont parfois encore visibles, certaines ont été mise en péril par le recul de la côte (pointe de la Moulière) et ont été démontées pierre par pierre pour éviter qu'elles ne s'écroulent. La pointe du Meinga est un ancien éperon barré dont ne subsiste que le fossé de protection.

Dans l'ensemble ces falaises correspondent à un schéma type : une plateforme d'abrasion, un versant assez raide, mais court (deux à trois mètres) taillé dans la roche mère, puis un versant plus long (20, 30 mètres) nappé de formations périglaciaires ou protégé par un sol actuel. Il s'agit donc de versants falaises. La dynamique actuelle agit très peu sur la partie roche nue mais concerne essentiellement le sommet de falaise les alentours du chemin dit des douaniers qui passe par toutes les constructions héritées signalées dans le paragraphe précédent.

II. Secteur 2 : (Dinard- Saint Briac)

Ce secteur est artificialisé sur quasiment toute sa longueur.

II.1 Le système massif dunaire entre Dinard et Saint Briac Secteur 2

Dans la partie de ce secteur qui est comprise entre Dinard et Saint presque toutes les dunes ont soit disparu, soit sont recouvertes d'un golf et toutes les plages sont limités par des murs.

Plus à l'ouest, les dunes dans les anses de St Briac du Perron et de Port Hue sont des espaces naturels protégés dont les plages restent accessibles au public. Elles montrent des dunes dans l'étape de reconstruction après la fréquentation et l'extraction massive des sables pour la construction du barrage de la Rance.

Les plages de Saint Briac, du Bechay et de Nessay s'apparentent aussi à des plages de poche, mises en place entre des promontoires rocheux. Elles sont adossées à un mur de défense contre la mer et sont composées de matériaux sédimentaires caractérisés par une granulométrie mixte, plutôt grossière au niveau des pieds des dunes et une granulométrie fine sur le sommet des dunes. A proximité des noyaux d'urbanisation les dunes sont ajustées, artificiellement stabilisées et urbanisées.

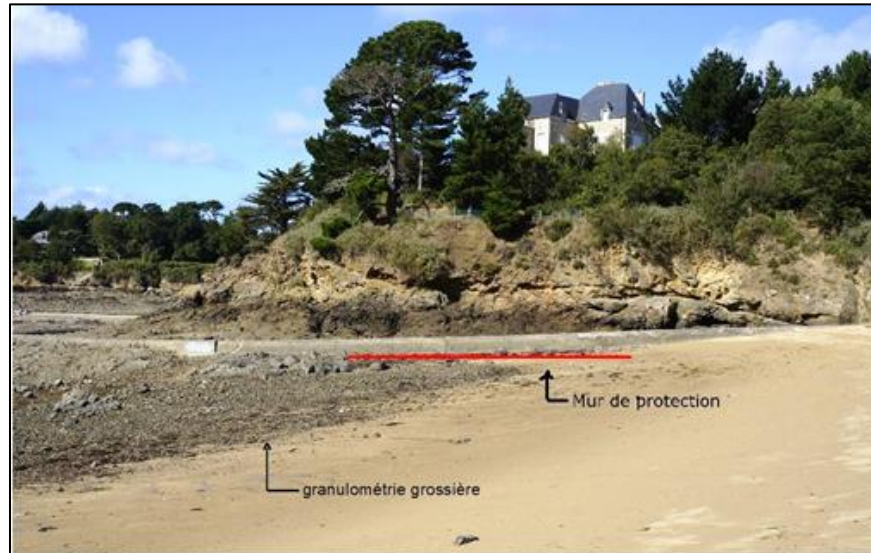


Figure 38 : mur de défense. Saint Briac (Plage de Nessay Avril 2012)



Figure 39 : mur de défense. Saint Briac plage de longchamp, plage totalement artificielle Avril 2012

Le Conservatoire du littoral a entrepris depuis 2000 d'importants travaux de restauration et de protection des dunes et des pelouses botaniques. L'urbanisme est très marqué par l'identité paysagère balnéaire à Dinard, St Lunaire et St Briac. Plus à l'ouest, les villages deviennent plus petits et moins denses, comme Lancieux et St Jacut, qui restent séparés par des espaces en culture. Le développement urbain et la fréquentation importante des plages durant la période estivale et aussi hivernale contribuent à expliquer l'artificialisation du trait de côte.



Figure 40 : plage de Port Hue (aménagement doux avec installation des ganivelles), août 2015

II.2 Le système falaise dans les secteurs 2

II.2-1 Falaises dures : La côte dans le secteur 2 se caractérise par l'alternance de côtes rocheuses moyennement hautes et de côtes basses. La morphologie de la côte offre des points de vue dominants et des accès faciles à la mer, propices à la vocation balnéaire.

Les pointes offrent des vues extraordinaires en avancée sur l'eau et conservent pour certaines leur caractère naturel, comme, pointe de la roche Pelée, le Nick -pointe Bellefard- (sites naturels protégés gérés par le Département d'Ille-et-Vilaine et le Conservatoire du littoral). Voir carte géologique (figure 4) chapitre deux .

D'autres sont urbanisées et habitées, comme la Pointe du Décollé à St Lunaire, ou aménagées et fréquenté : un chemin côtier et une route sillonnent l'ensemble du pourtour des falaises. En arrière de la route, plusieurs parkings sont aménagés (golf de la Pointe de la Haye à St Briac) Il faut noter aussi que dans la plupart des sites la dégradation du couvert végétal sur le sommet de falaise donne un signal d'alarme assez important car la falaise dénudée est soumise à d'énormes infiltrations et commence à s'effondrer localement.

II.2-2 Falaises meubles : les falaises sont élaborées dans du périglaciaire, dans des horizons d'altération et sont localement surmontées par des dunes grimpantes. Les falaises meubles du secteur des Tertres sont présentées en détails dans le chapitre 6.

Dans le secteur 2 ces falaises sont précédées d'un platier rocheux, recouvertes d'un sol peu épais (1.5 m maximum), colonisé par une végétation dunaire. La quasi-totalité de ces formes sont artificialisées avec des cheminements construits en dur ou avec des matériaux de récupération comme les pneus de tracteurs sur la photo suivante (dune de Perron, à proximité du Golf) ou avec des renforts faits par des pylônes électriques horizontaux (figure 43)



Figure 41 : Falaise meuble artificialisée près des dunes des Perron



Figure 42: falaise meuble hauteur >80cm



Figure 43 : falaise meuble « aménagée » par un pylône.

Localisation : Port Hue



Figure 44 : falaise meuble > 1m, partie ouest de plage de Port Hue, 2015

III. Secteur 3 : Saint Briac – Cap Fréhel

III. 1. Le système massif dunaire secteur 3

Les côtes basses prennent parfois la forme de polders à St Jacut, dans la baie de Beaussais (exploités en herbages). Dans la baie de Lancieux les plages sont de dimensions très réduites, limitées latéralement par de très nombreuses indentations rocheuses du trait de côte. Les parties hautes de ces « plages de poche », relativement bien protégées sont occupées par des sables moyens qui deviennent de plus en plus grossiers vers la basse plage où ils se raccordent aux faciès de sables grossiers et de graviers des petits fonds.

Les plages de pointe de chevet (plage du Rougeret et plage de Haas), largement ouvertes aux flux d'Est, s'apparentent à des plages de poche. Mises en place entre des promontoires rocheux, elles sont composées de matériaux sédimentaires caractérisés par une granulométrie mixte, plutôt grossière, constituée de sables grossiers, due à l'action des houles et des courants de flots qui contournent les Hébihens. Les fronts dunaires sont quasiment inexistantes caractérisées par des altitudes faibles et parfois moyennes (1, 1.5 m) colonisées par la végétation dunaire.



Figure 45 : Pointe de chevet et ses plages de poche (plage du Rougeret et plage de Haas)

Les plages qui sont situées aux abords ou dans les stations balnéaires sont presque toutes bordées par un ouvrage longitudinal de haut de plage comme la plage de la Banche (Saint-Jacut)

III.1. Plage des Briantais

Cette plage est située un peu à l'écart du centre de Lancieux, orientée vers le nord-ouest, séparé des autres plages par de petites falaises. La dune des Briantais offre de grands espaces de sable éolien fin. La plage est complètement découverte à marée basse.

Le massif dunaire de cette plage est fortement anthropisé. En 1952 aucune trace d'érosion n'apparaît sur les photos du massif dunaire globalement uni, avec la présence d'un petit bois sur le côté ouest de la plage. En 1977 le site a perdu l'homogénéité de son massif dunaire, et la surface boisée a disparu.

La plage a été acquise en 1998-2000 par le Conservatoire du Littoral qui a entrepris un travail de restauration important et la dune est actuellement en bon état. Elle est protégée vers les terres et vers la mer par des barrières de ganivelles, les dunes bordières ont des altitudes assez faibles, inférieures à 1m. Figure (46) L'accès à la plage est canalisé par des chemins également protégés par des barrières de ganivelles



Figure 46 : chemin aménagé dans le massif dunaire (Plage des Briantais Avril 2012)



Figure 47 : plage de Briantais, hauteur de végétations entre 70cm – 90 cm



Figure 48 : le trait de côte 1952-2008 plage de Briantais

La plage subit des vents de sud-ouest et nord-est et comme elle est bien abritée elle ne subit donc pas l'influence des vagues fortes ou des tempêtes, ce qui explique la granulométrie fine et homogène de la dune blanche ou mobile (dépôt éolien). Assez classiquement le sable le plus grossier est situé à proximité de la laisse de haute mer avec des coquillages et des débris d'algues



Figure 49 : sable grossier plage des Briantais

Le front dunaire est caractérisé par un versant convexe bien conservé, les contacts entre la dune et la plage, assurés par une pente douce sont entièrement colonisée par une végétation de type *amophilia arenaria*, (Oyats). La hauteur des dunes bordières est inférieure à 1.5m

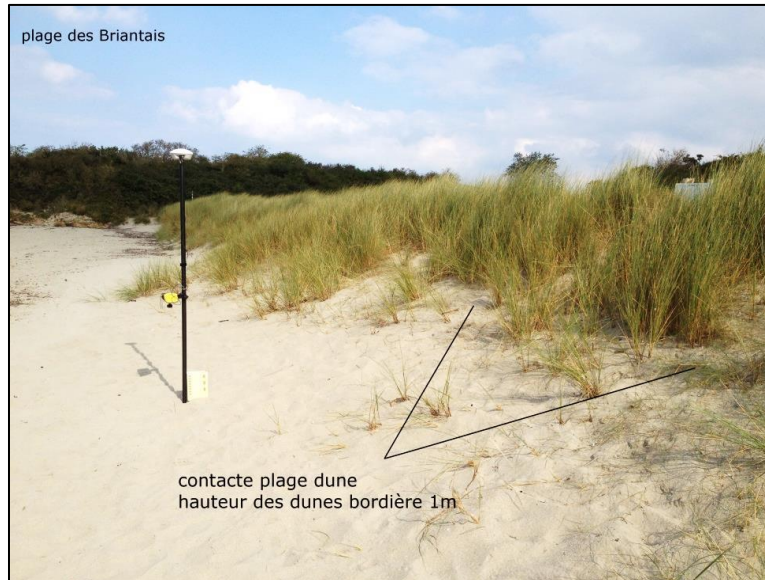


Figure 50 : type de contact plage – dune, plage des Briantais 2014

III.2. Système de falaises dans le secteur 3

III.2-1 Les falaises dures sont particulièrement importantes vers Fréhel, Fort la Latte, la Fresnaye et Saint Cast. Elles peuvent avoir un commandement de 50 mètres.

Elles incorporent parfois de minuscules plages de poche qui n'ont pas été étudiées dans les parties précédentes. Il s'agit par exemple de la plage de la Mare, près de Saint Cast.

Le recul de ces côtes à falaises est classiquement contrôlé par un complexe de facteurs parmi lesquels la structure géologique joue un rôle majeur. Sur ce secteur l'évolution de ces falaises en roche dures est relativement prévisible, leur sommet est toujours soumis à effondrements ou des glissements ponctuels de quelques mètres cubes.

Par contre ce type de falaises ne reculent quasiment pas au niveau de leur base, les encoches sont rares et sont plus souvent dues à une faiblesse locale dans la roche qu'à l'action des houles



Figure 51 : Un effondrement actuel (Septembre 2015) sur la rive nord de la Baie de la Fresnaye. D'autres, plus anciens, sont re-colonisés par la végétation.

III.2-2 Les falaises meubles : dans le secteur 3 les systèmes de falaises meubles se positionnent au sein d'une côte peu battue, bien protégée des houles, donc elles évoluent principalement par éboulements (falaise de plage de la Fosse et de la Mare). Leurs types sont plus variés que dans secteur 2. Elles sont élaborées à partir de matériaux granitiques ou schisteux, modelés par les processus périglaciaire et elles présentent généralement à leur base un horizon d'altération bien développé. Les falaises ont rarement un platier rocheux et elles sont recouvertes d'un sol bien épais colonisées par une végétation buissonnante, ou arborée.

L'érosion des falaises contribue à produire des matériaux qui alimentent d'étroites plages au pied de ces falaises.

Leur stabilisation artificielle par la mise en place d'ouvrages de protection ou par l'enrochement pour contenir les produits éboulés tend à réduire leur contribution au bilan sédimentaire côtier et plus particulièrement aux formes d'accumulations littorales.



Figure 52 : falaise meuble au sein de plage de la Mare



Figure 53 : enrochement de falaise meuble de la plage de la Mare partie Est, falaise meuble <10 m de hauteur végétations basses (pelouses) , 2015.



Figure 54 : falaise meuble (hauteur 2m), couverte par une végétation arborée, plage de la Fosse

III.3. Les Vasières

Comme on l'a déjà montré dans le chapitre 2 elles représentent environ 22% du linéaire côtier du secteur étudié. Il s'agit de vases et de sables vaseux qui incluent localement des bancs de sables pur très fins. La surface du sédiment présente de nombreuses ripples marks formées sous l'action des houles et des courants de marée Figure (55)

III.3-1 Baie de Lancieux : baie semi-fermée 500 hectares face à l'île des Hébihens et à l'île Agot. Elle offre un site exceptionnel pour la pratique de la planche à voile, de la pêche à pied, elle est donc fortement impactée par le tourisme. Elle est séparée de l'estuaire de l'Arguenon par la presqu'île de Saint-Jacut. L'estuaire de l'Arguenon est soumis au passage alterné de masses d'eaux douces et d'eaux salées car il est largement ouvert au large par contre la Baie de Lancieux est un système plus fermé à cause à son étroitesse au niveau du goulet d'entrée



Figure 55 : baie de Lancieux (2012) marée basse

III.3-2. La baie de La Fresnaye : correspond à un fossé d’effondrement, large de près de 2 km, entre deux rives parallèles soulignant un système d’accidents majeurs d’orientation NE-SW (**Nonn 1953, Bousquet 1967**). La baie est très protégée des houles et vents dominants. Dans son ensemble, ce secteur s’apparente à un système mixte, marqué par la présence de petites falaises altérées et des petites plages de poche



Figure 56 : baie de la Fresnaye, plage de Fosse, marée basse Figure 57 : baie de la Fresnaye marée haute, 2015

Ainsi, la vaste baie de la Fresnaye se découvre en totalité à marée basse, sur plusieurs centaines d'hectares. Tout au long de la côte, la végétation reste très présente. Le couvert végétal est en partie issu des plantations artificielles qui accompagnaient les habitations (pin maritimes, juniperus, palmiers). L’ensemble de l’estran est parcouru par les véhicules qui opèrent sur les exploitations conchylicoles (figure 56) et il évolue, en terme de profil, sous l’effet de ces pressions anthropiques répétées.

III.4. Le schorre

Il présente un vaste espace dans la baie de Lancieux en continuité directe avec le milieu continental. Contrairement à la slikke il n'est entièrement atteint qu'au cours des marées à très fort coefficient ou pendant des tempêtes fortes. Ce domaine de vase est recouvert de végétations basses dites halophiles (adaptée au sel) et ces végétaux colonisent le schorre en fonction du degré de recouvrement par la mer. Les parties les plus atteintes par la mer sont colonisées par la Soude (*Sueda maritima*) par contre les zones les moins inondées abritent des *Spartina*. La partie qui est au fond de la baie de Lancieux n'est pratiquement jamais atteinte par la mer

Plusieurs facteurs jouent un rôle important en encourageant le développement et le progrès du schorre dans la baie de Lancieux. La configuration de la côte est importante : le tombolo de la Justice et son extension jusqu'au centre de la baie sépare clairement une zone légèrement agitée (avec un banc sableux sur la slikke) d'une zone très calme, localisant beaucoup de dépôts de vases.



Figure 58 : le Tombolo de la justice et la plage de la Manchette bien protégée, baie de Lancieux

Contrairement à la baie de Lancieux, dans l'estuaire de l'Arguenon, les vasières sont presque complètement nues. La présence de végétation est rare.

Un autre facteur qui joue un rôle important (mais non quantifié) dans l'envasement est la présence de plus de 56.000 lignes de bouchots et près de 33 hectares de parcs à huîtres en Baies de l'Arguenon et de la Fresnaye. La conchyliculture constitue une des activités principales de cette partie de la côte. Cette baie est en effet une zone de calme et d'eau peu profonde, se

réchauffant rapidement, propice au développement du plancton ce qui offre un site idéal pour l'élevage des huîtres.

De même entre la Pointe de Saint-Cast et les Hébihens des bouchots disposés perpendiculairement à la direction dominante des courants (nord-ouest sud-est) représentant 29 km linéaires. La position de ces installations dans cette zone de l'estuaire permet leur nettoyage par les courants mais peut aussi jouer sur l'envasement en raison de la grande capacité des bouchots et des tables ostréicoles à amortir et à ralentir les courants.



Figure 59 : élevage des huitres et moules dans la baie de l'Arguenon

Source : <http://www.hubert35.net/article-la-cote-d-emmaude-vue-d-avion>

Les végétations de secteur 3

Tout au long de la côte, la végétation reste très présente. Sur les plateaux, les plantations artificielles sont notables avec des espèces exotiques (pin maritimes, juniperus)

On remarque aussi la présence de la lande qui développe sur des sols acides et pauvres. Juste sur les falaises littorale et les arrière dunes, se forment les landes primaires (ou climaciques celles façonnées par le vent) où l'évolution de la végétation est limitée. Elles s'installent naturellement car ces milieux sont peu propices à l'établissement d'arbres en raison du vent.

En autre type de lande se trouve à l'intérieur des terres comme un résultat d'une déforestation par l'homme. Elles s'étendent sur de vastes étendues ou dans de petites parcelles. En conditions abritées et sur sols plus profonds ces landes peuvent évoluer vers une formation boisée, comme dans les parties abritées de la baie de la Fresnaye.

Synthèse:

En général dans la zone d'étude (pointe du Grouin – Cap Fréhel) on a identifié les secteurs de falaise dure, les secteurs de vase abritée des vents et des courants dominants, et des secteurs appartenant à un système mixte, marqué par la présence de petites falaises altérées (taillées dans les formations périglaciaire) et de cordons sableux constituant des systèmes dunes-plages.

Les différents types de littoraux évoluent différemment selon leur nature, leur orientation par rapport aux houles et aux vents, la morphologie de l'avant côte et aussi en fonction des processus de transports sédimentaires.

Cependant le rôle des pressions anthropiques exercées directement sur les formes d'accumulation, les plages, ont causé des changements importants sur quelques sites, notamment dans les secteurs où elles se sont multipliées au cours des cinquante dernières années (les massifs dunaires de secteur 1 tout particulièrement) : fréquentation excessive des édifices sédimentaires, mise en place d'ouvrages de protection, politique d'aménagement et de mise en défends.

Chapitre 4 : approche méthodologique et données

Ce chapitre présente l'ensemble de la démarche méthodologique adoptée pour quantifier, cartographier et analyser la mobilité du trait de côte, entre 1952 et 2010. Dans un premier temps le choix de l'indicateur de mobilité du trait de côte sera exposé.

Dans un second temps l'organisation des couches cartographiques utilisées pour décrire les aspects morphologiques et cinématiques des plages de la zone d'étude seront exposées.

La méthodologie utilisée dans ce travail repose sur des techniques classiques de traitement numérique de l'information géographique largement éprouvées en cinématique littorale. Cette approche basée sur les données disponibles est fondée sur les étapes suivantes :

- rectification géométrique des données disponibles
- sélection d'une ligne de référence (indicateur de trait de côte) adaptée aux types de documents et aux sites choisis
- traitements des photographies aériennes pour quantifier et cartographier les variations du trait de côte

I. Rectification géométrique des données disponibles

I.1-outils et données

Les variations de la position de la ligne du rivage ont été cartographiées et quantifiées à partir d'une analyse diachronique de photographies aériennes verticales. L'utilité des photographies aériennes en géomorphologie littorale a déjà été largement discutée. Depuis longtemps, la méthode de la photo-interprétation a été appliquée à l'étude du littoral, car elle apporte une vision globale et synoptique du trait de côte (**Grenier et Dubois 1990, Robin 2002**). Pour cela plusieurs outils de travail ont été utilisés

I.1.1. Principaux logiciels utilisés

ArcGis 10.0 (ESRI) : ArcGis desktop est un système d'Information Géographique développé par la société ESRI (Environnement System Research Institute). Le SIG est apparu dans les années 1970, et s'est imposé dans les années 2000 dans les études de cinématique littorale (**Leatherman 2003**). Il permet d'intégrer diverses sources de données sur la position du trait de côte (photographies aériennes, cartes, images satellitaires, levés DGPS, etc.), de produire des informations, de les analyser et de les cartographier (**Douglas et Crowell 2000, Moore 2000**). C'est un outil pour gérer, visualiser, cartographier, il sert aussi à créer des objets (ligne, polygone), et permet alors d'apprécier le changement du rivage suivant le tracé de polygones à

intervalles réguliers. On peut interroger et analyser toutes données avec trois fonctionnalités principales.

ArcToolBox : outil de géotraitements, conversions, outil d'analyses spatiales et de statistiques spatiales

ArcCatalog : outil de création et d'organisation des documents des données SIG ArcMap : outil de visualisation, cartographie et mise en page.

I.1.2. Les données utilisées

Données type 1: les photographies aériennes IGN

Les photos de l'IGN sont mises à notre disposition ou téléchargées gratuitement sur le site d'internet, les missions aériennes verticales datant de 1952, 1961, 1977, Elles ont des échelles différentes variant du 1/20 000 au 1/25 000.

Les photographies aériennes datant de 1982, 1998 ne sont pas en ligne, elles sont disponibles sous forme classique de papiers argentiques.

Données type 2 : l'orthophotographie littorale 2008 et 2010. Ces données sont livrées au format Ecw et avec une résolution de 50 cm.

Année	Caractéristiques
1952-1961-1977	Numériques Echelle 1/25 000
1982	Argentique 1/20 000 Scan 1000dpi
1998	Argentique 1/25 000 Scan 1200 dpi
2008	BD Ortho2008 IGN Taille du pixel : 0,5 m Format: .ecw Projection : Lambert 93
2010	BD Ortho2010 IGN Taille du pixel : 0,5 m Format: .ecw Projection : Lambert 93

Tableau 1: Caractéristiques des photographies aériennes utilisées.

Les photographies aériennes des séries 1982 et 1998 ont été scannées avec une résolution pixellaire de 1200 dpi. En fonction de leur échelle cela donne un pixel de 60 à 68 cm.

La taille du pixel de l'orthophotographie littorale de 2008 et de 2010 est de 50 cm.

La première étape de notre travail consiste à mettre ces photographies aériennes dans un référentiel cartographique choisi (Ligne/Colonne en coordonnées cartographiques). On utilise donc un modèle de déformation pour faire une correction géométrique ou un géoréférencement des images qui repose sur l'utilisation des points de contrôle.

Au total, dans ce travail quinze à trente-cinq points de contrôle ont été identifiés pour chacun des clichés datant de 1952, 1961, 1977, 1982 et 1998 en utilisant la projection Lambert II étendue associé au système géodésique Nouvelle Triangulation Française (NTF), à l'aide du logiciel de géomatique ArcGis 10,1 . Il faut noter que l'exactitude des corrections dépend non seulement de la qualité des points de contrôle, mais aussi de leur disponibilité (**Moore 2000, Kasser M. and Egels Y. 2001,)**

Ensuite les photos aériennes de 1952 et 1961/1977/1982/1998 ont été assemblées en mosaïque afin d'obtenir, pour chacun des systèmes littoraux étudiés, des documents semblables aux orthophotographies. À partir des mosaïques, et à partir des indicateurs déjà pris en compte, la position occupée par le trait de côte a été numérisée entre 1952- 2010 sous forme de polyligne, pour chaque année et chaque secteur, sur chaque mosaïque et sur les orthophotographies de 2008, 2010.

II. Modélisation et extraction de la ligne de référence

Pour identifier le trait de côte la ligne de référence choisie doit d'une part être capable de traduire les variations morphosédimentaires du littoral et d'autre part facilement accessible directement sur le terrain pour des vérifications in situ.

Une fois le choix de la ligne de référence effectué, plusieurs stratégies existent pour modéliser conceptuellement des lignes ; de ces choix résultent les types de représentation cartographique de la cinématique du trait de côte (**Robin 2002**) .

II.1. Choix d'une ligne de référence :

Il existe plus d'une dizaine de lignes de référence matérialisant la position du trait de côte Selon(**Grenier et Dubois 1990**) les lignes les plus intéressantes sont :

Le rivage instantané ou niveau instantané de la marée, la limite de végétation, le niveau des hautes eaux (laisse de haute mer), le niveau moyen des hautes eaux (très difficile à identifier), la crête de falaise, le front ou crête de dune, le haut de plage ou haut d'estran. Ces indicateurs peuvent être classés en deux catégories : les indicateurs morphologiques, les indicateurs de référence botanique (végétale).

II.1.1. indicateur de trait de côte sur les côtes dunaires

Selon(**Stafford et Langfelder 1971**) les indicateurs morphologiques sont représentés par le pied de dune et la crête de dune. Le pied de dune est un bon indicateur d'érosion mais il est peu apte

à traduire une accrétion sur le court terme, car il peut être modifiée à chaque marée haute et il peut subir des changements sur le très court terme (érosion – impact des vagues ou la tempête) et revenir, par résilience à son état initial en quelques jours seulement. C’est donc un indicateur trop mobile pour donner de bonnes informations au sujet de l’évolution du littoral à moyen terme (échelle pluri annuelle) qui est celle de notre travail. Le choix de la crête dunaire (ou sommet de dune) comme ligne de référence est intéressant mais peut ne pas identifier les phénomènes d’engraissement sédimentaire sur le front dunaire, et par là même, de progradation du trait de côte qui s’observent en période de régénération du système littoral. Un autre facteur limitant de l’utilisation de cette référence c’est le glissement de matériel sur le front de dune ce qui peut provoquer un changement constant de la forme de l’ensemble du front de dune. Dans cette étude le tracé du trait de côte a été identifié à la limite de la végétation sur la dune pour les raisons exposées dans le travail de **Robin (2002)**. La colonisation par les oyats (principalement) est un phénomène qui suppose une relative stabilité durant au moins une saison et correspond assez bien à l’échelle de temps non événementielle qui est celle de ce travail (**Morton et Speed 1998, Thornton, Sallenger et al. 2006**).

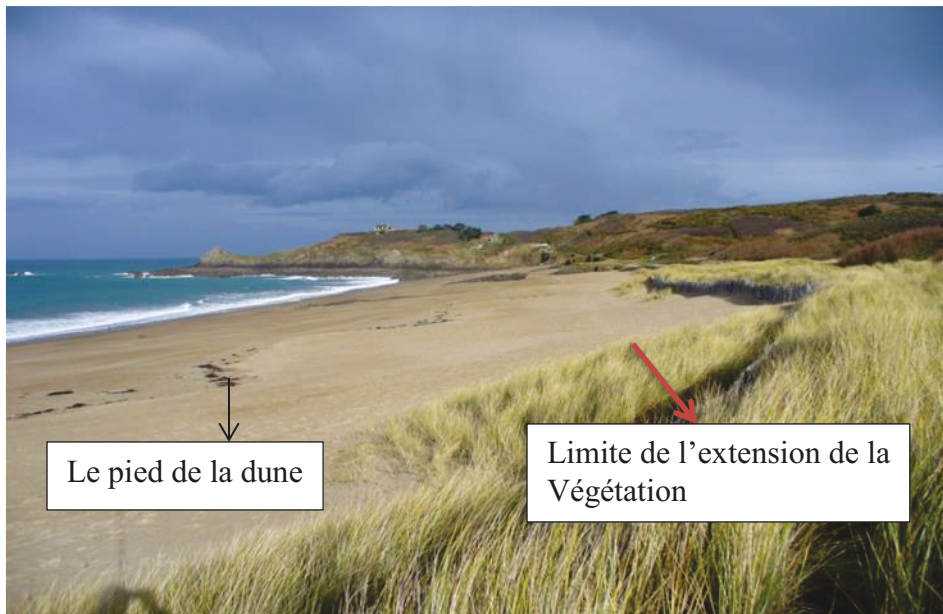


Figure 60 : Anse du Verger 2010

II.1.2. Les côtes à falaises rocheuses

On définit le trait de côte sur la falaise comme la ligne qui sépare la falaise et l’estrans. Plusieurs indicateurs peuvent être utilisés comme la rupture de pente, la limite inférieure de végétation terrestre, le pied de falaise. Le problème de cet indicateur géomorphologique est qu’il est régulièrement battu par les vagues ce qui provoque un déplacement des matériaux d’une part et la construction d’accumulations provisoires de ces matériaux ailleurs le long de trait de côte. Cela provoque des distorsions ponctuelles et éphémères de la forme de trait de côte et cela rend

difficile d'en interpréter les mouvements. Le sommet de la falaise, quant à lui est une rupture de pente matérialisée quelque fois par une limite de végétation. Il apparaît parfois en couleur claire quand elle est dénudée ou foncée à cause de l'ombre du versant. De plus la végétation ne se distingue pas toujours aussi bien suivant les saisons. Cependant dans le cadre de cette étude on a pris cet indicateur pour tracer le trait de côte



Figure 61 : Anse du Verger après la tempête de 2008

II.1.3. Les marais maritimes

Deux indicateurs de trait de côte sont préconisés dans les marais maritimes

- 1- La limite inférieure de la slikke qui présente la partie inférieure du marais et est constituée de vase nue
- 2- La limite supérieure du schorre qui présente la partie la plus élevée du marais et est colonisée par la végétation

Dans ce travail la limite schorre/slikke a été la plus part du temps choisie car c'est celle qui apparait comme la plus mobile. Ponctuellement, dans le cas d'une dune progradant sur un schorre (Rothéneuf) c'est la limite de la végétation dunaire qui a été choisie.



Figure 62 : baie de Lancieux (réalisation Haya Mahmoud 2014)

II.1.4. Les côtes artificialisées

Ce sont les portions de côtes où les ouvrages durs sont présents sur l'estran ou sur le haut de la plage. Deux types d'ouvrages existent, des ouvrages longitudinaux (digues –murs) et transversaux (épis). Les indicateurs du trait de côte sont

- 1- La limite côte terre d'un ouvrage de protection (**Moore, Benumof et al. 1999**)
- 2- Le sommet des ouvrages de protection

Dans ce travail la limite a été fixée à la base, côté mer, de l'ouvrage de protection.

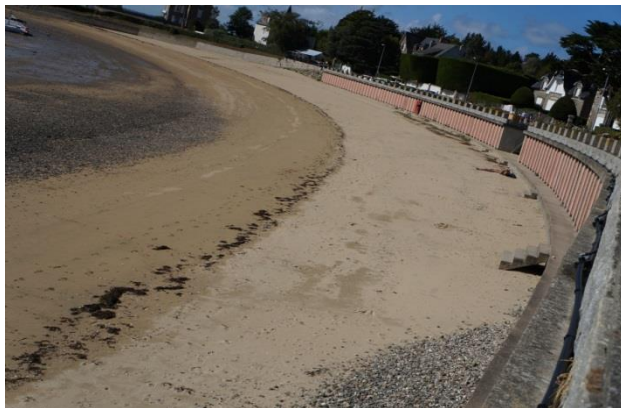
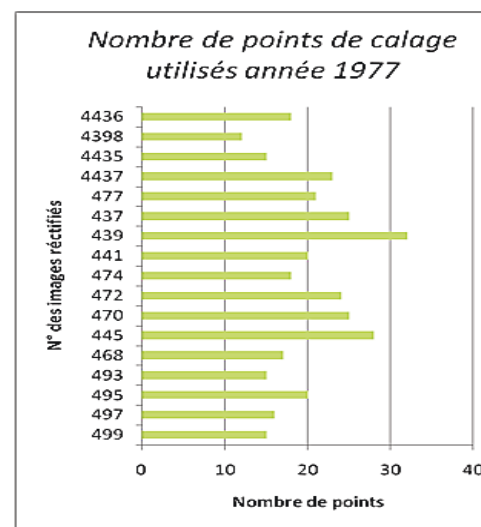
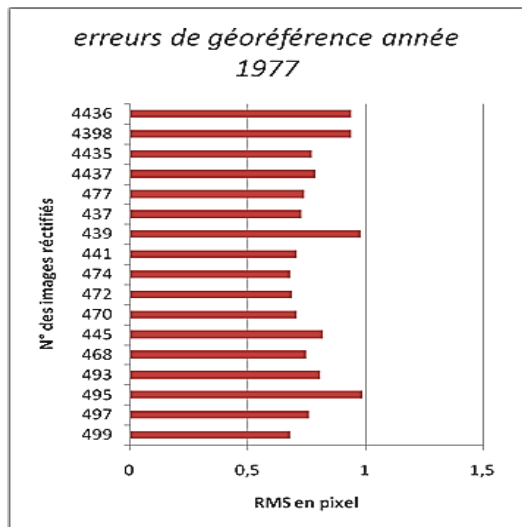
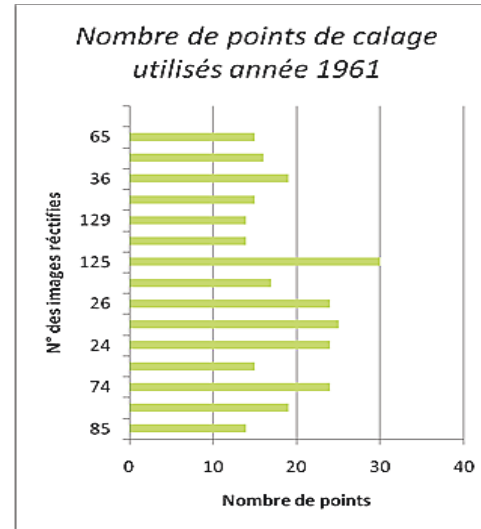
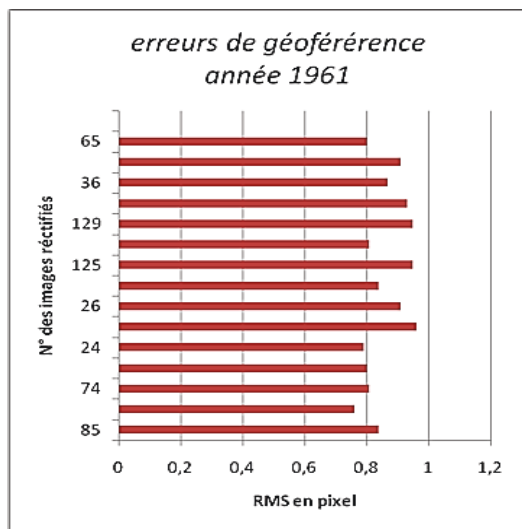
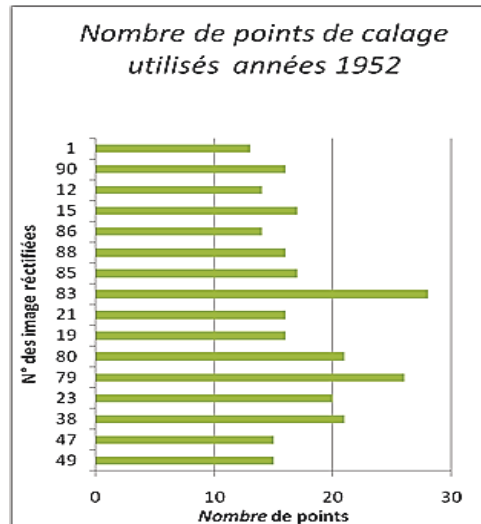
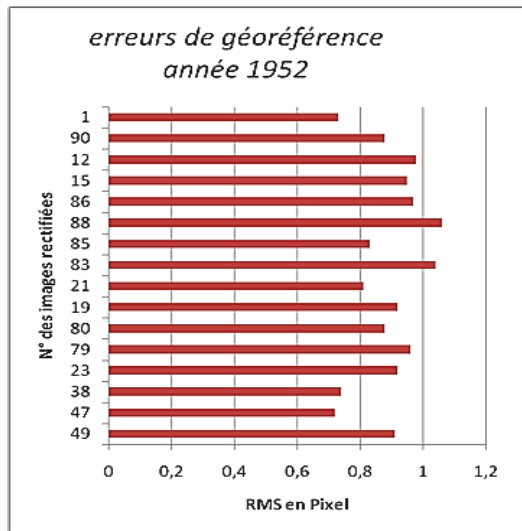


Figure 63 : Ouvrage dur sur le haut de la plage (côte artificielle Saint Briac 1 Octobre 2012)



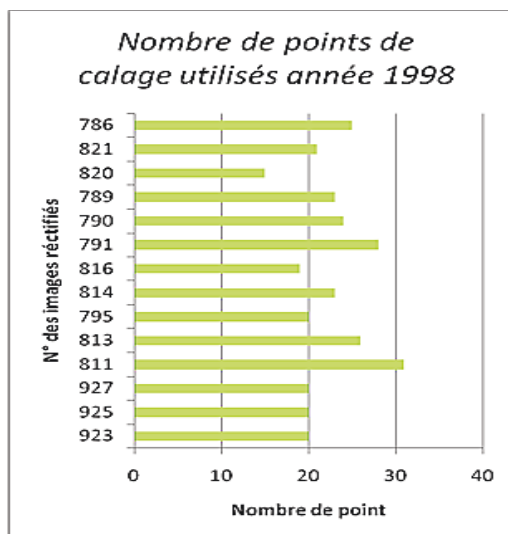
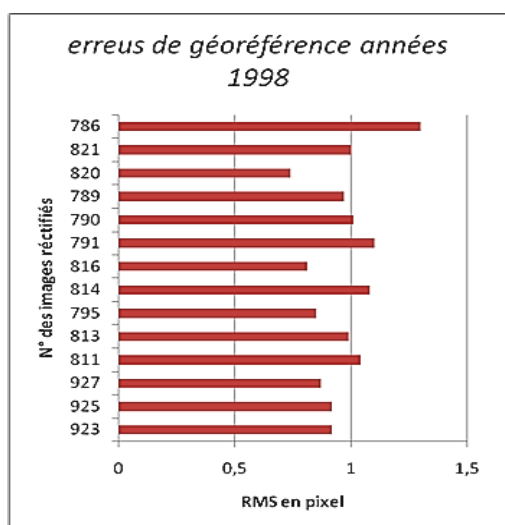
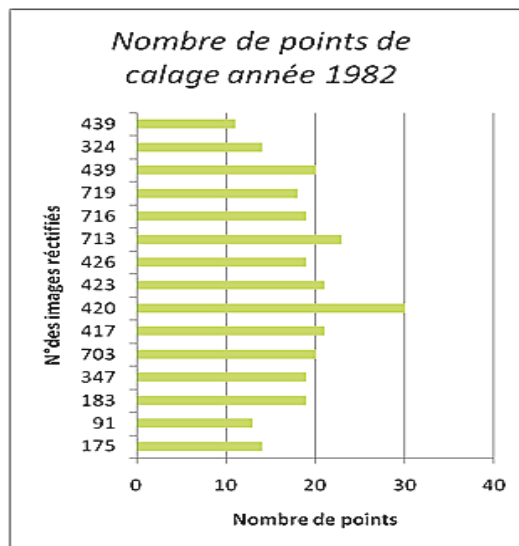
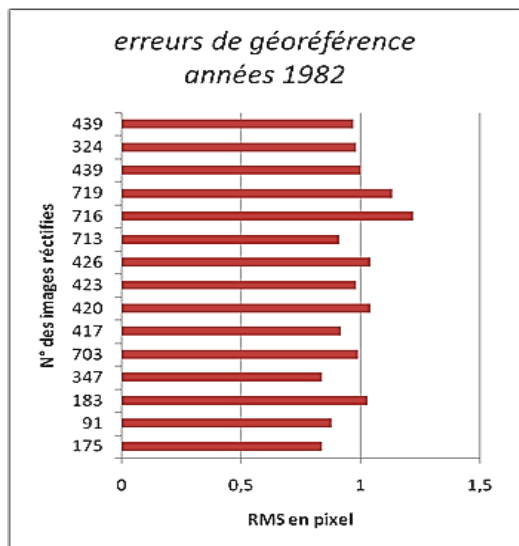


Figure 64 : Erreurs RMS liées au géoréférencement des photos aériennes utilisées pour l'analyse de l'évolution du trait de côte

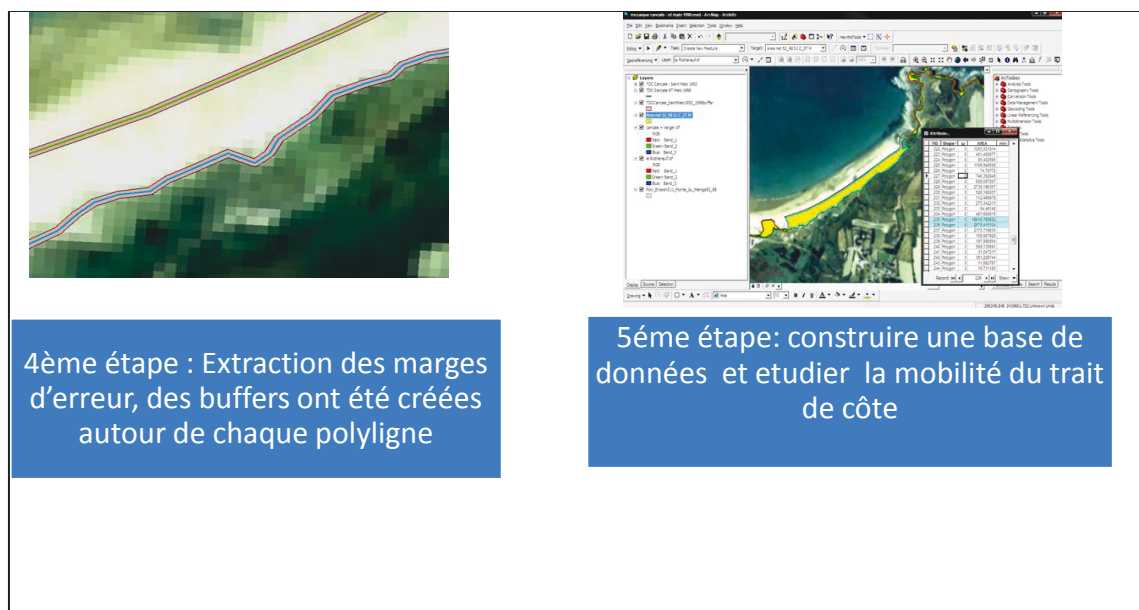
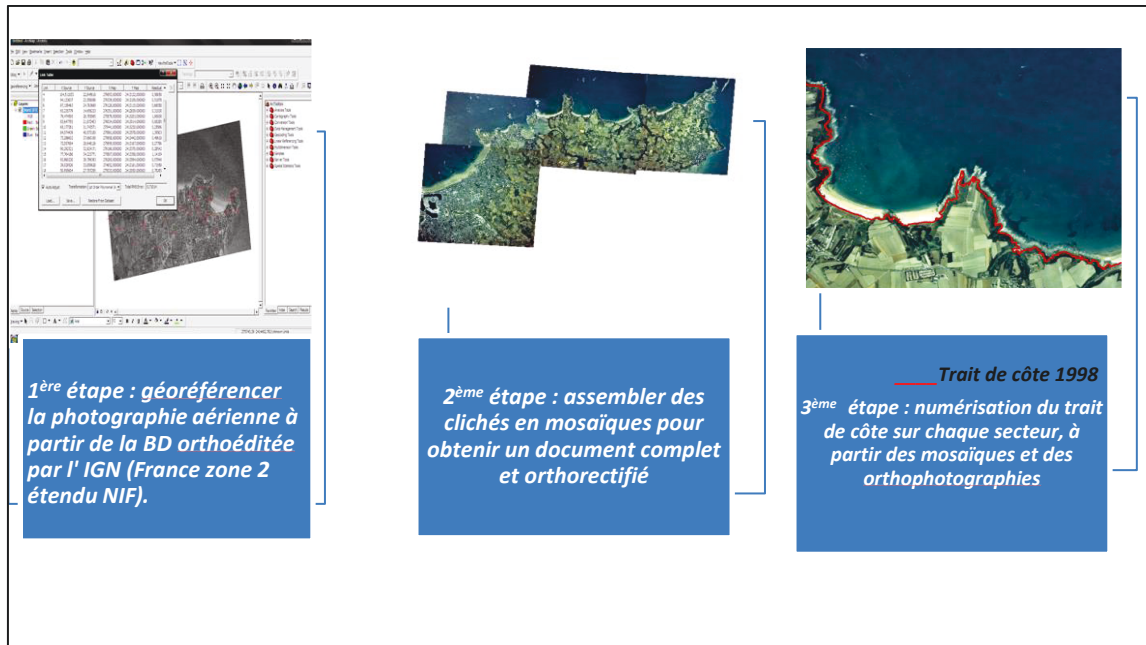


Figure 65 : Schéma synthétisant les différentes étapes effectuées pour cartographier la mobilité de trait de côte

II.2. Extraction de marge d'erreur

Durant la saisie des points de calage, le logiciel génère un rapport qui indique tous les paramètres utilisés pour le calcul des nouvelles coordonnées et l'erreur moyenne quadratique (*Root Square Error, RMSE*). Cette erreur (figure 62) indique l'incertitude de positionnement provoquée par la transformation pour chaque point.

Elle est liée à la précision de localisations des points de calage, à la qualité des données de base, à la rectification ou au redressement des photographies aériennes.

Selon plusieurs auteurs, le positionnement du trait de côte au moment de la phase de numérisation par un opérateur peut être extrêmement variable dans le temps (**Durand 2000, Faye 2010**). Cette précision dépend de la perception de l'information par la personne à un moment donné et de certains paramètres techniques tels que l'échelle de travail ou de numérisation, la luminosité de l'écran et la qualité du support (bon niveau de gris, bonne couleur ou bonne radiométrie).

Ces nombreux facteurs affectent la numérisation de trait de côte et donnent ainsi des sources supplémentaire d'erreurs, mais selon (**Ruggiero, Kaminsky et al. 2003**). Il n'existe aucune méthode objective pour estimer ces paramètres qui font partie des erreurs aléatoires.

La marge d'erreur globale

L'erreur globale est le résultat du cumul de l'ensemble des erreurs qui ont été estimées (calage des images, positionnement de l'indicateur du trait de côte). Elle est définie par date et par secteur d'étude avant tout calcul des taux d'évolution du littoral. Il est essentiel que la méthode retenue pour calculer les marges d'erreurs permette d'éliminer les secteurs aberrants (**Fletcher, Rooney et al. 2003**).

Dans cette étude, sur certaines missions l'interprétation de limite morphologique du phénomène étudié est difficile à lire ou à tracer. La limite de végétation sur le sommet de falaise ou sur les effondrements est parfois illisible et cela implique un problème de décalage entre photos successives.

Une fois les valeurs maximales des marges d'erreur identifiées des buffers (**Pian 2010**) ont été créées autour de chaque polygone. Les buffers ont une dimension égale à la valeur de l'incertitude associée à la position du trait de côte. Ainsi quand on extrait des polygones représentant les mouvements de la ligne côtière entre deux dates données, tous les mouvements dont l'amplitude est inférieure aux marges d'erreur (buffers) sont supprimés des couches servant de base à l'analyse.

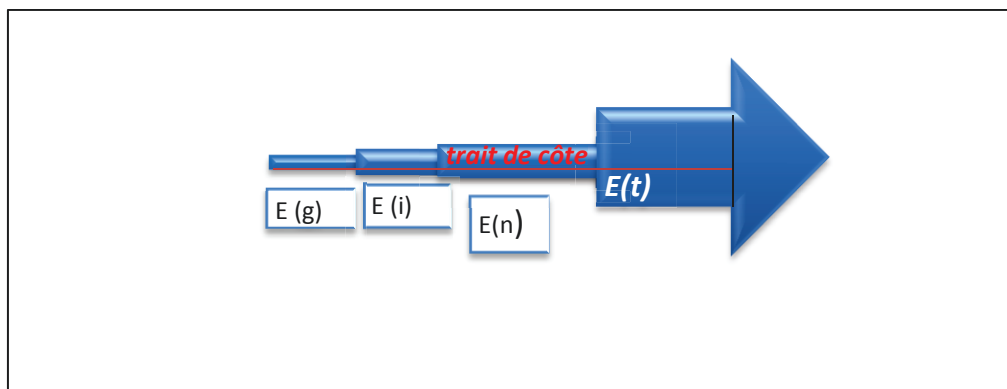


Figure 66 : Schéma synthétisant les différentes erreurs dans la zone d'étude.

Erreur (g) : Erreur liée au Georéférencement des images ou des photos aériennes (RMS). Erreur (i) : Erreur liée à l'interprétation, Erreur (n) : Erreur liée à la numérisation du trait de côte Erreur (t) : Erreur totale

Année	Erreur (g) en m	Erreur (i) en m	Erreur (n) en m	Erreur (t) en m
Secteur 1 pointe de Grouin – Saint Malo				
1952	0.82	0.60	0.70	2
1961	0.80	0.58	0.62	2
1977	0.79	0.54	0.58	1.92
1982	0.90	0.5	0.74	2.14
1998	0.93	0.5	0.77	2.2
2010	**	0.5	0.5	1

Année	Erreur (g) en m	Erreur (i) en m	Erreur (n) en m	Erreur (t) en m
Secteur 2 Dinard – Saint Briac				
1952	0.90	0.58	0.80	2.3
1961	0.91	0.55	0.76	2.3
1977	0.72	0.5	0.66	1.88
1982	0.98	0.65	0.80	2.5
1998	0.96	0.6	0.98	2.40
2010	**	0.5	0.5	1

Année	Erreur (g) en m	Erreur (i) en m	Erreur (n) en m	Erreur (t) en m
Secteur 3 Saint Briac – Cap Fréhel				
1952	0.91	0.6	0.66	2.17
1961	0.87	0.5	0.70	2.07
1977	0.84	0.45	0.70	2
1982	1.04	0.70	0.86	2.6
1998	1	0.70	0.85	2.55
2008	**	0.3	0.5	0.8

Tableau 2 : Estimation des marges d'erreurs

Erreur (g) : *Erreur liée au Georéférencement des images ou des photos aériennes (RMS)*

Erreur (i) : *Erreur liée à l'interprétation selon la qualité du contraste de couleurs.*

Erreur (n) : Erreur liée à la numérisation du trait de côte

Erreur (t) : Erreur totale

II.3. Production de la couche d'information

Sur chaque image corrigée, la ligne de référence a été digitalisée de manière à produire une information vectorielle à partir du logiciel ArcView (10.1). On a créé la classe objet « Trait de côte ». L'information relative au trait de côte est renseignée pour chaque secteur par plusieurs couches en fonction des données disponibles. Cette ligne est associée à une table attributaire.

Pour chaque secteur les polygones (avec buffers) de trait de côte ont été comparées deux à deux. Les variations enregistrées par le trait de côte ont été quantifiées en mesurant les distances séparant les polygones représentant la position de la ligne de rivage à deux dates différentes. La couche d'information est modélisée par des polygones auxquels est associée une table attributaire. L'intersection entre deux lignes permet de fermer les polygones et de calculer, sous ArcView (10.1), les superficies gagnées par progradation ou perdues par érosion. Cette couche de polygones représente l'amplitude des mouvements du trait de côte entre deux dates données et l'ampleur des mouvements observés est exprimée en mètres carrés. (Robin, 2002a). Les zones qui présentaient une tendance positive ou négative homogène ont été regroupées en secteurs. La somme des superficies calculées sur l'ensemble de chaque portion du littoral donne une estimation du bilan sédimentaire sous la forme d'un bilan surfacique.

Synthèse:

Les variations du trait de côte ont été cartographiées et mesurées à partir de l'analyse diachronique de différentes photographies aériennes. Il est important de dire que les mouvements qui sont trop faibles par rapport aux marges d'erreurs maximales ont été supprimés de l'analyse.

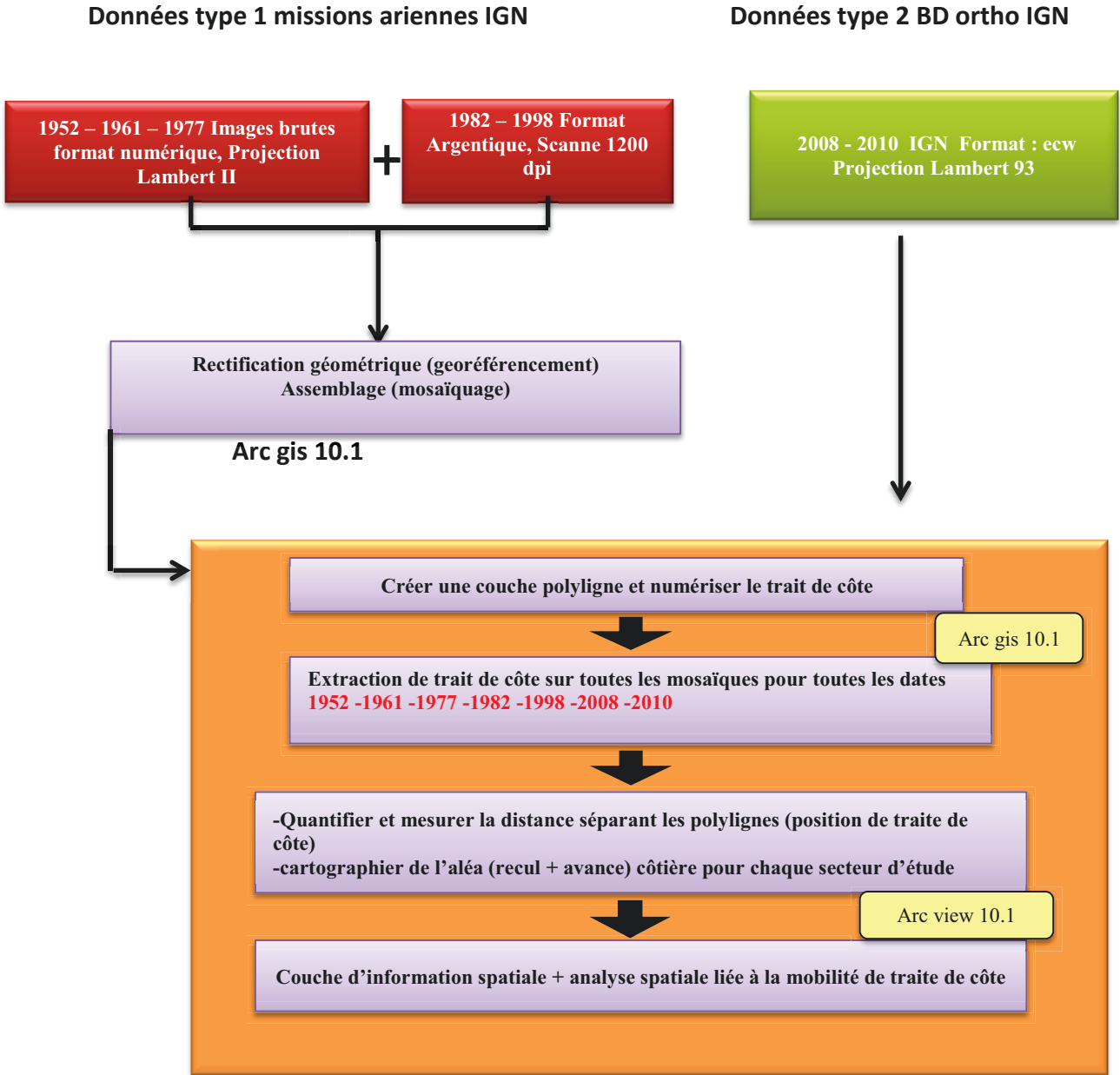


Figure 67 : Diagramme de synthèse des traitements des données

Chapitre 5 : l'analyse locale de la cinématique littorale : évolution significative du linéaire côtier particulièrement des plages

Après avoir présenté les méthodologies utilisées pour l'étude des documents cartographiques et photographiques (chapitre 4), ce chapitre expose les résultats sous forme de tableaux et de cartes des lignes de rivage successifs pour chaque site.

Les statistiques portent à la fois sur des surfaces et sur des polygones. Sur le SIG un polygone correspond de fait à une forme élémentaire. Il est évident que tous les polygones n'ont pas la même surface et qu'il n'y a pas de corrélation simple entre nombre de polygone et surface mesurée. En fait les statistiques de surface permettent de mesurer l'ampleur d'un phénomène tandis que celles qui portent sur les polygones donnent une idée de la fragmentation spatiale du processus, de sa répartition dans l'ensemble des formes élémentaires (petite échelle mentionnée dans l'introduction) qui composent le site.

La comparaison des résultats de l'interprétation des images aériennes utilisées (1952, 1961, 1977, 1982, 1998, 2010) fournit des informations qui permettent d'appréhender le comportement évolutif de la ligne côtière durant 58 ans. Cette étude montre aussi une variation de l'évolution du trait de côte, selon les périodes, mais aussi sous l'effet des activités humaines qui seront étudiées ultérieurement.

Les sites présentés ici sont majoritairement des secteurs de plage/dune car ce sont eux qui bougent le plus. Un exemple de vasière (avec les limites que l'absence de certaines photos implique) est rapidement évoqué et un exemple de mobilité de falaise dure aussi. Il convient de considérer que la « mobilité » de ces formes n'est pas absolument comparable à celle des dunes.

I. Cinématique locale du trait de côte au sein du secteur 1 sur chaque système côtier

1.1 système plage dune secteur 1:

Anse du Verger

Dans le chapitre trois, nous avons noté une dégradation significative du front de végétation sur les dunes de Verger, liée à l'extraction de sable des dunes en 1961 pour le barrage de la Rance. Dans l'est de l'Anse la falaise taillée dans un matériel particulièrement meuble, régresse sur une superficie de **686.57 m²** entre 1961-1977.

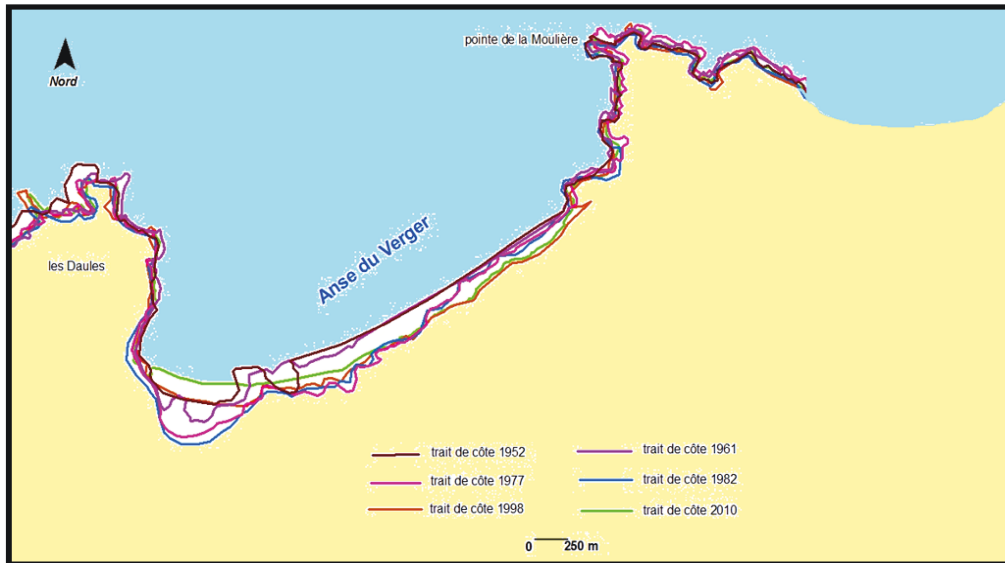


Figure 68 : cinématique du trait de côte, Anse du Verger

Au cours de la période 98-2010, le comportement évolutif de la position de la ligne de trait de côte s'est légèrement modifié, tout le site est en progradation dans tous les segments, alors que dans les périodes antérieures (77-82, 82-98) le littoral présentait toujours une succession de segments ou de polygones en érosion et en progradation.

Anse du Verger						
Recul du trait de côte 52-61				Avance du trait de côte 52-61		
Catégorie	No de polygone	Surface m ²	M ² /an	No de polygone	Surface m ²	M ² /an
Dune	3	3437.64	318.69	1	1615.72	179.52
F meuble	0	0	0	0	0	0
Recul du trait de côte 61-77				Avance du trait de côte		
Catégorie	No de polygone	Surface m ²	M ² /an	No de polygone	Surface m ²	M ² /an
Dune	2	18477.81	1154.86	0	0	0
F meuble	1	686.57	42.91	0	0	0
Recul du trait de côte 77-82				Avance du trait de côte		
Catégorie	No de polygone	Surface m ²	M ² /an	No de polygone	Surface m ²	M ² /an
Dune	4	1396.93	279.38	5	659.795	131.95
F meuble	1	116.613	23.32	0	0	0
Recul du trait de côte 82-98				Avance du trait de côte		
Catégorie	No de polygone	Surface m ²	M ² /an	No de polygone	Surface m ²	M ² /an
Dune	1	60.42	3.77	5	3714.91	232.18
F meuble	1	5487.45	342.96	0	0	0
Recul du trait de côte 98 -2010				Avance du trait de côte		
Catégorie	No de polygone	Surface m ²	M ² /an	No de polygone	Surface m ²	M ² /an
Dune	0	0	0	4	6788.36	565.69
F meuble	0	0	0	6	653.74*	54.47
Recul du trait de côte 52-2010				Avance du trait de côte		
Catégorie	No de polygone	Surface m ²	M ² /an	No de polygone	Surface m ²	M ² /an
Dune	2	16024.01	276.27	2	4552.6	78.49
F meuble	*			0	0	0

Tableau 3: synthèse des évolutions du trait de côte au sein de l'Anse du Verger



Figure 69 : photo et table d'attributs de la surface érodée entre 1952-1977 Anse du Verger (L'unité d'Area : m²)

Sur la falaise meuble depuis 1998 il s'agit d'une reconquête végétale suite à la suppression du chemin au sommet. Sur le terrain la falaise continue cependant ponctuellement à reculer.



Figure 70 : position de trait de côte 1952-2010 Anse du Verger

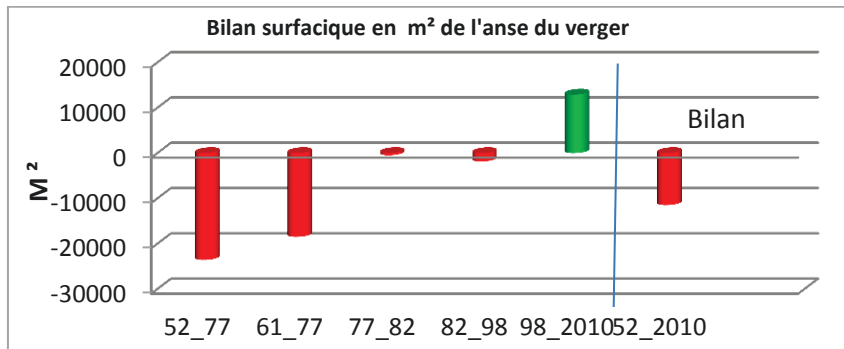


Figure 71 : graphique de bilan surfacique de l'Anse du Verger

Anse du Guesclin : Une première phase marquée par une érosion entre 1952 et 1961 est suivie d'une phase d'érosion plus marquée de 1961 à 1977. La superposition des lignes en érosion concerne tout le linéaire côtier sur tous les périodes considérées, sauf la période de restauration entre 1982-1998, voir la carte 72 et le tableau 4.

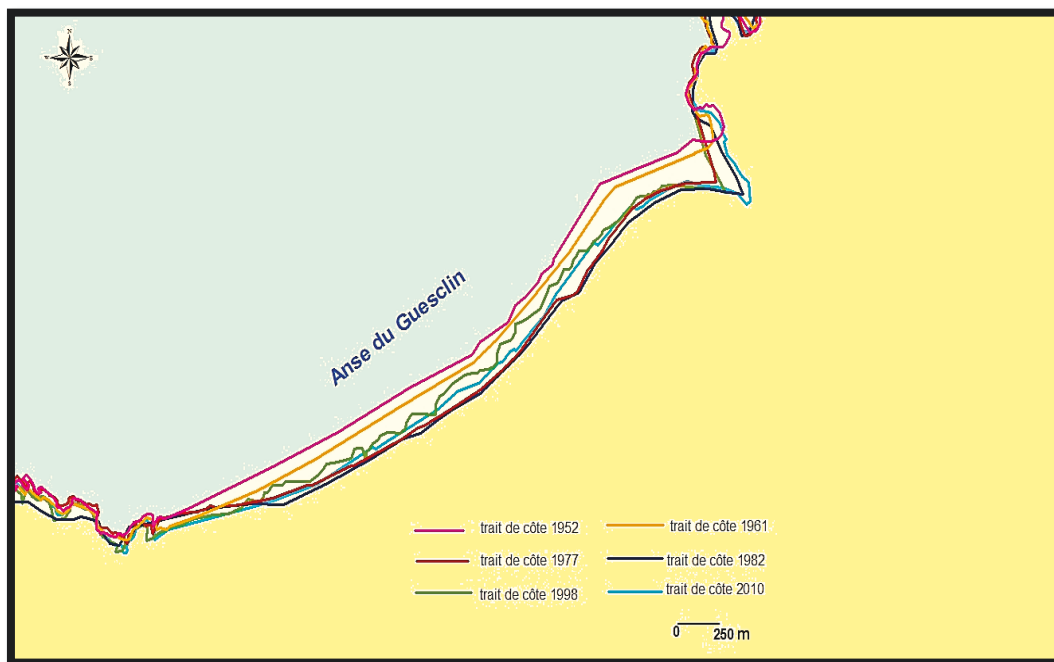
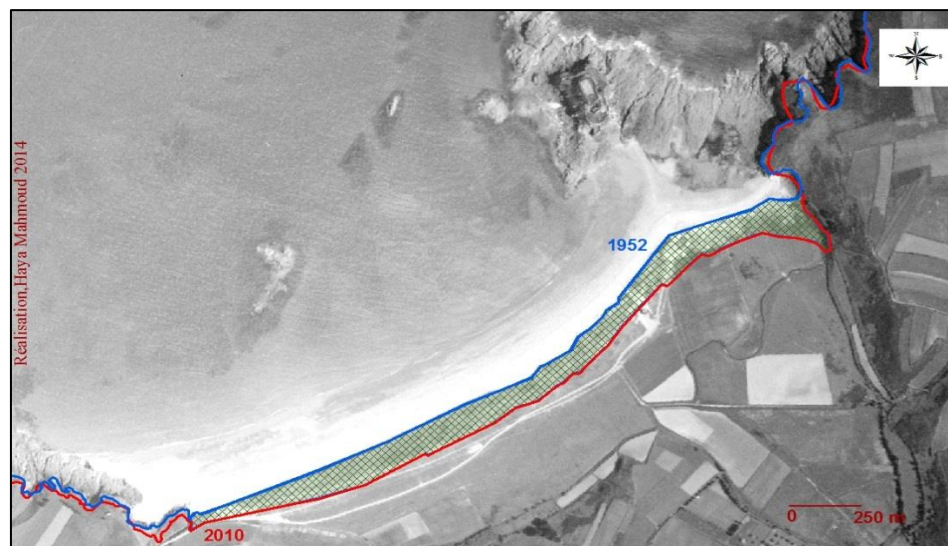


Figure 72 : Carte, position de trait de côte Anse du Guesclin

Anse du Guesclin						
Recul de trait de côte 52-61				Avance du trait 52-61		
Catégorie	No de polygone	Surface m ²	M ² /an	No de polygone	Surface en m ²	M ² /an
Dune	1	12350.04	1372.22	0	0	
Recul de trait de côte 61-77				Avance du trait 61-77		
Catégorie	No de polygone	Surface m ²	M ² /an	No de polygone	Surface en m ²	M ² /an
Dune	1	30215.07	1888.44	1	559.89	
Recul de trait de côte 77_82				Avance du trait 77-82		
Catégorie	No de polygone	Surface m ²	M ² /an	No de polygone	Surface en m ²	M ² /an
Dune	5	4392.86	878.57	0	0	
Recul de trait de côte 82_98				Avance de trait 82-98		
Catégorie	No de polygone	Surface m ²	M ² /an	No de polygone	Surface en m ²	M ² /an
Dune	1	1297.21	81.07	3	15193.43	
Recul de trait de côte 98-2010				Avance de trait 98-2010		
Catégorie	No de polygone	Surface m ²	M ² /an	No de polygone	Surface en m ²	M ² /an
Dune	9	5576.71	464.72	0	0	
Recul de trait de côte 52-2010				Avance de trait 52-2010		
Catégorie	No de polygone	Surface m ²	M ² /an	No de polygone	Surface en m ²	M ² /an
Dune	1	45342.14	781.76	0	0	0

Tableau 4 : synthèse des évolutions du trait de côte au sein du Anse du Guesclin

Durant les cinquante-huit années couvertes par notre analyse, le cordon dunaire d'Anse du Guesclin aurait perdu sur son front maritime une superficie nette de **4532.14 m²**.



FID	Shape *	Id	Area	categorie	mouvement
0	Polygon	1	45342,140498	dune vegetalisee	recul

Figure 73 : Superficie perdue du massif dunaire de l’Anse du Guesclin entre 1952-2010

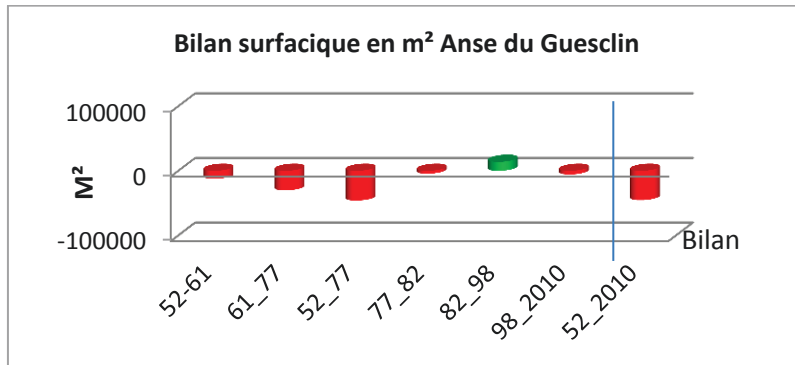


Figure 74 : graphique de bilan surfacique pour les massifs dunaires de l’Anse du Guesclin

Plage de la Touesse : le comportement du littoral est dominé par des phénomènes d’accrétion. Le total des surfaces concernées par une progression du front dunaire est estimé à **1505.23m²**.

Quelques poches d’érosion cependant, bien localisées, sont visibles le long du massif dunaire.

Ces observations indiquent que la dynamique sédimentaire au sein des massifs dunaires n’est pas homogène et qu’il peut y avoir à la fois une progression significative en surface, des espaces végétalisés, et des polygones d’érosion.

Plage de Touesse						
Recul de trait de côte 52-61				Avance du trait 52-61		
Catégorie	No de polygone	Surface en m²	M²/an	No de polygone	Surface en m²	M²/an
Dune	2	551.35	61.26	1	72.93	8.10
Recul de trait de côte 61-77				Avance du trait 61-77		
Catégorie	No de polygone	Surface en m²	M²/an	No de polygone	Surface en m²	M²/an
Dune	0	0	0	3	4614.77	288.42
Recul de trait de côte 77_82				Avance du trait 77-82		
Catégorie	No de polygone	Surface en m²	M²/an	No de polygone	Surface en m²	M²/an
Dune	1	2964.25	592.8	0	0	0
Recul de trait de côte 82_98				Avance de trait 82-98		
Catégorie	No de polygone	Surface en m²	M²/an	No de polygone	Surface en m²	M²/an
Dune	1	1032.50	64.53	0	0	0
Recul de trait de côte 98-2010				Avance de trait 98-2010		
Catégorie	No de polygone	Surface en m²	M²/an	No de polygone	Surface en m²	M²/an
Dune	0	0	0	5	114.02	9.50
Recul de trait de côte 52-2010				Avance de trait 52-2010		
Catégorie	Nb de polygone	Surface en m²	M²/an	Nb de polygone	Surface en m²	M²/an
Dune	1	1217.03	20.98	1	1505.23	25.95

Tableau 5 : synthèse des évolutions du trait de côte au sein de la plage de la Touesse

Dunes des Chevrets : Pour ce site, l'évolution du trait de côte se manifeste par une alternance de segments en érosion et en progradation. Les chiffres de tableau suivant signifient que les sites marqués par un recul du trait de côte sont quasiment aussi fréquents que les sites associés à une progradation du front dunaire, mais ils concernent des surfaces plus vastes au cours les années 1977-1982 et 1982-1998 et entre 1952-2010 où le total des surfaces érodées est de 7207.92 m².

Dunes des Chevrets						
Recul de trait de côte 52-61				Avance du trait 52-61		
Catégorie	Nb de polygone	Surface m²	M²/an	Nb de polygone	Surface en m²	M²/an
Dune	0	0	0	3	579.92	64.34
Recul de trait de côte 61-77				Avance du trait 61-77		
Catégorie	Nb de polygone	Surface m²	M²/an	Nb de polygone	Surface en m²	M²/an
Dune	1	113.66	7.10	5	3033.88	189.61
Recul de trait de côte 77_82				Avance du trait 77-82		
Catégorie	Nb de polygone	Surface m²	M²/an	Nb de polygone	Surface en m²	M²/an
Dune	8	6077.86	1215.57	0	0	0
Recul de trait de côte 82_98				Avance de trait 82-98		
Catégorie	Nb de polygone	Surface m²	M²/an	Nb de polygone	Surface en m²	M²/an
Dune	9	5999.37	374.96	0	0	0
Recul de trait de côte 98-2010				Avance de trait 98-2010		
Catégorie	Nb de polygone	Surface m²	M²/an	Nb de polygone	Surface en m²	M²/an
Dune	1	4309.05	359.08	10	5616.73	468.06
Recul de trait de côte 52-2010				Avance de trait 52-2010		
Catégorie	Nb de polygone	Surface m²	M²/an	Nb de polygone	Surface en m²	M²/an
Dune	2	7207.92	124.72	1	330.34	5.69

Tableau 6 : synthèse des évolutions du trait de côte au sein des dunes des Chevret

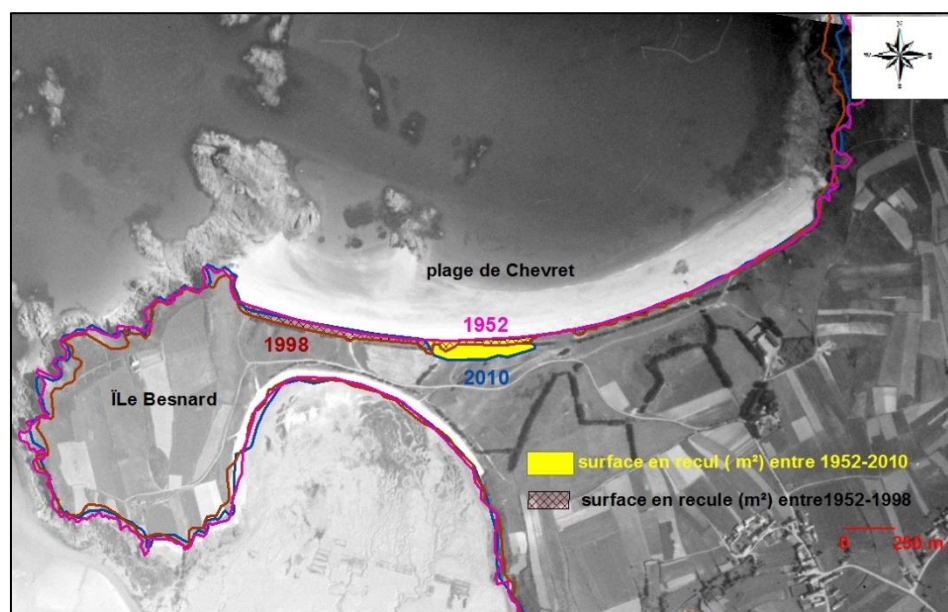


Figure 75 : Position du trait de côte 1952-1998-2010 et des surfaces perdues, plage des Chevrets

FID	Shape *	Id	AREA	categorie	mouvement
0	Polygon	1	239,202894	dune vegetalisee_plage	recul
1	Polygon	1	82,885128	dune vegetalisee_plage	recul
2	Polygon	1	28,896399	dune vegetalisee_plage	recul
3	Polygon	1	74,962396	dune vegetalisee_plage	recul
4	Polygon	1	6094,19932	dune vegetalisee_plage	recul
5	Polygon	1	70,510057	dune vegetalisee_plage	recul
6	Polygon	1	10,829271	dune vegetalisee_plage	recul

Figure 76 : Table d'attribut pour les surfaces dunaires en recul 1952-1998 dunes des Chevrets

FID	Shape *	Id	Area	categorie	mouvement
0	Polygon	2	7022,920924	dune vegetalisee	recul
1	Polygon	2	184,092116	dune vegetalisee	recul

Figure 77 : Table d'attribut pour les surfaces dunaires en recul 1952-2010 dunes des Chevrets

L'unité d'Area : m²

Les dunes des Chevrets enregistrent un gain sédimentaire pour plusieurs périodes mais ont conservé un bilan général négatif pour l'ensemble de la période 52-2010.

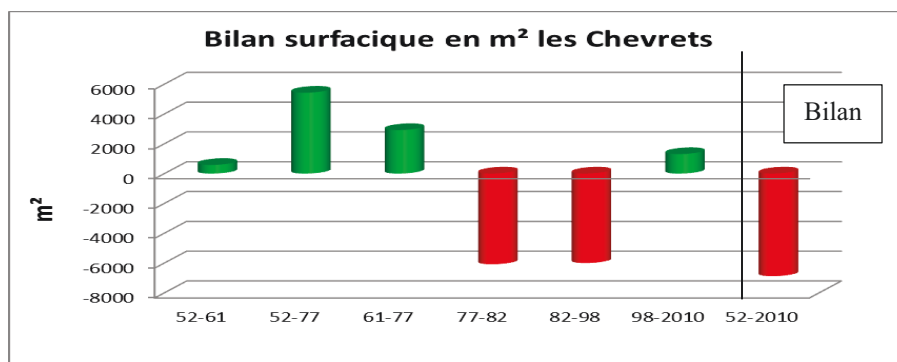


Figure 78: graphique de bilan surfacique pour les massifs dunaires

I.1.2. Système falaise secteur 1

Système falaise meuble : Pointe de la Varde

La pointe de la Varde est un site artificialisé depuis le 19^{ème} siècle. Aucune carte précise n'est disponible mais il semble d'après les cartes générales que cette pointe était munie d'une batterie d'artillerie pour fermer l'entrée à St Malo depuis Chausey. Pendant la seconde guerre mondiale la pointe abrite une batterie allemande.

Lors de la construction de la plateforme d'artillerie des blocs de roche en place sont mis en place autour de la dune afin de la protéger. Il semble (mais sans document ni carte précise) que les bombardements alliés de 1944 aient touché le site. Il est alors possible que les blocs écroulés et enfouis dans la dune sub actuelle en soient les témoins car ils portent, ponctuellement, des traces d'impacts forts et réduits en taille (Figure 79).



Figure 79 : blocs de roche autour des dunes, plage de la Varde, 2015

Après la guerre un établissement de viviers s'installe. Un bâtiment axé nord-sud est installé sur la pointe (figure 80) et une prise d'eau descend sur la plage. Le niveau relatif de l'eau à marée haute de vive eau moyenne est maintenu avec des travaux sur le profil de plage. La dune sert, occasionnellement de parking, pour les camions venant charger des marchandises. Elle est artificiellement renforcée.

Depuis 2015, le vivier est fermé, le site est protégé, le vivier ne fonctionne plus et l'évolution géomorphologique va-probablement- prendre un tour nouveau : plus de prélèvements d'eau, plus de renforcement ou d'enrochement de la dune... Toutes les décisions au sujet de ce site ne sont pas arrêtées.



Figure 80 : Plage de la Varde et ses dunes grimpantes

Plage de la Varde						
Recul de trait de côte 52-61				Avance du trait 52-61		
Catégorie	Nb de polygone	Surface m ²	M ² /an	Nb de polygone	Surface en m ²	M ² /an
Dune	0	0	0	0	0	0
Recul de trait de côte 61-77				Avance du trait 61-77		
Catégorie	Nb de polygone	Surface m ²	M ² /an	Nb de polygone	Surface en m ²	M ² /an
Dune	1	2864.86	179.05	1	55.60	3.47
Recul de trait de côte 77_82				Avance du trait 77-82		
Catégorie	Nb de polygone	Surface m ²	M ² /an	Nb de polygone	Surface en m ²	M ² /an
Dune	1	1427.57	285.51	0	0	0
Recul de trait de côte 82_98				Avance de trait 82-98		
Catégorie	Nb de polygone	Surface m ²	M ² /an	Nb de polygone	Surface en m ²	M ² /an
Dune	0	0	0	1	4395.42	274.71
Recul de trait de côte 98-2010				Avance de trait 98-2010		
Catégorie	Nb de polygone	Surface m ²	M ² /an	Nb de polygone	Surface en m ²	M ² /an
Dune	3	218.89	18.24	1	38.26	3.21
Recul de trait de côte 52-2010				Avance de trait 52-2010		
Catégorie	Nb de polygone	Surface m ²	M ² /an	Nb de polygone	Surface en m ²	M ² /an
Dune	4	392.90	6.77	0	0	0

Tableau 7 : synthèse des évolutions du trait de côte au sein de plage de la Varde

I.1.3. Système falaise dure, secteur 1 :

On va prendre un exemple la pointe du Meinga et la pointe des Grands Nez qui sont principalement constituées d'un système de falaises dures. Elles sont soumises à d'importants processus d'érosion sur leurs portions exposées aux houles du Nord-Est (houles d'anticyclone). Elles représentent au total plus de 19223.09 m² sur les façades nord-est de l'ensemble des deux pointes.

Recul du trait de côte 1952-2010			
	Orientation	Nb de polygones	Surface en m ²
Pointe du Meinga	Nord- Est	13	10829.39
	Nord-Ouest	4	676.95
pointe du Grande Nez	Nord- Est	33	8393.72
	Nord-Ouest	2	24.73
Avance de la limite de végétation 1952-2010			
	Orientation	Nb de polygone	Surface m ²
Pointe du Meinga	Nord- Est	5	2201.96
	Nord-Ouest	9	12591.41
pointe du Grande Nez	Nord- Est	3	233.81
	Nord-Ouest	4	2531.87

Tableau 8 : l'évolution du trait de côte, pour le système falaise dure entre 1952-2010 S1 (pointe des Grands Nez et pointe du Meinga)

Par contre, les valeurs les plus faibles d'érosion se situent principalement sur la façade nord – ouest où il ya des polygones qui présentent l'avancement de la limite des végétations continentales colonisant le sommet de ces falaises.



Figure 81 : l'évolution du trait de côte, pour le système falaise dure entre 1952-2010 S1 (pointe des Grands Nez et pointe de Meinga)

1 : falaise meuble ; 2 : falaise dure, 3 : polygones en recul, 4 : polygones en avancée (les limites de végétations continentales sur les falaises dures)

Il convient de préciser que ces falaises sont colonisées par une végétation de type végétations basses ou type lande pelouse.

I.2. Cinématique du trait de côte au sein du secteur 2 sur chaque système côtier

I.2.1 système plage dune secteur 2

Plage de Port Hue

Espace particulièrement fragile, la dune avait profité d'une première plantation d'oyats, en 1987. 800 mètres de ganivelles ont été posées sur les dunes avec et l'oyat a été plantés sur 7000m²

Les travaux de réhabilitation du site (qui est lié au Golf et encadré par des propriétés privées) ont consisté à restaurer le couvert végétal, à contrôler la circulation motorisée et à canaliser les visiteurs sur des aires de stationnement adaptées. La restauration de la végétation est réalisée par la mise en place de séries de ganivelles associées à la plantation d'oyats sur les zones mises à nu. Ces travaux ont donc permis de revégétaliser le cordon dunaire et de le stabiliser. La plage a gagné **2545.49 m²** de surface au niveau du front dunaire au cours de la période 1952-2010. Actuellement le recul est limité à la partie ouest, à l'entrée de la plage. Pour contrôler cette érosion un rechargement de la plage a eu lieu (date inconnue) et une première rangée de fils barbelés a été mise en place afin de protéger les plants d'oyats qui colonisent tranquillement le pied de la dune.



Figure 82 : Port Hue en 1960



Figure 83 : Port Hue 2010

Plage de Port Hue						
Recul du trait de côte 1952-1961				Avance du trait 1952-1961		
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an
Dune	4	2320.76	257.86	2	127.02	14.11
Recul du trait de côte 1961_1977				Avance du trait 1961-1977		
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an
Dune	0	0	0	2	7024.05	439
Recul du trait de côte 1977_1982				Avance du trait 1977-1982		
Catégorie	No de polygones	Surface en m ²	M ² /an	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an
Dune	4	2464.03	492.80	0	0	0
Recul du trait de côte 1982-1998				Avance du trait 1982-1998		
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an
Dune	1	2812.91	175.80	2	1591.90	99.49
Recul du trait de côte 1998 -2010				Avance du trait 1998-2010		
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an
Dune	0	0	0	1	4470.52	372.54
Recul du trait de côte 1952-2010				Avance du trait 1952-2010		
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an
Dune	0	0	0	3	3507.11	60.46

Tableau 9 : synthèse des évolutions du trait de côte au sein de plage de Port Hue

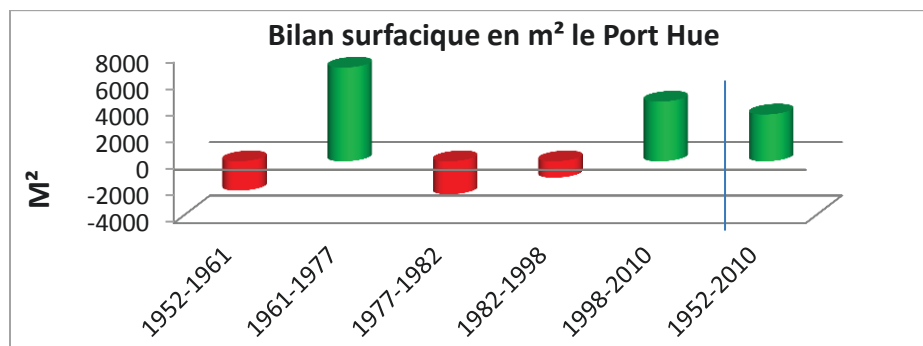


Figure 84: graphique bilan surfacique pour les massifs dunaires de la plage Port Hue

I.2.2. système falaise dure secteur 2

Le comportement du littoral durant cette période est dominé par des phénomènes d'érosion très ponctuelle sur le système falaise dure en particulier à la pointe de Décollé exposée aux houles nord-est et nord-ouest, et à la pointe du Nick exposée aux houles nord-est. Cette érosion est inférieure la marge d'erreur.

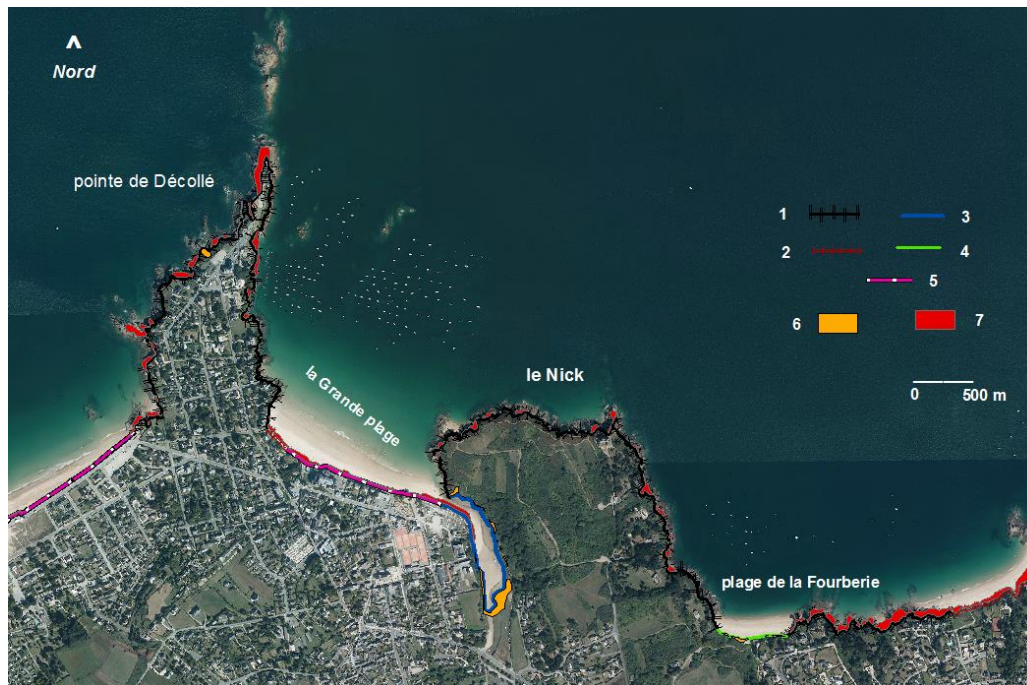


Figure 85 : Carte, l'évolution du trait de côte, pour le système falaise dure entre 1952-2010 S2

1 : système falaise dure, 2 : système falaise meuble ,3 : système vasière, 4 : système plage dune, 5 : plage artificielle, 6 : polygones en accrétion, 7 : polygones en érosion (les limites de Végétations continentale sur les falaises dures)

I.3. Cinématique du trait de côte au sein du secteur 3 sur chaque système côtier

I.3.1 système plage dune secteur 3

Plage des Briantais :

Le massif dunaire enregistre un recul important à partir de l'année 1977 Cette phase de recul souligne l'importance des processus érosifs anthropiques (extraction de sable illégale pour recharger des plages voisines proches du Golf). La concentration du piétinement touristique peut également contribuer à dégrader la dune végétalisée, les formations dunaires apparaissant très souvent dégradées jusqu'à l'année 1982.

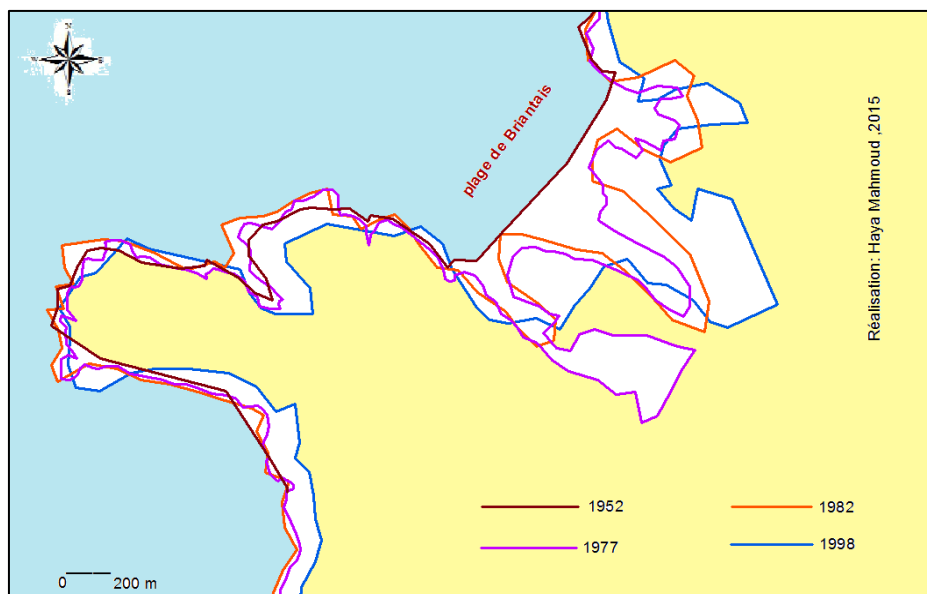


Figure 86 : évolution de trait de côte de la plage des Briantais.



Figure 87 : évolution du trait de côte de la plage des Briantais entre 1952-2008.

Pour la période entre 1998-2008, l'évolution du massif dunaire paraît être dominée par l'importance des processus d'accrétion, la superficie acquise étant de **13882.10 M²**. Le bilan sédimentaire surfacique au sein des dunes est excédentaire pour cette période, mais malgré cette importante acquisition il reste insuffisant pour rattraper l'importance du recul mesuré au cours des périodes précédentes.

Plage des Briantais						
Recul de trait de côte 1952-1977				Avance du trait 1952-1977		
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an
Dune	1	6529.58	261.18	0	0	0
Recul de trait de côte 1977_1982				Avance du trait 1977-1982		
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an
Dune	5	1291.48	258.29	3	1931.05	386.21
Recul de trait de côte 1982_1998				Avance de trait 1982-1998		
Catégorie	No de polygones	Surface en m ²	M ² /an	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an
Dune	3	5355.47	334.71	3	522.23	32.63
Recul de trait de côte 1998-2008				Avance de trait 1998-2010		
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an
Dune	0	0	0	1	13882.10	1156.84
Recul de trait de côte 1952 -2008				Avance de trait 1952-2008		
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an	Nb de polygones	Surface en m ²	M ² /an
Dune	3	842.89	14.53	0	0	0

Tableau 10 : synthèse des évolutions du trait de côte au sein de la plage de Briantais

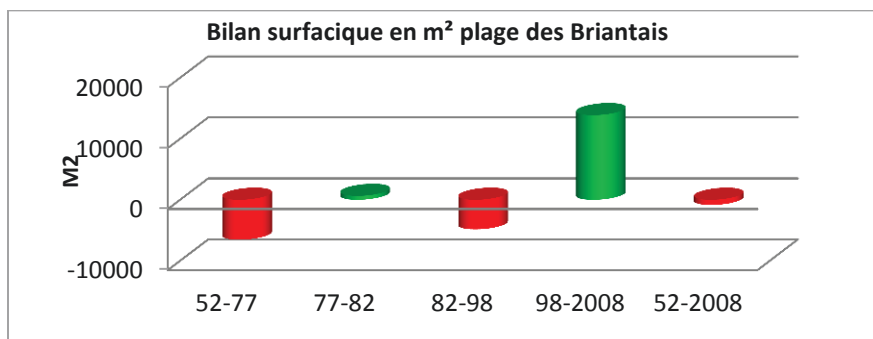


Figure 88 : bilan surfacique pour les massifs dunaires pour la plage des Briantais

I.3.2. système falaise dure secteur 3

Dans ce secteur les falaises les plus fréquemment rencontrées sont les falaises dures, elles sont rocheuses et exposées à l'action de la houle et majoritairement couvertes par une végétation basse et rase, sauf quelques secteurs qui sont colonisées par des formations arborées, A l'inverse, les petites falaises meubles, abritées des houles océanique sont couvertes d'une végétation buissonnante, ou arborée.

Un exemple de type de falaise dure est celui de la pointe de Chevet avec deux façades exposées aux houles et avec la présence de plages de poche comme celle de Rougeret orienté nord-est, et des plages artificialisés comme La Banche et les Haas orientés ouest.

Les polygones les plus nombreux sont ceux qui représentent l'érosion avec une superficie 15322.82 m² (Tableau 11) et ils se situent principalement sur la façade nord est (figure 85) , les polygones qui présentent l'avancement de la limite de végétation se situent sur les façades nord- ouest exposée des houles nord- ouest qui atteignent les rivages avec moins d'énergie à

cause de la présence des deux pointes à l'ouest (pointe de St- Cast et pointe de la Garde) et aussi à cause de la présence des petits îlots comme l' île de la Colombière et la Grand Roche.

Recul du trait de côte 1952-2008			
	Orientation	Nb de polygone	Surface en m ²
Pointe du Chevet	Nord- Est	13	15322.82
	Nord-Ouest	8	574.66
pointe du Bay	Nord- Est	6	45306.58
	Nord-Ouest	—	—
Avance la limite de Végétations continentale 1952-2008			
	Orientation	Nb de polygone	Surface m ²
Pointe du Chevet	Nord- Est	13	1945.66
	Nord-Ouest	17	7025.19
pointe du Bay	Est	4	1286.10
	Ouest	—	—

Tableau 11 : l'évolution du trait de côte, pour le système falaise dure entre 1952-2008 (S3)

Pour les falaises dures entre les plages de Quatre Vaux et de la pointe du Bay, orientées Est la majorité des polygones présente des traces d'érosion 45306.58 m².

Il convient de préciser que cette valeur est inexacte parce que les falaises sont colonisées par une végétation, souvent de type arboré masquant l'évolution du sommet de la falaise.

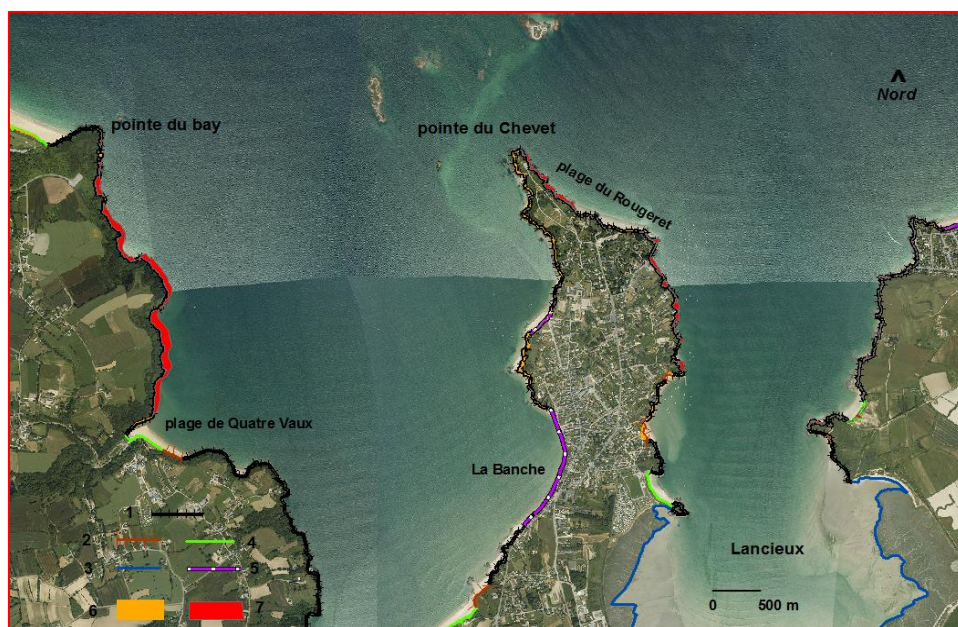


Figure 89 : l'évolution du trait de côte, pour le système des falaises (dure et meuble) 1952-2008 Secteur 3.

1 : système falaise dure, 2 : système falaise meuble ,3 : système vasière, 4 : système plage dune, 5 : plage artificielle, 6 : polygones en accrétion, 7 : polygones en érosion (les limites de Végétations continentale sur les falaises dures)

II. Cartographie des variations du trait de côte pour chaque secteur

L'objectif est d'analyser et de quantifier les résultats obtenus concernant l'évolution du trait de côte (recul – avance) sur le temps (long) 1952 et 2010 et sur le moyen terme avec un intervalle de temps inégaux (1952-1961,1961-1977 ,1977-1982, 1982-1998,1998-2010).

II.1. L'évolution du trait de côte sur le long terme pour le secteur 1 (pointe du Grouin – Saint Malo)

Période 1952-2010 :

Les résultats acquis sur la cinématique des fronts de dune montrent qu'entre 1952 et 2010, le comportement de cette partie de côte est dominé par l'érosion ou le recul sur tout le long du linéaire côtier, tableau 13.

Les surfaces concernées par un recul s'élèvent à 130245.22 m², y compris un 69790 m² du front dunaires Par contre le total des surfaces de progression de front dunaire est seulement de 6388 m². Cela signifie que le bilan surfacique global connaît un déficit sédimentaire (tableau 12).

Année	Erosion	Accrétion	Bilan surfacique sédimentaire (m ²)	Bilan surfacique sédimentaire annuel
1952-1961	16339.04	2268.58	-14070.46	-1563.38
1961-1977	49367.72	8208.55	-41159.17	-2572.44
1977-1982	14831.92	1538.44	-13293.48	-2658.69
1982-1998	8438.98	18908.34	+10469.36	+654.33
1998-2010	9885.76	19155.79	+9270.03	+772.50
1952-2010	69790.20	6388.04	-63402.16	-1093.14

Tableau 12 : évolution du trait de côte dans des massifs dunaires secteur 1.

Le bilan est appelé surfacique sédimentaire car on ne connaît pas l'épaisseur de la couche de sable concernée.

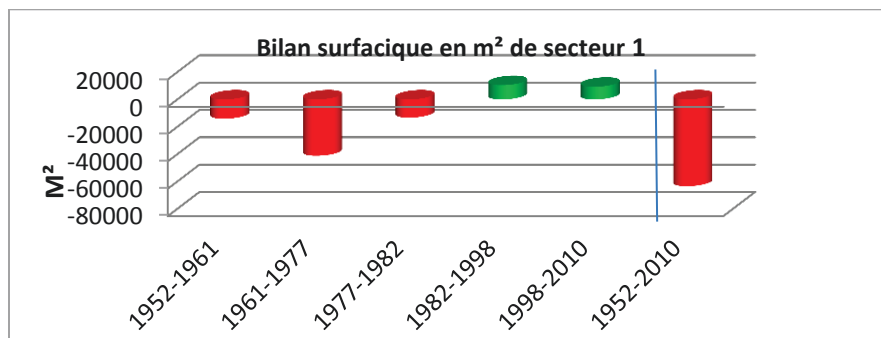


Figure 90: graphique de bilan surfacique pour les massifs dunaires du secteur 1

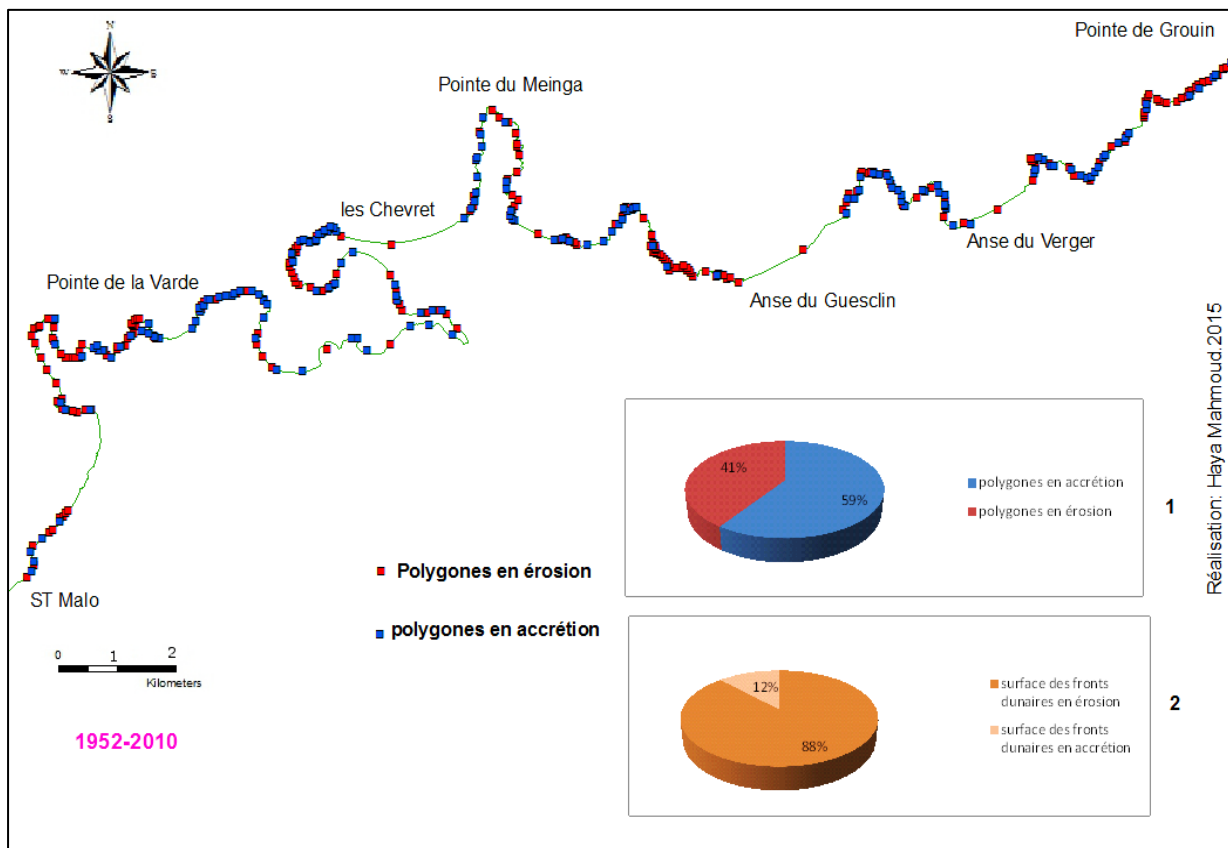


Figure 91 : mouvements du trait de côte au sein du secteur 1 (pointe du Grouin – St Malo) entre 1952-2010

Ces observations indiquent que la dynamique sédimentaire, au sein des massifs dunaires, est globalement négative malgré la présence ponctuelle de progression avec l'accroissement des surfaces végétalisées sur les dunes grâce à l'aménagement et la restauration durant les années 1980-2010.

Les chiffres montrent aussi que les sites en érosion constant concernent d'abord les falaises, qui sont de deux types. Le premier type c'est le site de falaise taillée dans la couverture périglaciaire qui représente 4.5% des polygones en érosion avec une surface érodée de **1699.12m²**. Il ya quelque poches d'accrétion grace à la plantation d'une végétation continentale afin de soutenir la résistance de ces falaises contre l'érosion.

Recul du trait de côte 1952-2010 S1					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	% surface	M ² /an
Dune	6	69790.20	2.7%	53.5%	1203.27
Falaise dure	188	52937.20	86%	40.64%	912.71
Falaise meuble	10	1699.12	4.5%	1.30%*	29.29
Vasière	14	5818.69	6.4%	4.46%	100.32
Total	218	130245.21			

Avancée du trait de côte 1952-2010 S1					
Catégorie	Nb de polygones	Surface m ²	% polygone	% surface	M ² /an
Dune	4	6388.04	2.5%	9.4%	110.13
Veg continentale sur les falaises dures	131	43101.46	83.4%	63.80%	743.12
Veg sur les falaises meubles	6	1149.30	3.8%	1.70%	19.81
Vasière	16	16913.04	10.1%	25.03%	291.60
Total	157	67551.84			

Tableau 13 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur 1.

**Le recul de la falaise meuble au Verger est considéré comme un recul de dune, car en 1952 il s'agissait bien d'une dune.*

La période 1952-2010 est marquée par une prédominance des processus d'érosion et par une pénurie sédimentaire.

II.2 L'évolution du trait de côte sur le moyen terme pour le secteur 1

Sur des pas de temps plus courts, entre 1952-1961, 1961 -1977, 1982-1998, 1998-2010.

Période entre 1952-1961

Sur cette période 40.6% des polygones sont en érosion, et 59.4% en accrétion (voir la figure 92) mais ce sont les processus érosifs qui prédominent. Ils concernent principalement les formations dunaires et les falaises dures.

Le massif dunaire enregistre un recul important du front de dune (3.8% du total des polygones en érosion), ce qui montre l'importance des processus érosifs (anthropique ou naturels) durant cette période. La superficie des espaces dunaires perdues atteint : 16339.043 m² pour tous les massifs

On note aussi la présence des quelques petites surfaces de progradation au sein des massifs dunaires (2.2% du total des polygones en accrétion). Le total des surfaces en progression au sein du massif dunaire ne s'élève qu'à 2268.587 m²

Par contre les chiffres de cette période indiquent aussi une reprise de la végétation continentale sur le sommet des falaises dures les polygones en accrétion représentent 61% des polygones totaux des falaises en mouvement contre 38.5% en érosion ou en perte de végétations sur leur sommet

Recul du trait de côte 1952-1961 S1					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	% surface	M ² /an
Dune	6	16339.04	3.8%	65.46%	1815.44
Falaise dure	125	3171.97	80.6%	12.61%	349.77
Falaise meuble	3	295.70	1.9%	1.18%	32.85
vasière	21	5176.99	13.5%	20.7%	575.22
Total	155	24959.7			

Avancée du trait de côte 1952-1961 S1					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	% surface	M ² /an
Dune	5	2268.58	2.2%	2.77%	252.06
Veg continentale sur les falaises dures	201	69821.96	88.5%	85.34%	7757.9
Veg sur les falaises meubles	3	1303.38	1.3%	1.59%	144.82
Vasière	18	8421.51	7.9%	10.29%	935.72
Total	227	81815.43			

Tableau 14 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur 1, période 1952-1961

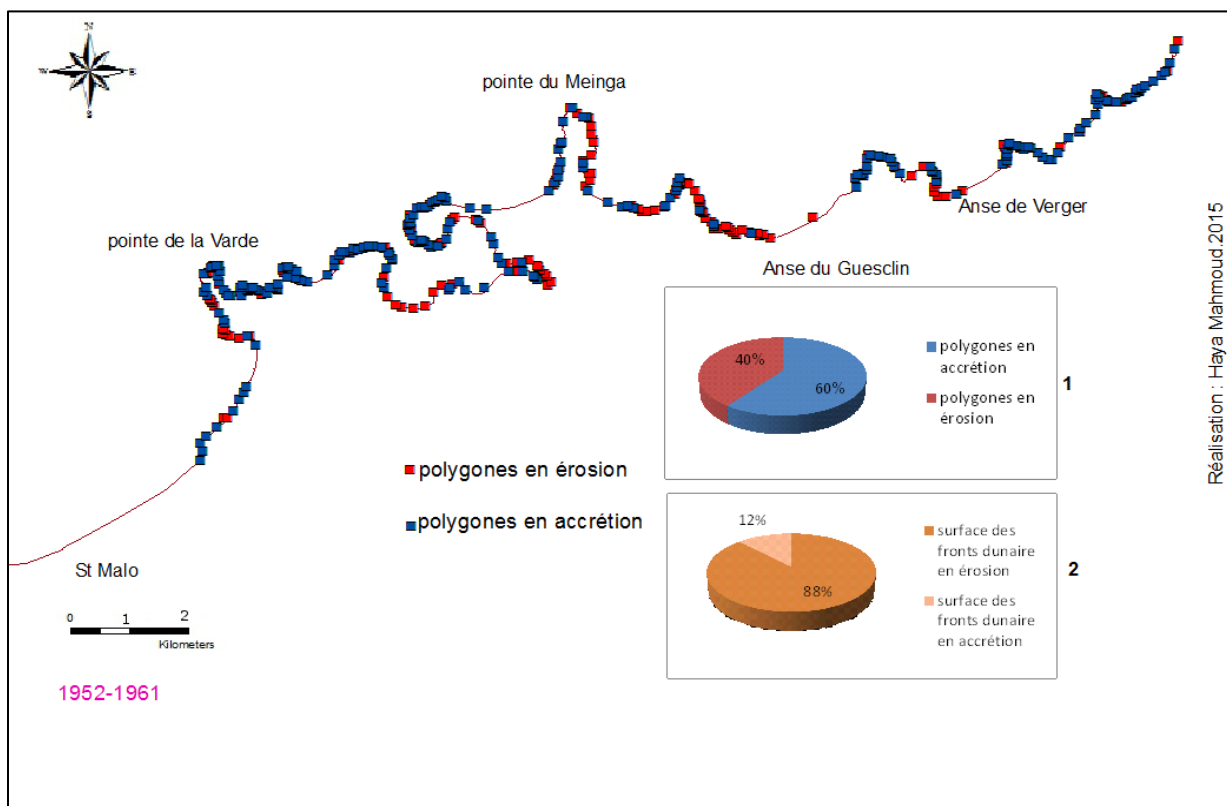


Figure 92 : mouvements du trait de côte au sein du secteur 1 (pointe du Grouin – St Malo) entre 1952-1961

Période entre 1961-1977 secteur 1

Durant cette période la dynamique du trait de côte est dominée par des processus d'érosion sédimentaire 53% des polygones sont en érosion contre 46.7% en accrétion la plus grande part des zones érodées sont des surfaces érodées au sein des massifs dunaires.

Le recul des falaises meubles au cours de ces années été constant il représente 27.84% du total des surfaces en érosion. Dans les secteurs plus abrités, comme dans le Havre du Lupin, la position de la limite du schorre est caractérisée par la stabilité.

Recul du trait de côte 1961-1977 S1					
Catégorie	Nb de polygone	Surface en m²	% polygone	%surface	M² /an
Dune	5	49367.72	2.5%	44.45%	3085.48
Falaise dure	163	28012.55	82.7%	25.22%	1750.78
F meuble	7	7331.56	3.5%	6.6%	458.22
Vasière	202	26331.08	11.1%	23.71%	1645.69
Total	197	111042.91			
Avancée du trait de côte 1961-1977 S1					
Catégorie	Nb de polygone	Surface en m²	% polygone	% m²	M² /an
Dune	9	8208.55	5.2%	20.55%	513.03
Veg continentale sur les falaises dures	149	23239.48	86.1%	58.19%	1452.46
Veg sur les falaises meubles	6	125.61	34.6%	0.31%	7.85
Vasière	9	8362.93	5.2%	20.94%	522.68
Total	173	3993.57			

Tableau 15 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur1, période 1961-1977

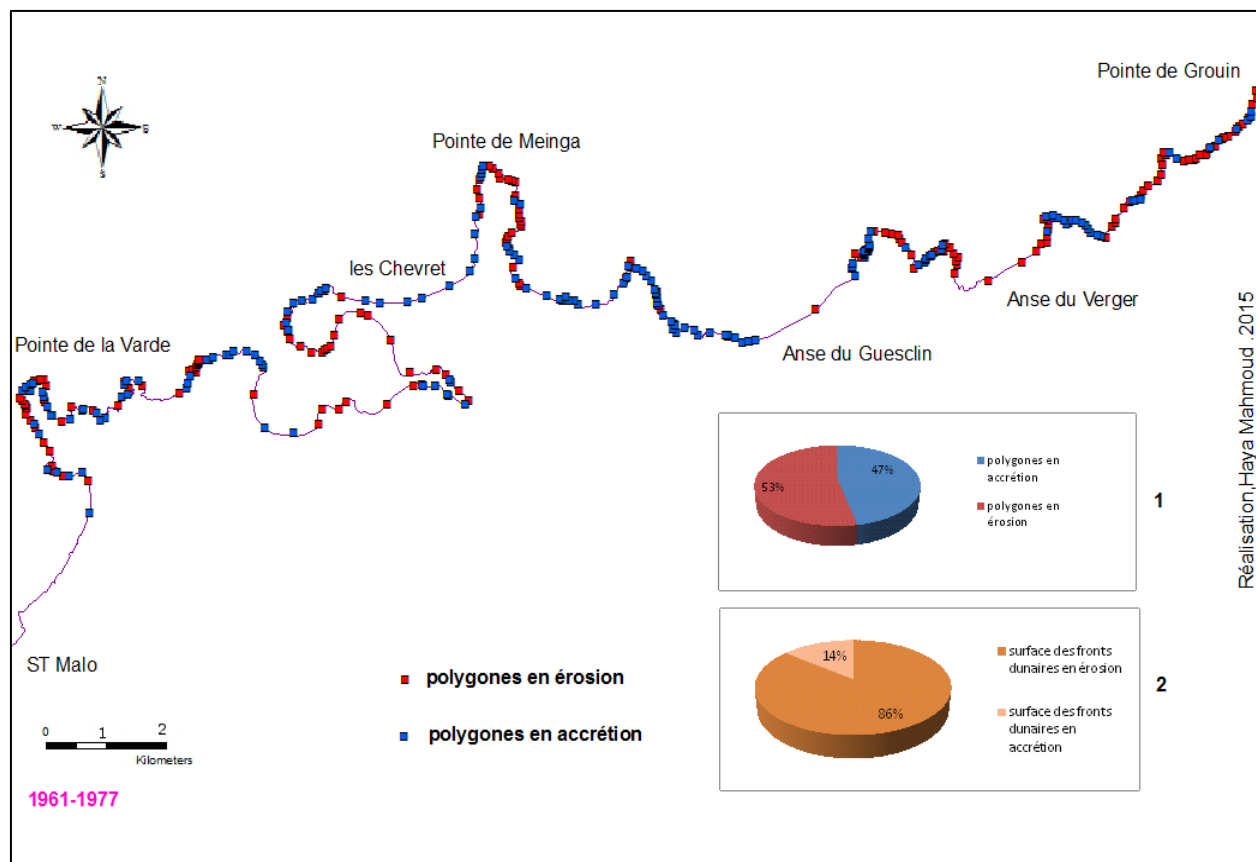


Figure 93 : Carte, mouvements du trait de côte au sein de secteur 1 (pointe du Grouin – St Malo) entre 1961-1977

Période entre 1977-1982 secteur 1

Entre 1952 et 1982, les processus érosifs qui contrôlent le recul du trait de côte montrent la supériorité du processus d'érosion : 64.4% des polygones sont en érosion et 35.5% en accrétion. Les processus d'érosion au sein des systèmes dune-plage représentent de 90.6% du total des surfaces dunaires en mouvement, ce qui signifie une importante pénurie sédimentaire (-49367.72 m²)

Par ailleurs, les falaises meubles (élaborées dans les matériaux préglaciaires), reculent constamment sur l'ensemble de la période, aucune trace d'aménagement n'a été notée durant cette période.

Recul du trait de côte 1977-1982 S1					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m²	% polygone	% m²	M² /an
Dune	19	14831.92	12.9%	14.8%	2966.38
Falaise dure	108	81320.73	73.4%	81.3%	16264.14
F meuble	8	2373,07	5.4%	2.3%	474.61
Vasière	12	1445.16	8.1%	1.4%	289.03
Total	147	99970.88			

Avancée du trait de côte 1977-1982 S1					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	% m ²	M ² /an
Dune	7	1538.44	5.7%	2.7%	307.68
Veg continentale sur les falaises dures	93	30056.64	76.2%	54.5%	6011.32
Veg sur les falaises meubles	6	1036.13	4.9%	1.8%	207.22
Vasière	16	22453.50	13.1%	40.7%	4490.7
Total	122	55084.71			

Tableau 16 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur1, période 1977-1982

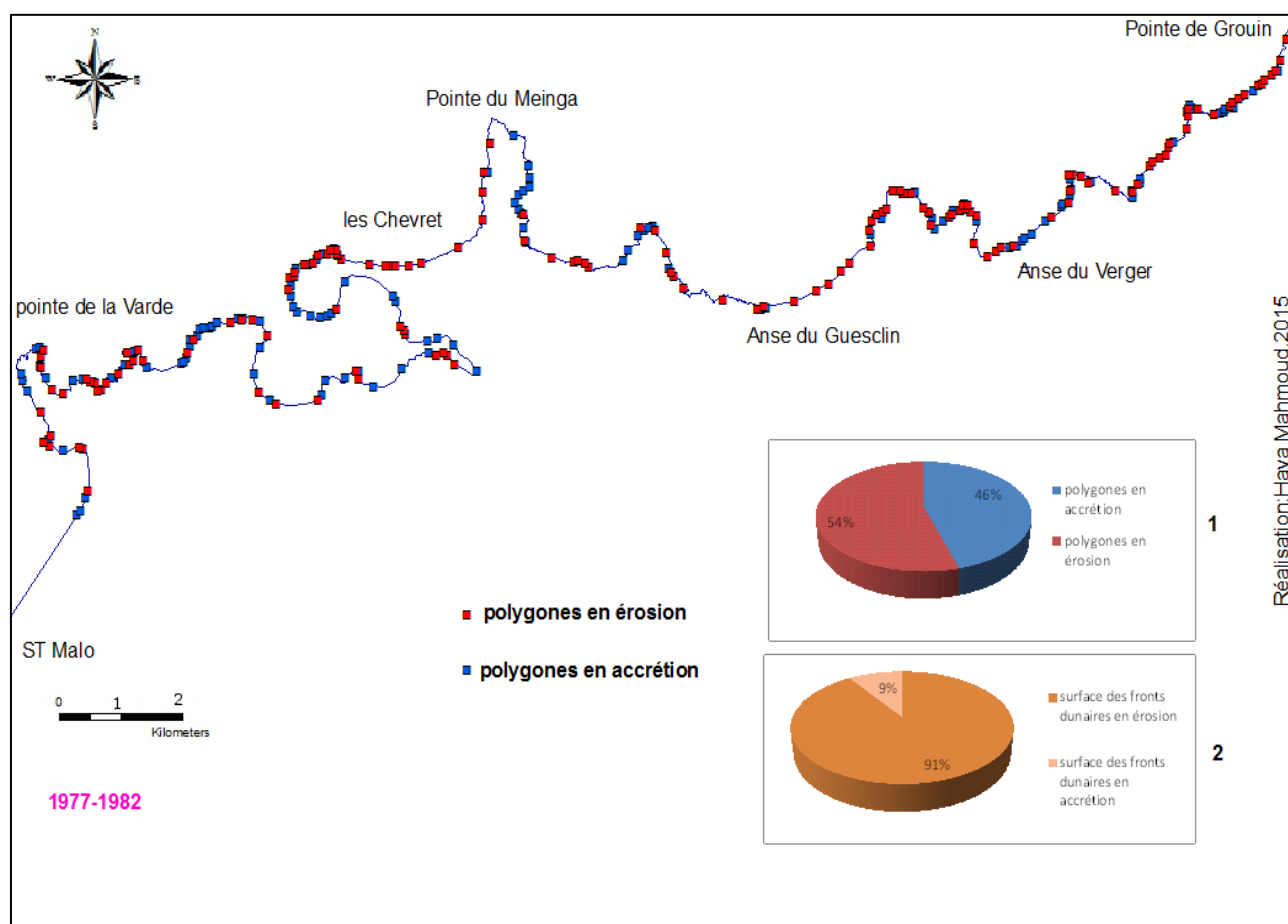


Figure 94 : Carte, mouvements du trait de côte au sein de secteur 1 (pointe du Grouin – St Malo) entre 1977-1982

Période entre 1982-1998 secteur1.

Cette période est marquée par une diminution des processus érosifs (les surfaces en accrétion représentent 64.6% de la surface totale en mouvement). Cette diminution du recul est localisée notamment au sein des massifs dunaires. Le bilan sédimentaire surfacique au sein des dunes est positif en général (voir le tableau 17), les surfaces érodées ne représentent plus que 8439 m², alors que les surfaces en accrétion atteignent environ 18908.34 m². Ce ralentissement de recul est dû à la politique de réaménagement qui a été mise en place à partir des années 1980-1985 suivant les sites. Il s'agit de protections douces (par exemple les ganivelles), de travaux de consolidation de dune par végétalisation (plantation d'Oyats), de mise en place de technique de gestion des flux touristiques (canalisation des passages côtiers, installation des parkings, des accès interdit aux vélos et aux gens pour diminuer les effets de piétinement). Tous ces facteurs ont contribué à un ralentissement des taux de recul et à une progradation du front dunaire. Les plages de l'anse de Guesclin et du Verger qui avaient enregistré un recul important du front dunaire sur la période précédente connaissent en cette période un engraissement significatif.

La répartition spatiale des surfaces correspondant à un recul du sommet des falaises dures est relativement homogène sur tout le pourtour de l'île Besnard et la façade est de Pointe du Meinga, pointe des Grands Nez et pointe de la Varde. Par contre les surfaces correspondant à une accrétion occupent les espaces plus abrités du Havre du Lupin (derrière les cordons des chevrets), et aussi les façades ouest des pointes du Meinga, pointe du Grouin et pointe de la Varde.

Recul du trait de côte 1982-1998 S1					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m²	% polygone	% surface	M² /an
Dune	15	8438.98	10.2%	10.97%	527.43
Falaise dure	114	50659.30	78.08%	65.87%	3166.20
F meuble	7	6246.12	4.7%	8.12%	390.38
Vasière	10	11561.44	6.8%	15.03%	722.59
Total	146	76905.84			

Avancée du trait de côte 1982-1998 S1					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m²	% polygone	% surface	M² /an
Dune	8	18908.34	5.8%	13.47%	1181.77
Veg continentale sur les falaises dures	113	97149.53	82.4%	69.21%	6071.84
Veg sur les falaises meubles	4	7176.45	2.9%	5.11%	488.52
Vasière	12	17122.86	8.7%	12.19%	1070.17
Total	137	140357.2			

Tableau 17 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur 1, période 1982-1998

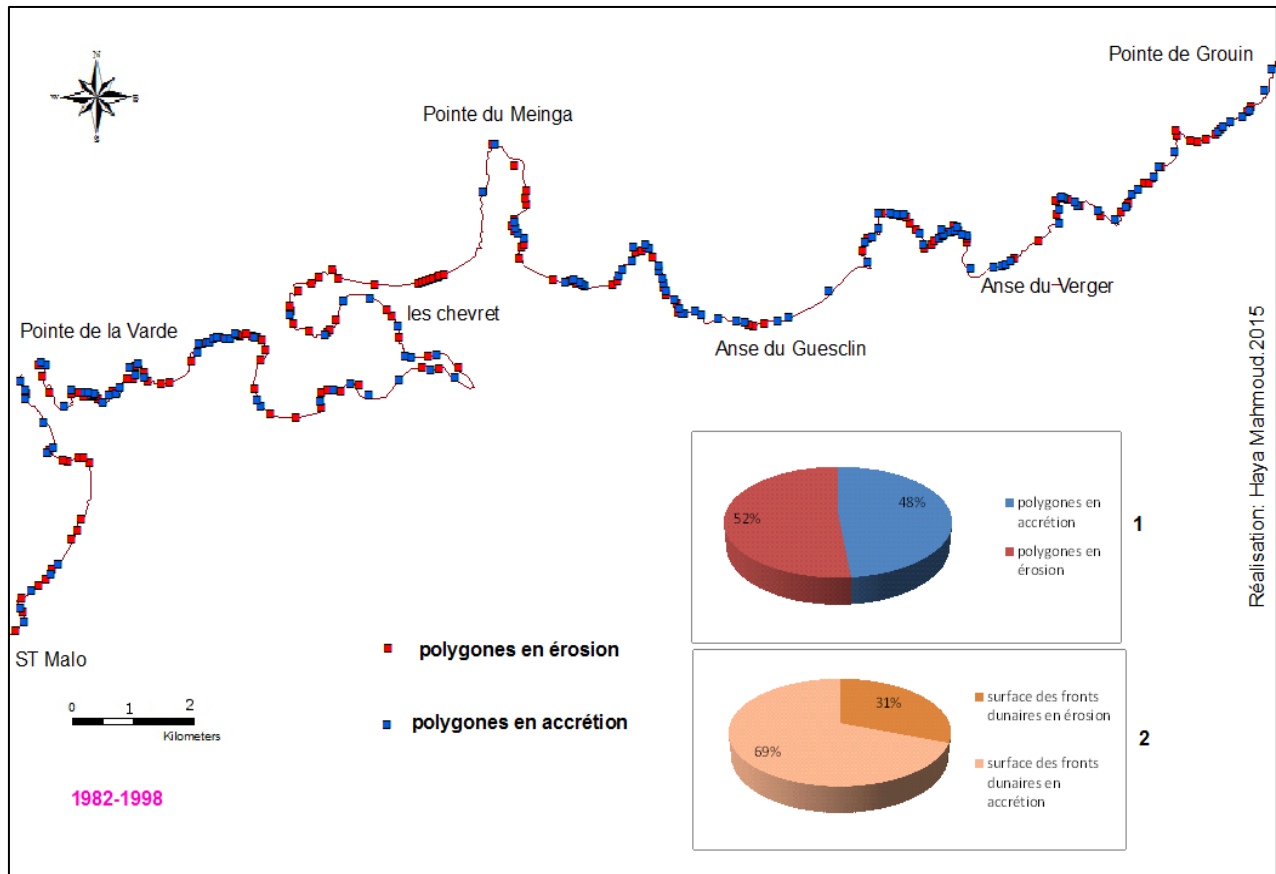


Figure 95 : Carte, mouvements du trait de côte au sein de secteur 1 (pointe du Grouin – St Malo) entre 1982-1998

Période 1998-2010 secteur 1

En général les surfaces en érosion représentent 60.5% du total des surfaces cartographiées. Une part importante des polygones concernés par le recul du trait de côte est située au sein du système Falaise dure. 84 % du total des polygones en érosion correspondent à un recul de la végétation des falaises dures, par contre le recul du sommet des falaises meubles concerne moins de 0.3 % des surfaces totales érodées. Environ 18% des surfaces totales ont progressé.

Sur cette même période on retrouve le même type d'évolution que durant la période précédente (1982-1998) pour les systèmes plage dune, donc une reprise de la végétation colonisant des surfaces d'accumulation, un bilan sédimentaire surfacique excédentaire **+9270.0241 m²**. Les surfaces érodées ne représentent plus que **9885.76 m²** contre des surfaces en accrétion au sein du massif dunaire proche de **19155.80 m²**

Il faut souligner que les polygones en accrétion représentent 66.66% des polygones étudiés au sein du massif dunaire, contre 33.3% pour les polygones en érosion et les polygones en érosion sont pour la plupart situés encore au niveau de l'anse du Guesclin.

Recul du trait de côte 1998-2010 S1					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m²	% polygone	% m²	M² /an
Dune	10	9885.76	5.6%	10.13%	823.81
Falaise dure	149	79438.06	84%	81.43%	6619.83
F meuble	7	277.39	3.9%	0.28%	23.11
Vasière	11	7946.26	6.2%	8.14%	662.18
Total	176	97547.47			

Avancée du trait de côte 1998-2010 S1					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m²	% polygone	% m²	M² /an
Dune	20	19155.79	10.9%	30.14%	1596.31
Veg continentale sur les falaises dures	131	25736.93	71.5%	40.50%	2144.74
Veg sur les falaises meubles	12	1194.08	6.5%	1.87%	99.50
Vasière	20	17452.89	10.9%	27.46%	1454.40
Total	183	63539.69			

Tableau 18 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur 1, période 1998-2010

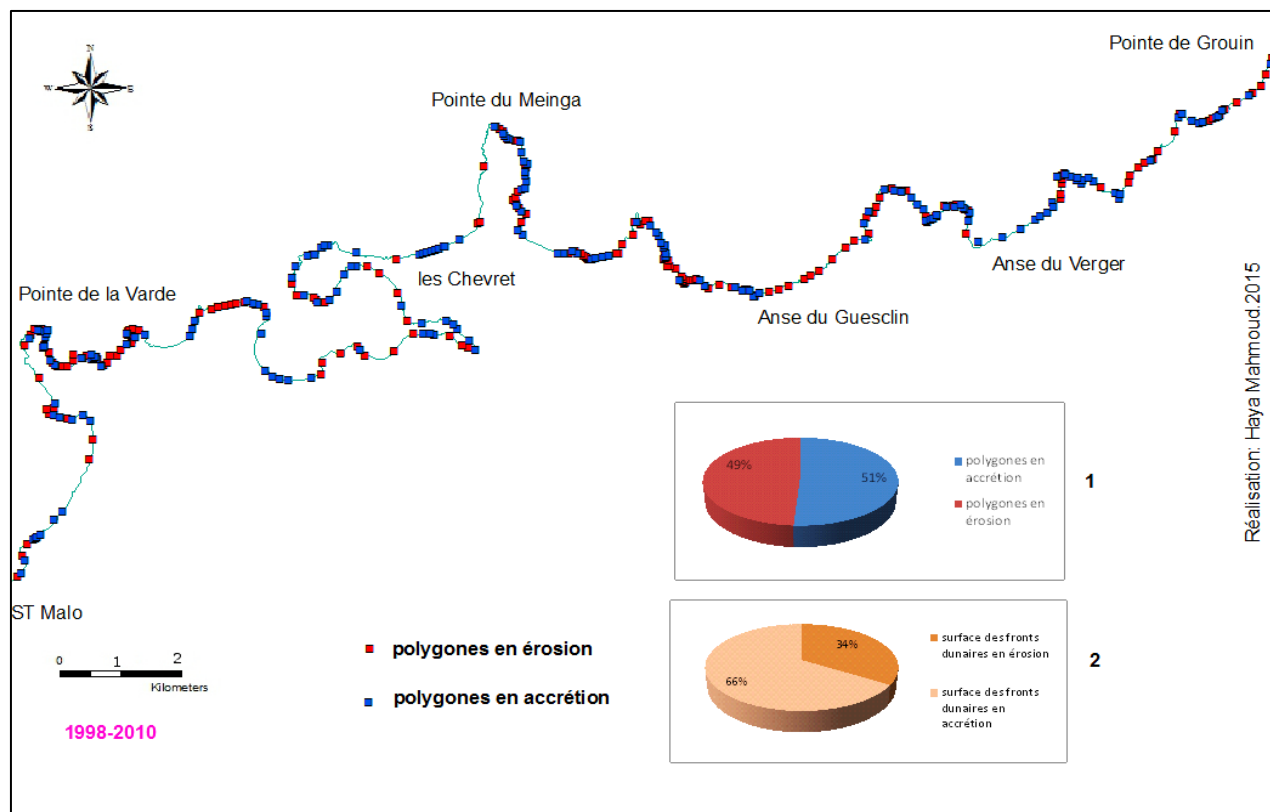


Figure 96 : Carte, mouvements du trait de côte au sein de secteur 1 (pointe du Grouin – St Malo) entre - 1998- 2010

II.3. L'évolution du trait de côte sur le long terme pour le secteur (2) Dinard- St Briac 1952-2010

L'attractivité touristique de cette zone de Côte est intense, le secteur fait l'objet d'une fréquentation très importante, par conséquent on peut noter une forte pression immobilière et la bonne desserte routière : les routes côtières sont très proches des plages.

Cependant il reste quelques zones « préservées » comme les pointes du Nick et la Garde Guérin.

Année	Erosion	Accrétion	Bilan surfacique sédimentaire (m ²)	Bilan surfacique sédimentaire annuel
1952-1961	2706.42	2683.35	-23.07	-2.56
1961-1977	308.64	11619.63	+11310.99	+706.87
1977-1982	1937.86	0	-1937.86	-387.57
1982-1998	2812.91	3248.57	435.66	27.22
1998-2010	1010.42	4470.52	+3460.10	+288.34
1952-2010	0	3571.23	*3571.23	+61.57

Tableau 19 : évolution du trait de côte dans des massifs dunaires secteur2 (bilan sédimentaires surfacique) entre 1952-2010 S2

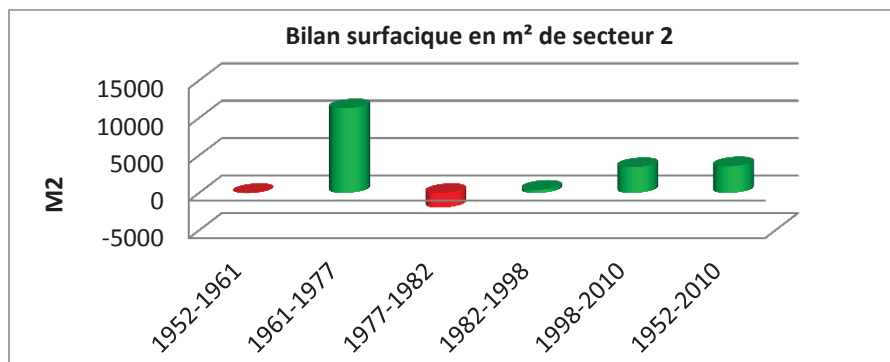


Figure 97 : graphique bilan surfacique pour les massifs dunaires dans le secteur 2

Dans ce secteur les fronts de mer sont très bâtis et généralement aménagés au moyen de digues en béton. Les plages dans cette zone sont quasiment toutes artificialisées toutes accessibles par des rampes, équipées de cabines en été, nettoyées chaque matin, certaines équipées de piscines retenant l'eau de mer de la marée haute comme par exemple la plage de Prieuré et la plage de l'Ecluse, figure 98.

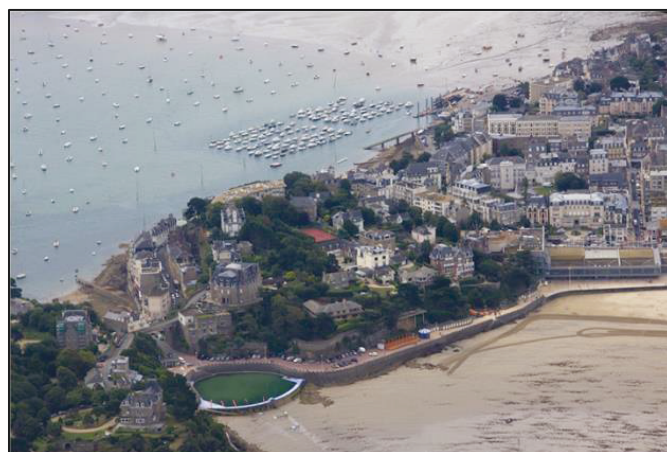


Figure 98 : photo, front côtier très bâti, plage de l'Ecluse secteur 2

Il n'y a pas de variations de position du trait de côte pendant cette période sur les plages aménagées en 1952 par des murs ou des digues (les plages de St Lunaire, Dinard).

Par contre un paysage presque naturel apparaît entre les séquences urbanisées des stations de Saint-Briac et Dinard comme le secteur de plage de Port Hue. Il s'agit cependant du secteur du Golf qui est très aménagé pour paraître naturel.

Il faut noter que la ligne de référence a été fixée à la lisière de la plage aérienne. Elle correspond à la limite de végétation sur les images anciennes 1952 alors que, sur les photos les plus récentes (1998 et 2010), cette limite de végétation est remplacée, en certains endroits, par la limite des aménagements côtiers (murs).

Pour les autres systèmes côtiers comme le système de la falaise dure, le comportement du littoral durant cette période est dominé par des phénomènes d'érosion (exemple sur la pointe du Nick). Sur les rares sites de Falaises meubles l'érosion domine avec une valeur de environ de **8050 m²** contre **869.19 m²** de surface en accrétion.

Le dernier système le schorre situé au fond de la baie de Saint Briac a connu pendant cette période une accrétion intéressante de **20712.406m²**. Ceci n'empêche pas des reculs ponctuels et la surface érodée atteint **9178.23m²**.

Recul du trait de côte 1952-2010 S2					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m²	% polygone	% m²	M² /an
Dune	0	0	0	0	0
Falaise dure	141	50288.28	90.3%	62.21%	867.03
F meuble	4	8050.02	2.5%	9.95%	138.78
Vasière	6	13310.71	3.8%	16.46%	229.49
Schorre	5	9178.23	3.2%	11.35%	158.24
Total	156	80827.27			
Avancée du trait de côte 1952-2010 S2					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m²	% polygone	% m²	M² /an
Dune	7	4431,58	7%	7.8%	76.40
Veg continentale sur les falaises dures	67	12255.87	67.6%	21.6%	211.30
Veg sur les falaises meubles	6	869.19	6%	1.5%	14.98
Vasière	10	18412.27	10%	32.4%	317.45
Schorre	9	20712.40	9%	36.5%	357.11
Total	99	56681.31			

Tableau 20 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale au secteur 2, période 1952-2010

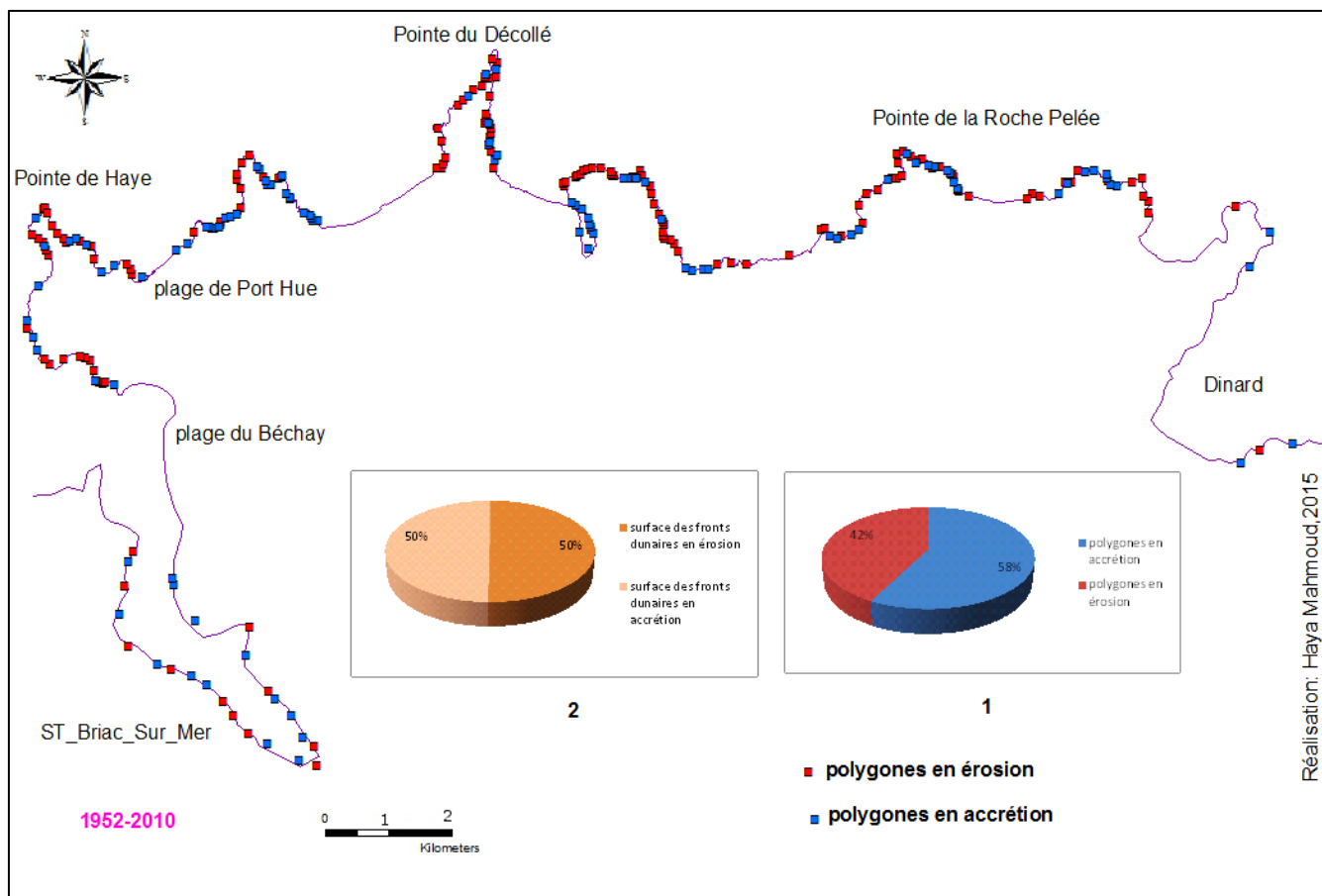


Figure 99 : Carte, mouvements du trait de côte au sein de secteur 2 (1952-2010)

II.4. L'évolution du trait de côte sur le moyen terme pour le secteur 2

La période de 1952-1961 : Le littoral dans ce secteur a alterné, durant ces 9 ans des secteurs en érosion et en progradation. Les segments en progradation s'étirent sur 53443.89 m² (5% sur des fronts dunaires et 50% de végétations sur les falaises dures), contre 112478.47 m² de surface en érosion (2.4% au sein des fronts dunaires et 32% de végétation sur les falaises dures). On note une forte érosion de la vasière durant ce pas de temps.

Recul du trait de côte 1952-1961 S2					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	% m ²	M ² /an
Dune	6	2706.42	6.4%	2.4%	300.71
Falaise dure	74	36984.77	79.5%	32.8%	4109.41
F meuble	7	4521.78	7.5%	4%	502.42
Vasière	4	57938.85	4.3%	51%	6437.65
schorre	2	10326.65	2.1%	9%	1147.40
Total	93	112478.47			

Avancée du trait de côte 1952-1961 S2					
Catégorie	Nombre de polygones	Surface en m ²	% polygone	% m ²	M ² /an
Dune	5	2683.35	3.9%	5%	298.15
Veg continentale sur les falaises dures	104	26736.62	82.5%	50%	2970.73
Veg sur les falaises meubles	9	274.36	7.1%	0.5%	30.48
Vasière	6	19842.18	4.7%	37.1%	2204.68
Schorre	2	3907.38	1.5%	7.3%	434.15
Total	126	53443.89			

Tableau 21 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur2, période 1952-1961 S2

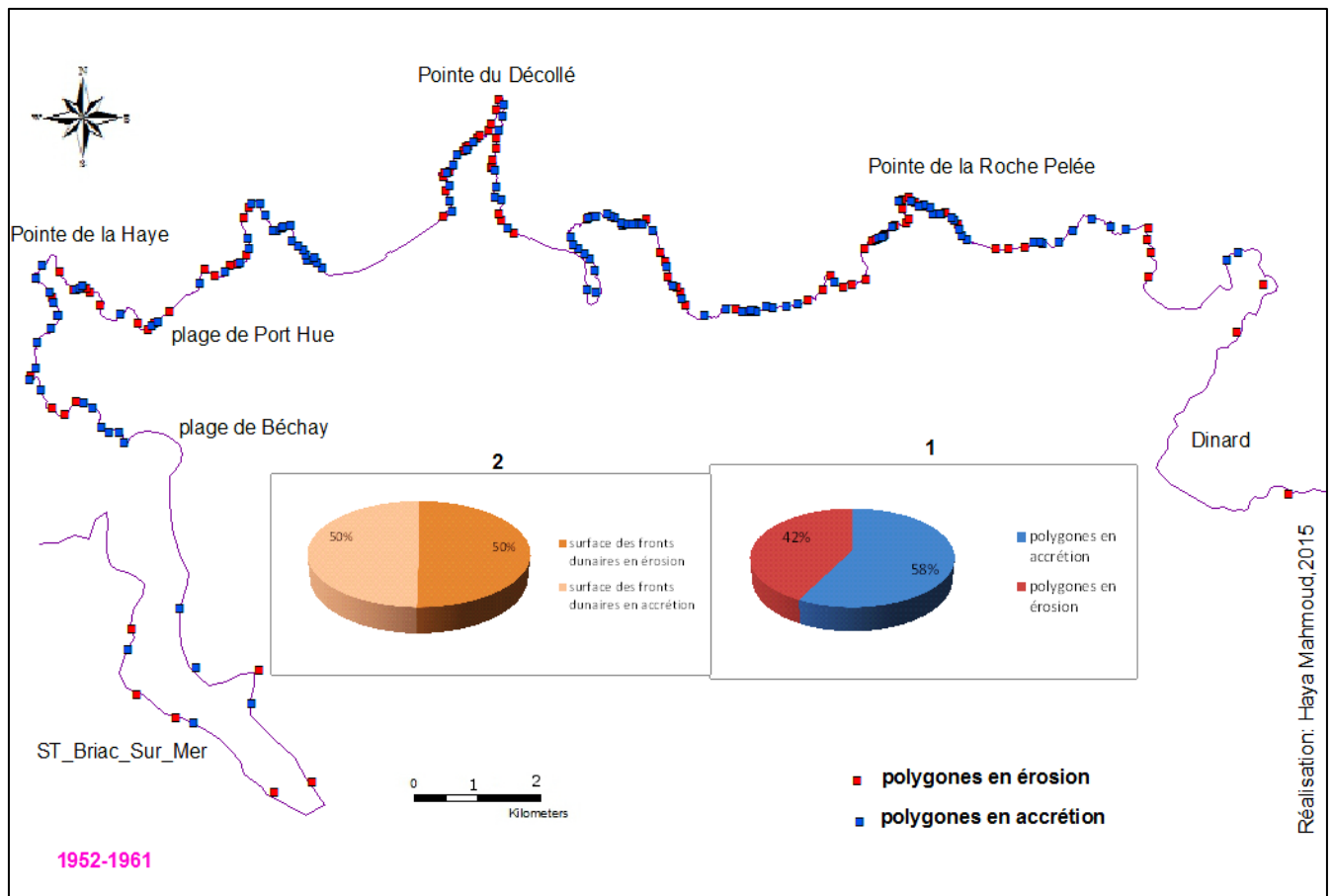


Figure 100 : Carte, mouvements du trait de côte au sein du secteur 2, 1952-1961

Période entre 1961-1977 :

Cette période est caractérisée par la prédominance des processus de progradation malgré le fait que les polygones en érosion sont plus nombreux que les polygones en accrétion mais les surfaces totales en accrétions sont plus grandes.

Recul du trait de côte 1961-1977 S2					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	% m ²	M ² /an
Dune	1	308,64	0.89%	0,72	19,29
Falaise dure	102	23105,89	91.8%	54,58	1444,11
F meuble	7	1819,52	6.25%	4,29	113,72
Vasière	12	17097,52	10.71%	40,38	1068,59
Schorre	–	–	–	–	–
Total	112	42331,57			
Avancée du trait de côte 1961-1977 S2					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	% m ²	M ² /an
Dune	4	11619,63	4.4%	20,26	726,22
Veg continentale sur les falaises dures	81	42825,9	90%	74,67	2676,61
Veg sur les falaises meubles	4	2835,94	4.4%	4,94	177,24
Vasière	1	64,94	1.1%	0,11	4,058
Schorre	–	–	–	–	–
Total	90	57346,41			

Tableau 22 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur2, période 1961-1977 S2

Donc on peut dire que la dynamique sédimentaire durant ces périodes, au sein des massifs dunaires, demeure globalement positive malgré la présence de poches d'érosion. Ceci est confirmé par le bilan sédimentaire surfacique pour cette période

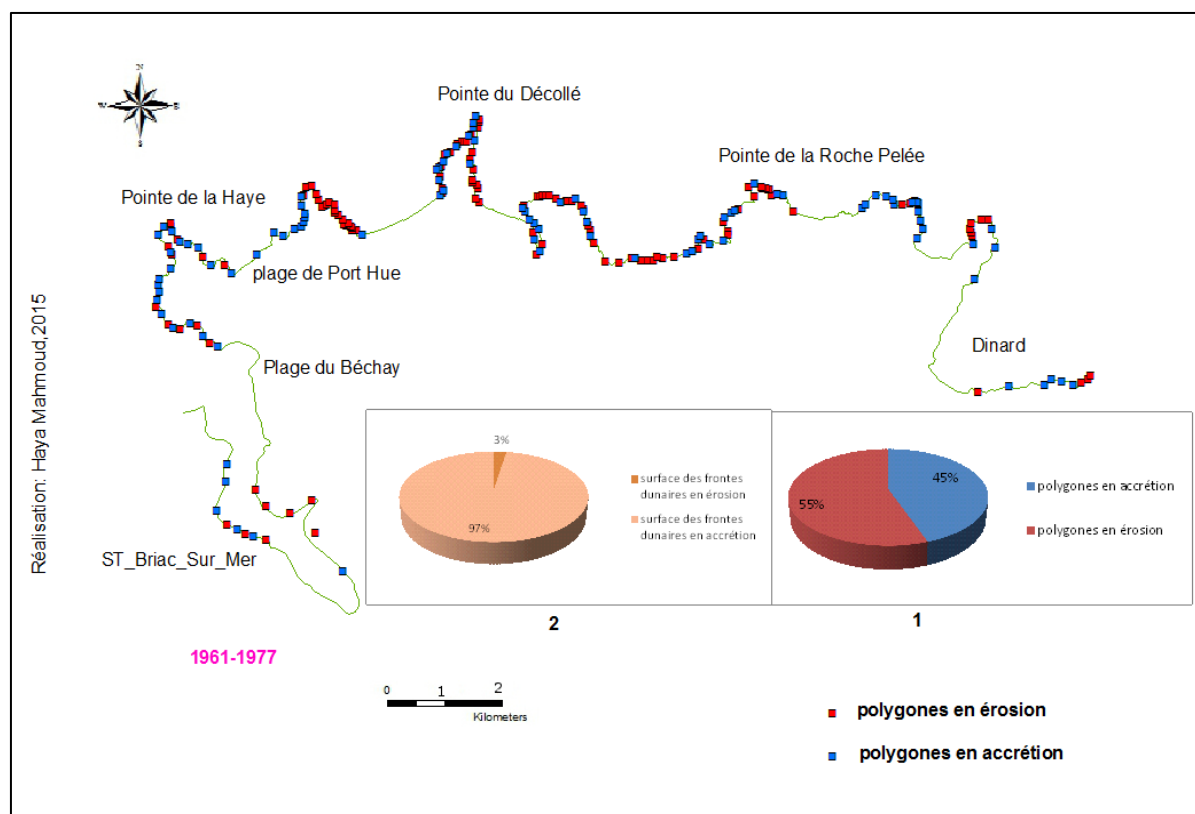


Figure 101 : Carte, mouvements du trait de côte au sein du secteur 2, 1961-1977

Période de 1977-1982 S2 :

Recul du trait de côte 1977-1982 S2					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	% m ²	M ² /an
Dune	6	1937.86	5%	2.9%	387.57
Falaise dure	98	36943.73	82%	57%	7388.74
F meuble	7	4628.28	5.8%	7.1%	925.65
Vasière	6	18108.37	5%	28%	3621.67
schorre	2	2994.87	1.6%	4%	598.97
Total	119	64613.11			
Avancée du trait de côte 1977-1982 S2					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	% m ²	M ² /an
Dune	0	0	0	0	0
Veg continentale sur les falaises dures	45	55713.01	78%	53.7%	11142.60
Veg sur les falaises meubles	4	239,54	7%	0.2%	47.90
Vasière	5	11381.77	8.7%	10.9%	22276.35
schorre	3	36333.71	5.2%	35%	7266.74
Total	57	103668.03			

Tableau 23 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur2, période 1977-1982 S2 .

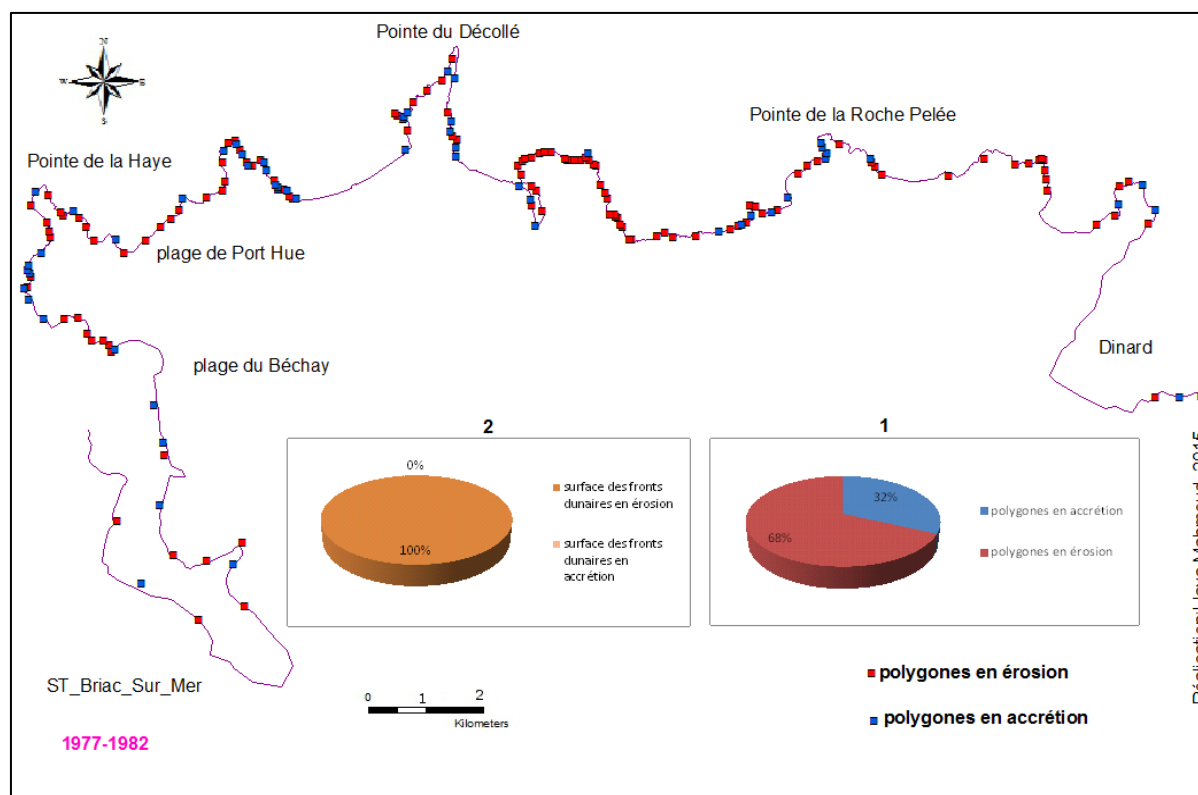


Figure 102 : Carte, mouvement du trait de côte au sein du secteur 2 1977-1982

Période de 1982-1998 S2 :

Cette phase de temps est marquée par une prédominance des processus d'accumulation sédimentaire au niveau des fronts dunaires qui se traduisant, d'une part, par la progradation des fronts dunaires des plages aménagées (le Port Blanc, plage de la Fourberie et le Port Heu) ou de schorres dans les espaces plus abrités, et d'autre part par un recul rapide des falaises meubles, contrairement à la période précédente 1977-1982 qui était caractérisée par une érosion accrue des massifs dunaires.

Recul du trait de côte 1982-1998 S2					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	% m ²	M ² /an
Dune	1	2812.91	1.5%	1.6%	175.80
Falaise dure	52	87918.82	81%	51%	5494.92
F meuble	4	550.32	6.2%	0.3%	34.39
Vasière	7	80909.21	10.9%	46.9%	5056.82
schorre	—	—	—	—	—
Total	64	172191.26			

Avancée du trait de côte 1982-1998 S2					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	% m ²	M ² /an
Dune	7	3248.57	8%	3%	203.03
Veg continentale sur les falaises dures	64	79764.42	73%	74%	4985.27
Veg sur les falaises meubles	6	2280.53	6.8%	2.1%	142.53
Vasière	7	17863.06	8%	16.5%	1116.44
schorre	3	4564.94	3.4%	4.2%	285.30
Total	87	107721.52			

Tableau 24 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur2, période 1982-1998

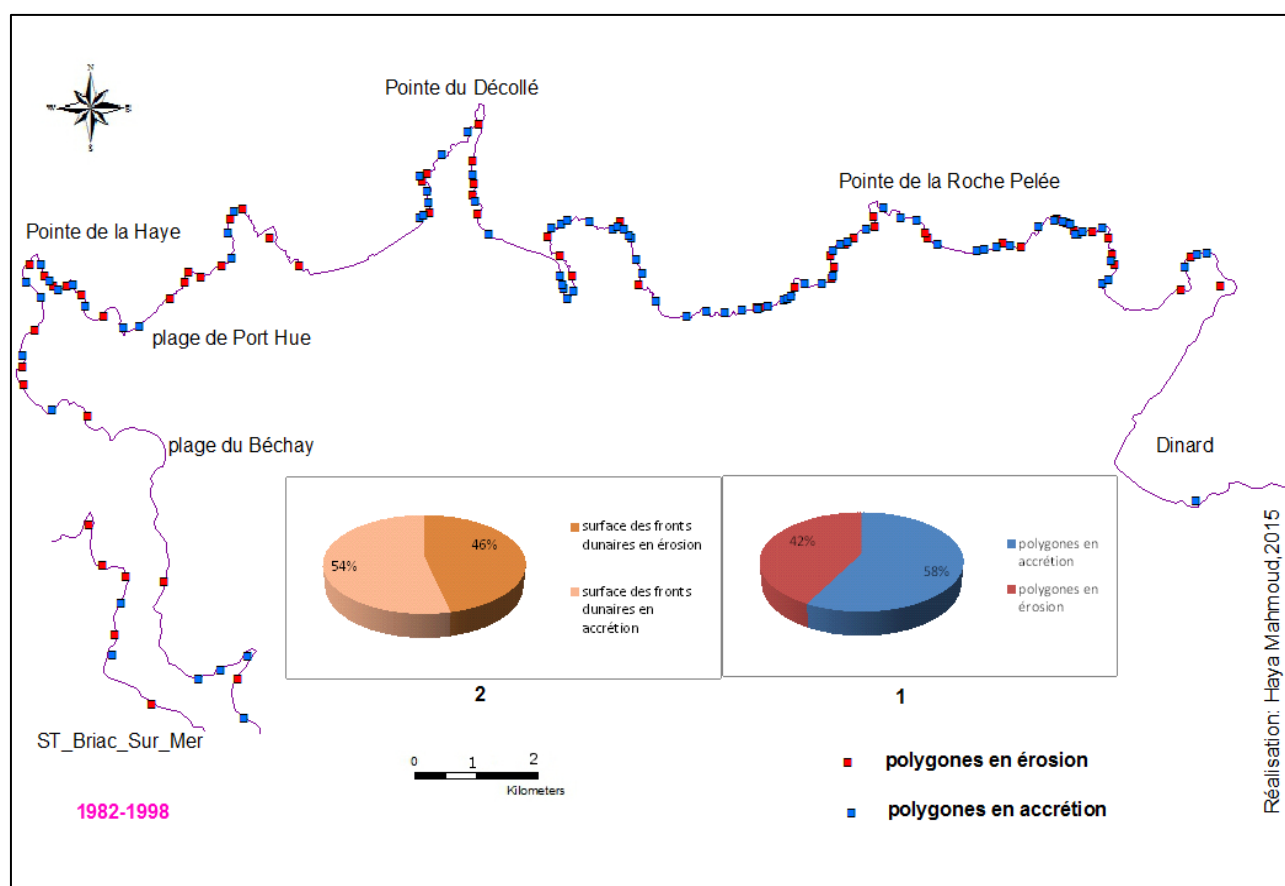


Figure 103 : Carte, mouvement du trait de côte au sein du secteur 2 1982-1998

1998-2010 S2 :

Les processus érosifs qui contrôlent le recul du trait de côte au cours de cette période indiquent un recul localisé au sein des systèmes de falaises meubles et un recul des végétations colonisant le sommet des falaises dures. Les chiffres indiquent aussi une reprise de la végétation sur la plage de Port Hue, la surface en accrétion représente 61% (contre 39% en érosion) du total des surfaces en mouvement.

Recul du trait de côte 1998-2010 S2					
Catégorie	Nb de polygone	Surface en m ²	% polygone	% m ²	M ² /an
Dune	2	1010.42	1.7%	1.29%	84.20
Falaise dure	95	60376.02	84%	77.31%	5031.33
F meuble	3	4814.08	2.6%	6.16%	401.17
Vasière	12	5492.46	10.6%	7.03%	457.70
Schorre	1	6402.71	0.88%	8.19%	533.55
Total	113	78095.69			

Avancée du trait de côte 1998-2010 S2					
Catégorie	Nb de polygone	Surface en m ²	% polygone	% m ²	M ² /an
Dune	1	4470.52	1%	3.68%	372.54
Veg continentale sur les falaises dures	77	28467.38	78.5%	23.5%	2372.28
Veg sur les falaises meubles	3	2646.24	3%	2.1%	220.52
Vasière	9	7193.68	9.1%	5.9%	599.47
Schorre	8	78047.40	8.1%	64.59%	6503.95
Total	98	120825.22			

Tableau 25 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur2, période 1998-2010

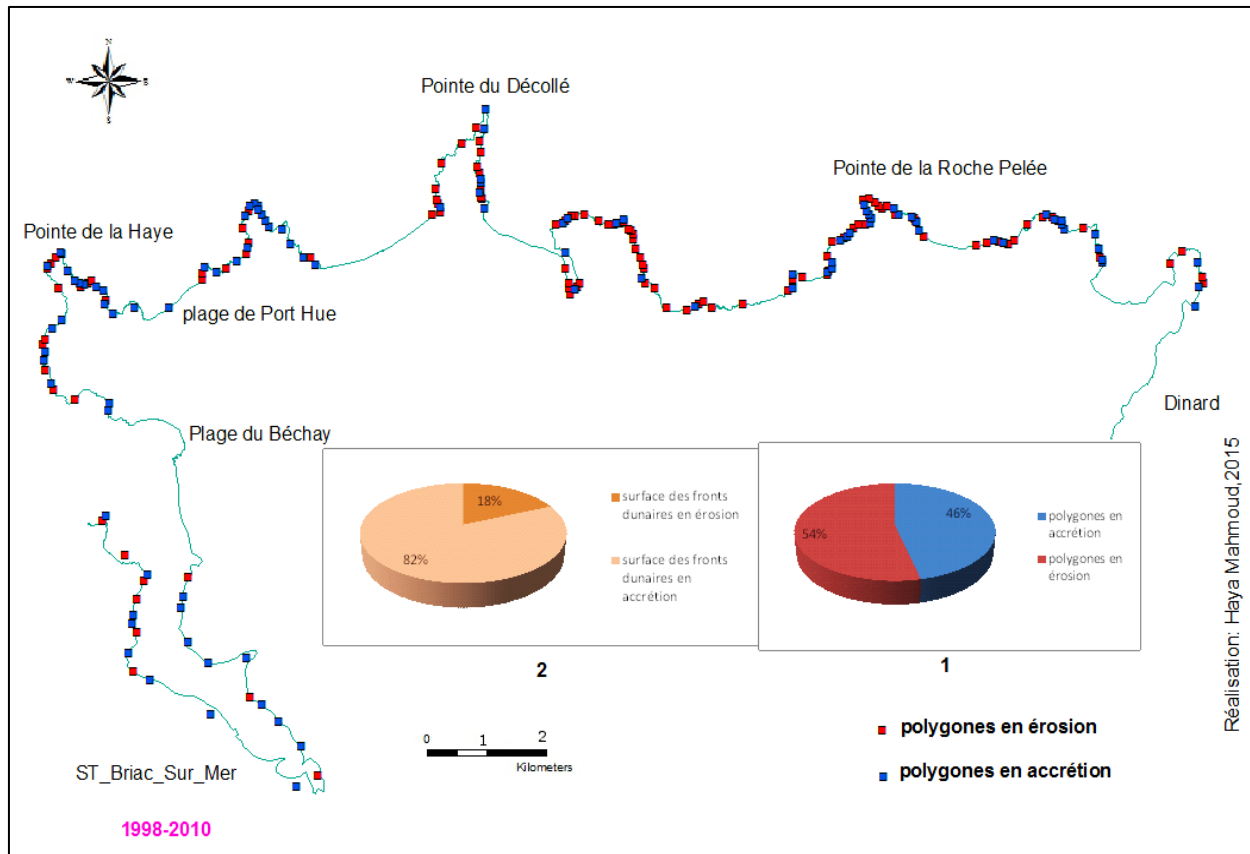


Figure 104 : Carte, mouvements du trait de côte au sein du secteur 2 1998-2010

II.5. L'évolution du trait de côte sur le long terme pour le secteur 3 (ST Briac –Cap Fréhel) 1952-2008

Ce secteur comporte, comme les précédents, différents systèmes côtiers. Les systèmes dunes plages sont localement artificialisés, notamment dans les villes qui ont de grands ports où le rivage est fixé par des aménagements portuaires (digues, épis) comme Port Jaquet à St Cast-le-Guildo, ou par des ouvrages de défense longitudinaux (mur de protection), par exemple sur la plage la Banche en St Jacut de la mer. La plupart des dunes sont protégées par des ganivelles.

Il faut noter qu'il n'existe pas, en 1952, ni en 1961, 1977, 1982 de photos pour les zones des Baie de Lancieux, l'Arguenon et de la Baie de la Fresnay. Cela rend difficile de calculer l'évolution de la côte dans ces régions qui comprennent un groupe de plages naturelles telles que plage de la Manchette, plage de Ruet, plage de Vauver. En conséquence le bilan contenu dans le tableau est limité à certaines des plages qui sont positionnés dans les parties supérieures de la zone d'étude où les photos sont disponibles. En 2008, la dynamique du trait de côte est dominée par des processus d'accumulation sédimentaire qui favorisent la progradation des massifs dunaires. Les données du tableau suivant ne sont pas comparables

d'une ligne à l'autre, les deux premières ne comprenant pas le même nombre de plages que les suivantes.

Année	Erosion	Accrétion	Bilan surfacique sédimentaire (m ²)	Bilan surfacique sédimentaire annuel
1952-1961*	1545.29	8340.41	6795.12	755.01
1961-1977*	6843.90	20898.12	14054.22	878.38
1977-1982	2582.67	14673.42	12090.75	2418.15
1982-1998	8917.13	24728.51	15811.38	988.211
1998-2008	2850.91	24950.27	22099.36	2209.93
1952-2008	3712.36	7214.88	3502.52	62.545

Tableau 26 : évolution du trait de côte dans des massifs dunaires secteur3 (bilan sédimentaire surfacique) entre 1952-2008 S3

Recul du trait de côte 1952-2008 S3					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	% m ² surface	M ² /an
Dune	5	3712.36	2.09%	1%	66.29
Falaise dure	201	133229.73	84.1%	36.4%	2379.10
F meuble	17	21044.83	7.1%	5.7%	375.80
Vasière	13	136369.07	5.4%	37.3%	2435.16
Schorre	3	71129.39	1.2%	19.4%	1270.16
Total	239	365485.38			
Avancée du trait de côte 1952-2008 S3					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	%m ² surface	M ² /an
Dune	7	7214.88	3.1%	3.7%	128.83
Veg continentale sur les falaises dures	190	84362.29	85.5%	43.8%	1506.46
Veg sur les falaises meubles	9	787.16	4%	0.4%	14.05
Vasière	13	9945.29	5.8%	5.1%	177.59
Schorre	3	90141.66	1.3%	46.8%	1609.67
Total	222	192451.28			

Tableau 27 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur3, période 1952-2008

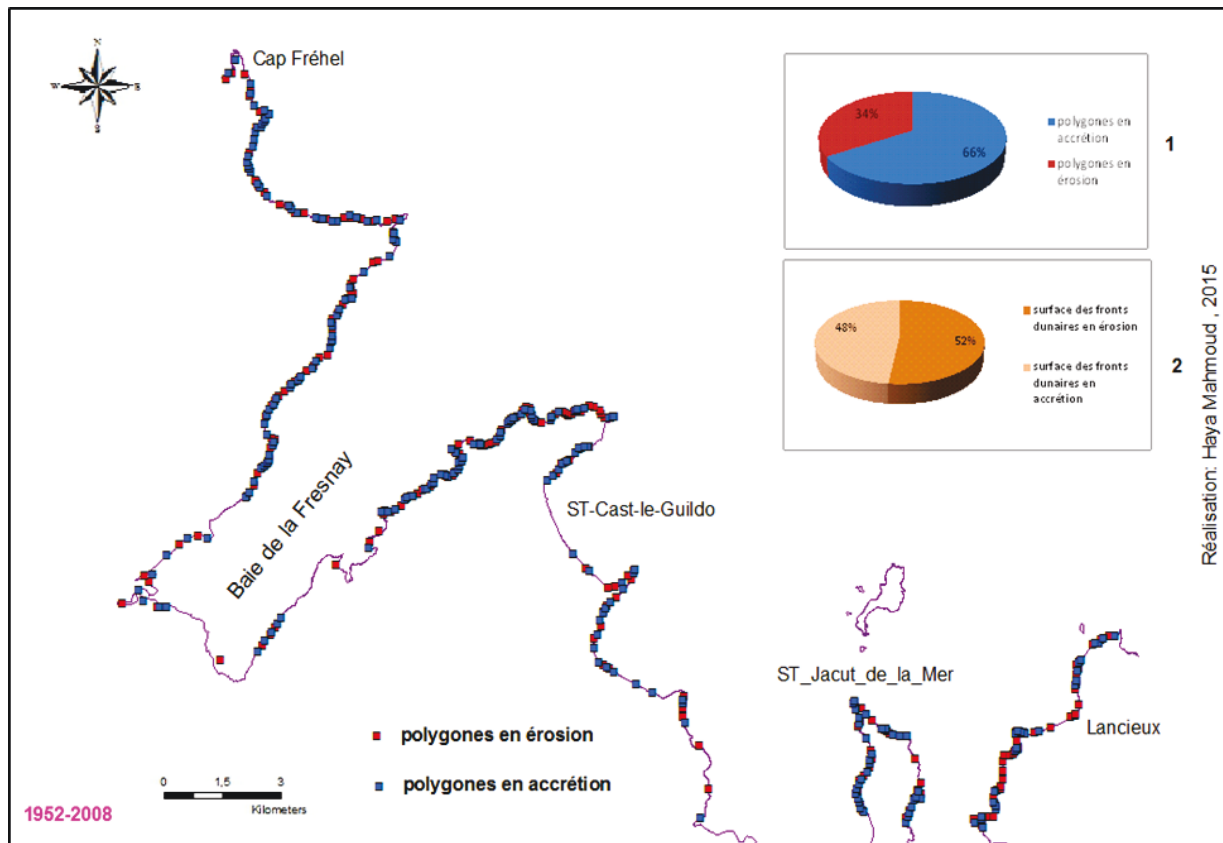


Figure 105 : Carte, mouvements du trait de côte au sein du secteur 3 1952-2008

II.6. L'évolution du trait de côte sur le moyen terme pour le secteur 3

Période 52-61 S3 : Il faut noter que les mouvements du trait de côte décrits entre 1952 et 1961 ne traduisent pas une évolution réelle dans le temps pour les secteurs des dunes. Ces valeurs n'incluent pas la plage de la Briantais pour laquelle il n'y a pas de photo.

Recul du trait de côte 1952-1961 S3					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	% m ² surface	M ² /an
Dune	5	1545.29	3%	0.8%	171.96
Falaise dure	135	79561.99	83.3%	45%	8840.22
F meuble	4	1542.58	2.4%	0.8%	171.39
Vasière	15	86646.46	9.2%	49%	9627.38
Schorre	3	7118.86	1.8%	4%	790.98
Total	162	176415.18			

Avancée du trait de côte 1952-1961 S3					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	% m ² surface	M ² /an
Dune	7	8340.41	4.3%	3.5%	926.71
Veg continentale sur les falaises dures	128	116093.32	79.5%	48.8%	12899.25
Veg sur les falaises meubles	5	994.27	3.1%	0.4%	110.47
Vasière	20	34535.18	12.4%	14.5%	3837.24
Schorre	1	77847.08	0.6%	32.7%	8649.67
Total	161	237810.26			

Tableau 28 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littoral du secteur3, période1952-1961.

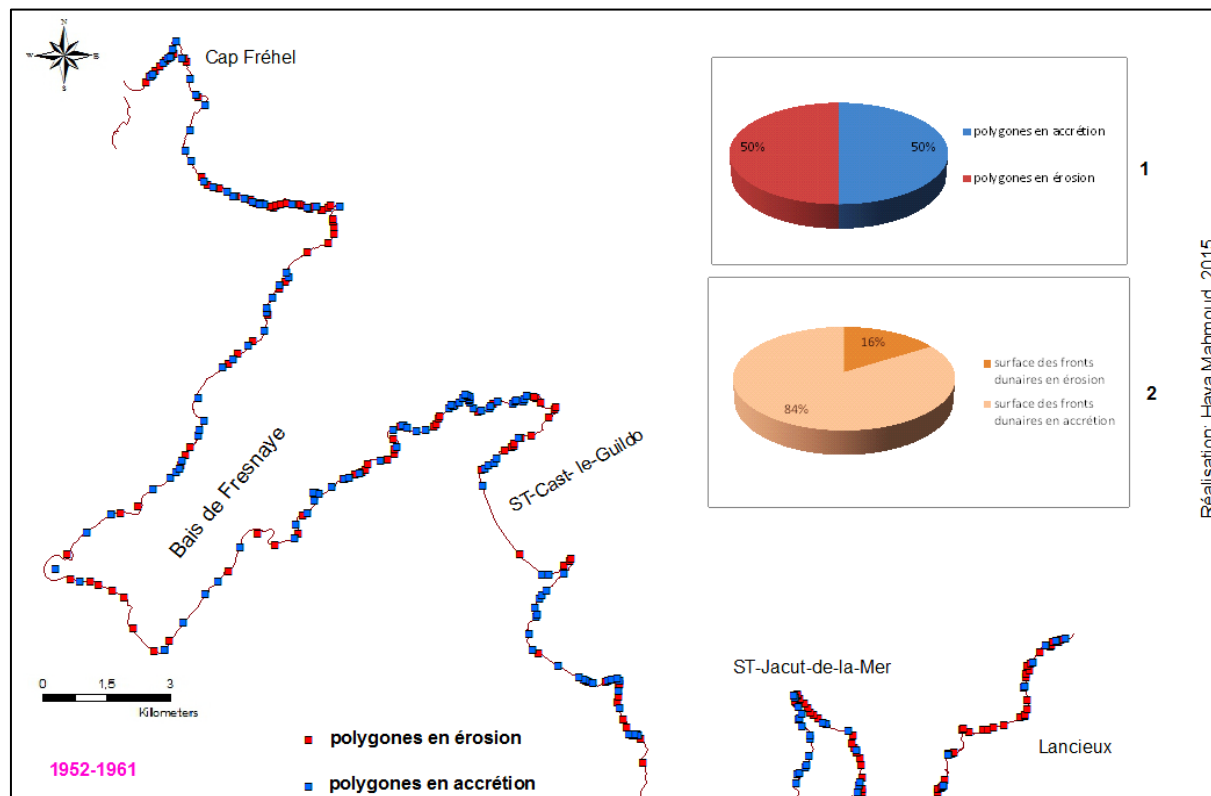


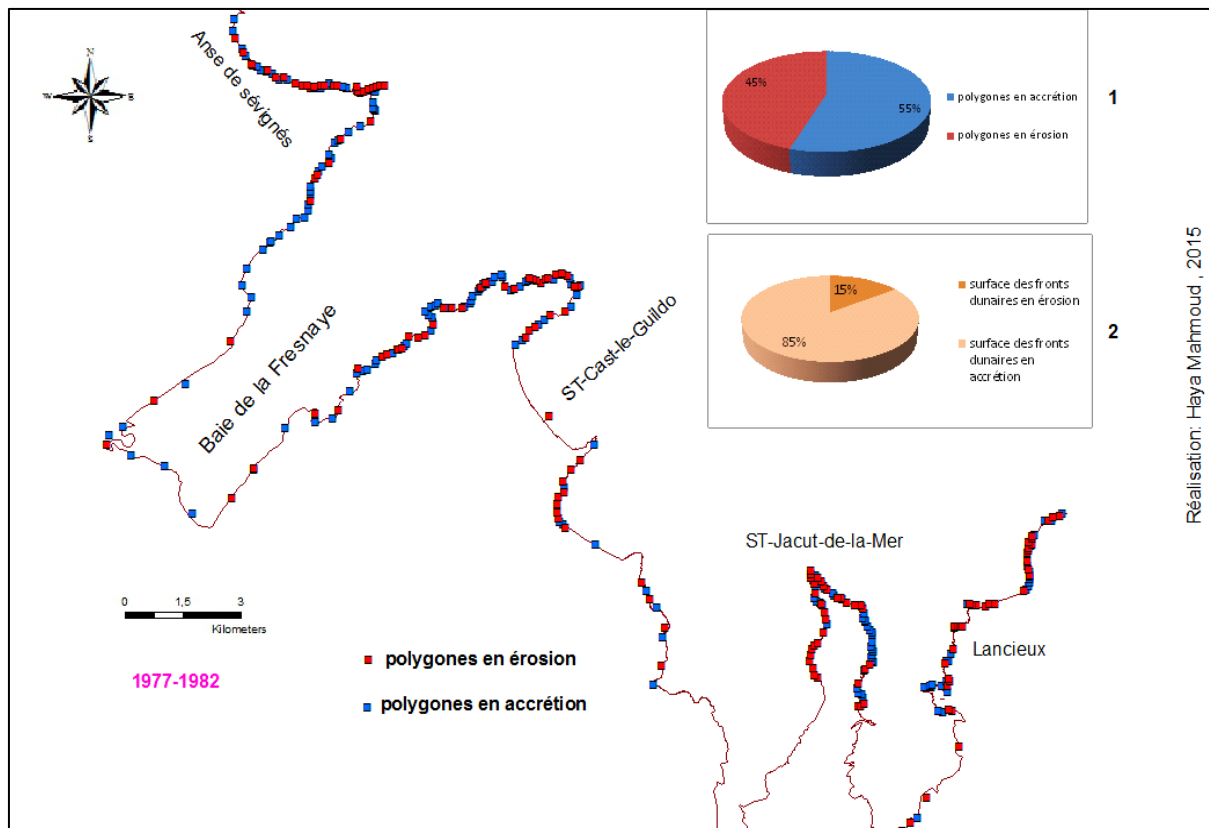
Figure 106 : Carte, mouvements du trait de côte au sein du secteur 3, 1952-1961

1977-1982 S3

Les plages enregistrent une progression du front dunaire notamment la plage de St Cast (le golfe), pour la plage des Briantais l'évolution du front dunaire est marquée par une alternance spatiale de poches d'érosion et d'accrétion. Un recul constant des falaises meubles et une progradation de limite de végétations sur le sommet de falaises dures doivent être notés.

Recul du trait de côte 1977-1982 S3					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	% m ² surface	M ² /an
Dune	7	2582.67	4.7%	2%	516.53
Falaise dure	124	54714.74	84%	43%	10942.94
F meuble	9	15156.98	6.1%	11.9%	3031.39
Vasière	5	32807.84	3.4%	25.8%	6561.56
Schorre	2	21893.69	1.3%	17.2%	4378.73
Total	147	127155.92			
Avancée du trait de côte 1977-1982 S3					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m ²	% polygone	%m ² surface	M ² /an
Dune	7	14673.42	3.9%	5.2%	2934.68
Veg continentale sur les falaises dures	156	81902.63	87%	29.9%	16380.52
Veg sur les falaises meubles	5	1620,49	2.7%	0.5%	324.09
Vasière	4	96830.90	2.2%	34.3%	19366.18
Schorre	7	86929.82	3.9%	30.8%	17385.96
Total	179	281957.26			

Tableau 29 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur3, période 1977-1982



Réalisation: Haya Mahmoud , 2015

Figure 107 : Carte, mouvements du trait de côte au sein du secteur 3, 1977-1982

Période : 1982-1998 S3

À partir des années 1982, l'évolution du massif dunaire semble être dominée par l'importance des processus d'accumulation, c'est une période de restauration pour les massifs dunaires de la Briantais. Les surfaces en accrétion au sein des massifs dunaires représentent 24831.36 m² (1551.96m²/an) quand les surfaces en érosion ne représentent que 8917.13 m² (557.32 m²/an).

Recul du trait de côte 1982-1998 S3					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m²	% polygone	% m² surface	M² /an
Dune	9	8917.13	6.7%	2.5%	557.32
Falaise dure	101	101000.59	75.3%	28%	6312.58
F meuble	16	59545.35	11.9%	16.7%	3721.58
Vasière	7	115124.58	5.2%	32%	7195.28
Schorre	1	70688.04	0.7%	19.8%	4418
Total	134	355275.69			

Avancée du trait de côte 1982-1998 S3					
Catégorie	Nb de polygones	Surface en m²	% polygone	%m² surface	M² /an
Dune	8	24831.36	8.2%	8%	1551.96
Veg continentale sur les falaises dures	74	204300.62	76.2%	66%	12768.78
Veg sur les falaises meubles	6	21445.77	6.1%	0.69%	134.11
Vasière	8	28583.95	8.2%	9.2%	1796.49
Schorre	1	47632	1%	15.4%	2977
Total	97	307493.7			

Tableau 30 : synthèse de l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur1, période 1982-1998

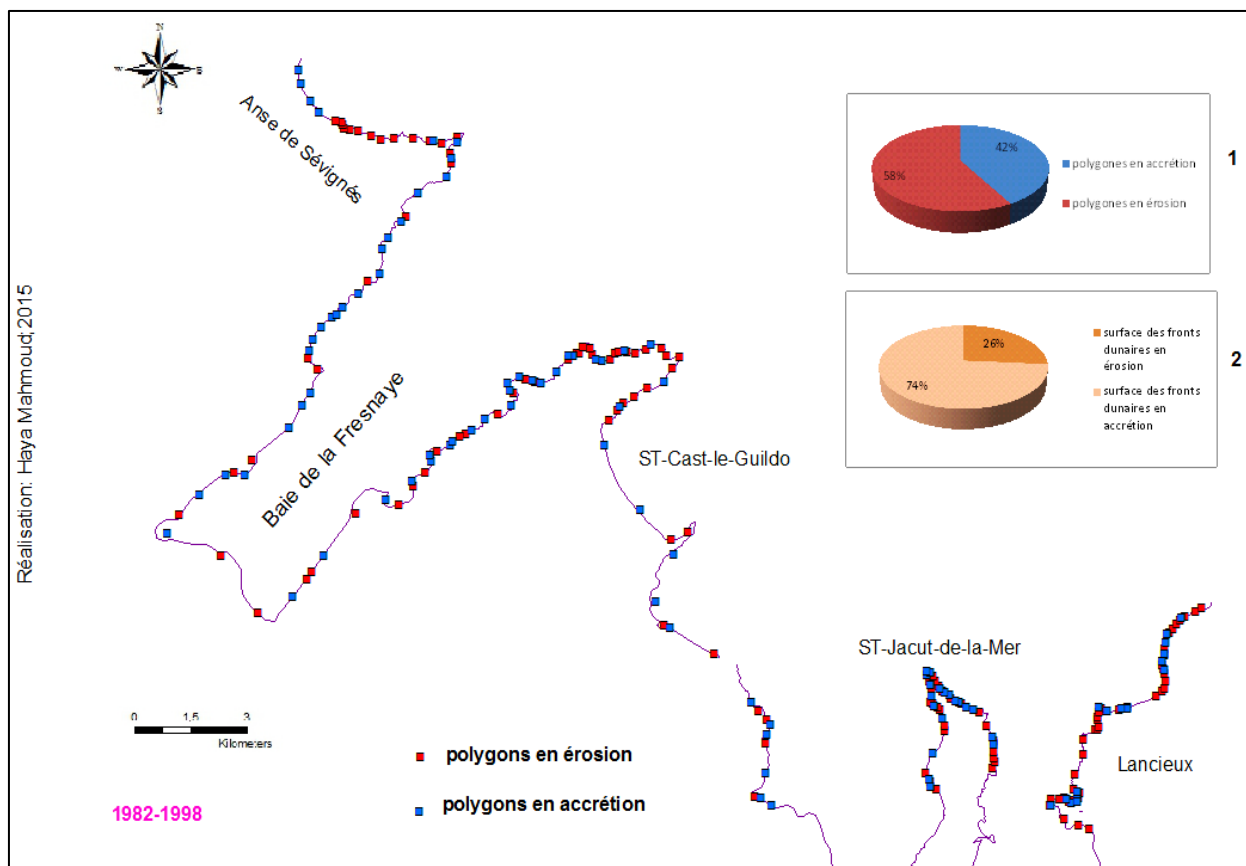


Figure 108 : Carte, mouvements du trait de côte au sein du secteur 3 ,1982-1998

Synthèse

L'analyse des variations de la position de la ligne de rivage a été effectuée sur différents pas de temps. Sur le temps long, entre 1952 et 2010, le bilan sédimentaire surfacique est excédentaire dans l'ensemble des secteurs 2 et 3 (1952-2008), en revanche il est négatif pour le premier secteur.

Sur des pas de temps plus courts, l'évolution du trait de côte est marquée par des rythmes très contrastés : la côte a subi des périodes d'érosion et d'accumulation alternativement.

De manière générale, pour l'ensemble des systèmes littoraux étudiés, les périodes 1952 – 1961, 1961-1977 et 1977-1982 sont marquées par une forte importance des processus érosifs, concernant majoritairement les massifs dunaires au sein de secteur 1. A l'inverse, la période 1982 – 1998, et 1998-2010 est dominée par des processus d'accumulation sédimentaire. Ce comportement est totalement différent en secteur 2 : sur le temps long 1952-2010 les processus érosion / accrétion sont en équilibre pour les massifs dunaires, une seule phase de recul a été enregistrée au cours de la période 1977-1982.

Chapitre 6 : Analyse spatiale de la mobilité du trait de côte et identification des schémas de circulation hydro-sédimentaire

Dans cette partie est analysée la tendance de l'évolution du trait de côte. Pour chaque site où c'est possible, le bilan surfacique est calculé par intervalle de temps (entre deux dates de photos). Un premier tableau donne les valeurs entre l'état initial (1952) et chacune des dates de photos ultérieure. On voit ainsi que le calcul d'une vitesse moyenne d'évolution peut très significativement varier entre, par exemple 1952 et 1982 d'une part, 1952 et 2010 d'autre part. De tels tableaux doivent donc être lus en considérant que la notion de moyenne ne signifie pas toujours quelque chose de très linéaire sur le terrain.

D'autres tableaux présentent ensuite l'évolution entre deux dates successives ce qui permet de corrélérer relativement bien les comportements morphologiques et les aménagements. Un bilan surfacique est présenté sous forme de tableau.

Une carte présente aussi les différents tracés du littoral. Sur cette carte sont localisés des transects. Ensuite le long des transects les plus caractéristiques une droite de régression est calculée qui illustre alors une tendance. Chaque interception du transect avec la position du littoral est calculée. Pour tous les transects entre par exemple 52 et 61 la différence de position est exprimée en positif s'il y a accrétion, négatif s'il y a recul. Une valeur nulle implique l'absence de mouvement (ou un mouvement inférieur à la marge d'erreur). Ensuite une moyenne pour tous les profils est calculée et appelée « mobilité totale entre telle date et telle date ». Une moyenne des valeurs de recul (pour les profils en recul uniquement) est aussi calculée et une troisième pour les valeurs de profils en avancée uniquement. Le nombre de profils en recul n'est pas nécessairement égal au nombre de profils en avancée donc la valeur de la mobilité totale n'est pas forcément la moyenne entre les valeurs d'avancée et de recul. Ces moyennes sont établies pour chaque intervalle de temps et une droite de régression est ensuite calculée à partir de leur série.

La seconde partie de ce chapitre tente ensuite d'établir une cartographie des principales cellules sédimentaires dont on postule que le fonctionnement peut être l'élément majeur pour expliquer la mobilité observée.

En géomorphologie littorale la droite de régression est considérée comme une des méthodes de modélisation descriptive la moins aléatoire (**Crowell, Leatherman et al. 1993, Fenster, Dolan et al. 2001**).

Dans cette équation ($ax+b$) le coefficient directeur « a » correspond à la vitesse positive ou négative) d'évolution du trait de côte. Il faut cependant noter que l'avancée ou le recul d'un trait de côte n'est pas nécessairement régulier durant le temps ce qui implique d'être prudent dans l'interprétation de cette valeur. La qualité de l'ajustement linéaire a été appréciée par le calcul du coefficient de détermination (**R²**). (Si r^2 est proche de 1 => bonne qualité d'ajustement, forte relation). Dans la plupart des cas étudiés le R^2 est mauvais, indiquant alors que la motion de tendance est très discutable.

I. La mobilité du trait de côte aux fronts dunaires de secteur 1

I.1 La mobilité du trait de côte à l'anse du Verger

Cette plage est divisée en deux secteurs, le secteur(A) représente le système plage –dune, le secteur (B) représente le système plage - falaise meuble. Les mesures ont été appliquées à chacun des secteurs séparément afin de connaître le mécanisme de mobilité de trait de côte sur chacun d'eux. L'évolution de secteur A (qui s'étend entre les profils P5 et P70) est marquée par le recul (figure 107). Les pertes surfaciques sont estimées à **-381.96 m²/an** au cours de la période 1952-1961. Dans le secteur B le système plage-falaise meuble se situe entre les profils P70 et P85. Au cours de la période 52-61 les valeurs d'érosion sont inférieures à la marge d'erreur et la vitesse de recul est assez faible, estimée à 10 cm/an en moyenne. La couverture végétale de ce secteur était homogène et dense (dune grimpante) contrairement aux périodes suivantes, c'est pour cette raison que la moyenne 52-2010 ne différencie pas les deux secteurs. Voir le tableau (31)

Anse du Verger		
1952-1961		
	Secteur A Système plage-dune	Secteur B Système falaise meuble
Surface en érosion m ² /an	-318.96	-
Vitesse de recul m/an	-0.91	-0.02
Anse du Verger		
1952-1977		
	Secteur A Système plage-dune	Secteur B Système falaise meuble
Surface en érosion m ² /an	-884	-58.46
Vitesse de recul m/an	-1.32	-0.39
Anse du Verger		
1952- 1982		
	Secteur A Système plage-dune	Secteur B Système falaise meuble
Surface en érosion m ² /an	-829.84	- 50.82
Vitesse de recul m/an	-1.17	- 0.37
Anse du Verger		
1952-1998		
	Secteur A Système plage-dune	Secteur B Système falaise meuble
Surface en érosion m ² /an	-324.82	-134.90
Vitesse de recul m/an	-0.73	-0.56
Anse du Verger		
1952- 2010		
	Secteur A Système plage-dune	Secteur B Système falaise meuble
Surface en érosion m ² /an	-276.27	
Vitesse de recul m/an	- 0.48	-0.32

Tableau 31 : Les surfaces perdues et les vitesses de recul par traitement numérique de photographies aériennes

Ces moyennes varient du simple au triple suivant que l'intervalle de temps varie entre 58 ans et 25 ans. Ce qu'il faut retenir est que la notion de moyenne ne signifie pas vraiment grand-chose.

Cependant le fait que plus la durée de calcul est longue, plus la vitesse de recul est lente signale probablement que sur le long terme les pratiques locales d'aménagement ont permis de réduire les reculs.

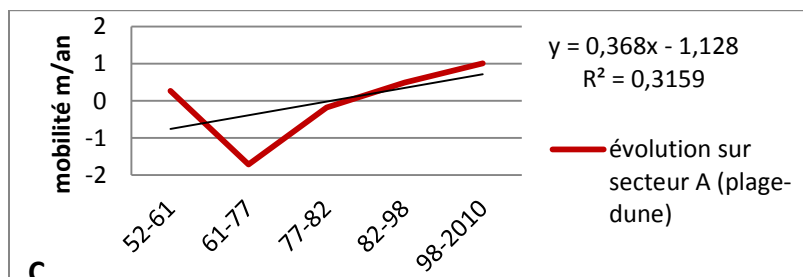
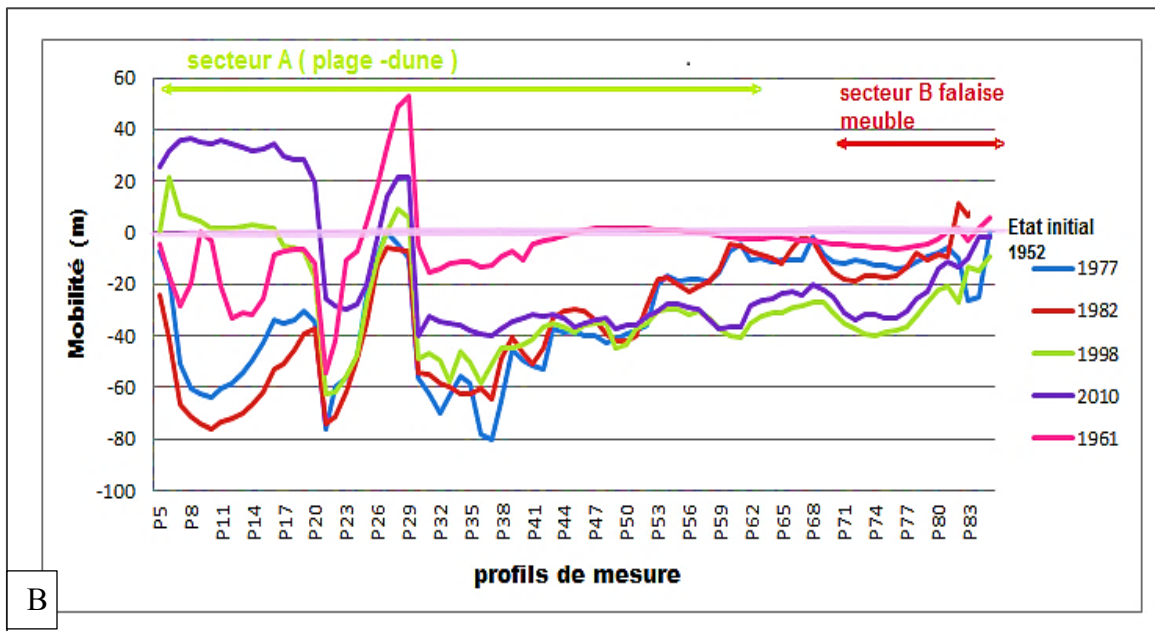
Le bilan surfacique et le tableau ci-dessous permettent également de constater que sur le long terme les reculs sont moins importants que sur de courtes périodes. De 1952 à 1977 la mobilité totale est négative sur l'ensemble des deux secteurs (A plage- dune et B falaise meuble) contrairement aux périodes 82-98 et 98-2010 qui ont enregistré une mobilité positive sur l'ensemble du secteur A. En effet, à partir de 1982 le site est mis en réserve partielle et une politique de réaménagement est mise en place. Au cours des années 1982-1998 et 1998-2010 le secteur A a connu une mobilité positive **+0.29 m/an** et **+1.01m/an**.

Anse du Verger		
1952-1961		
	Secteur A Système plage-dune	Secteur B Système falaise meuble
Mobilité totale m/an	+0.27	-0.01
Vitesse d'avancement m/an	0.78	0.19
Vitesse moyenne de recul m/an	-0.91	-0.2
Anse du Verger		
1961-1977		
	Secteur A Système plage-dune	Secteur B Système falaise meuble
Mobilité totale m/an	-1.71	-0.72
Vitesse d'avancement m/an	-	-
Vitesse moyenne de recul m/an	-1.71	-0.61
Anse du Verger		
1977-1982		
	Secteur A Système plage-dune	Secteur B Système falaise meuble
Mobilité totale m/an	-0.18	-0.38
Vitesse moyenne d'avancement m/an	0.36	*
Vitesse moyenne de recul m/an	-1.27	-1.16
Anse du Verger		
1982-1998		
	Secteur A Système plage-dune	Secteur B Système falaise meuble
Mobilité totale m/an	+0.49	-0.76
Vitesse moyenne d'avancement m/an	1.75	-
Vitesse moyenne de recul m/an	-0.58	-0.76
Anse du Verger		
1998-2010		
	Secteur A Système plage-dune	Secteur B Système falaise meuble
Mobilité totale m/an	+1.01	+ 0.4
Vitesse d'avancement m/an	1.01	0.29
Vitesse moyenne de recul m/an	-	-

Tableau 32 : Evolution du trait de côte sur l'ensemble des secteurs au sein de l'Anse du Verger par traitement numérique de photographies aériennes



Figure 109: cinématique du trait de côte au sien d'Anse du Verger sur l'ensemble de ses secteurs (plage-dune, falaise meuble)



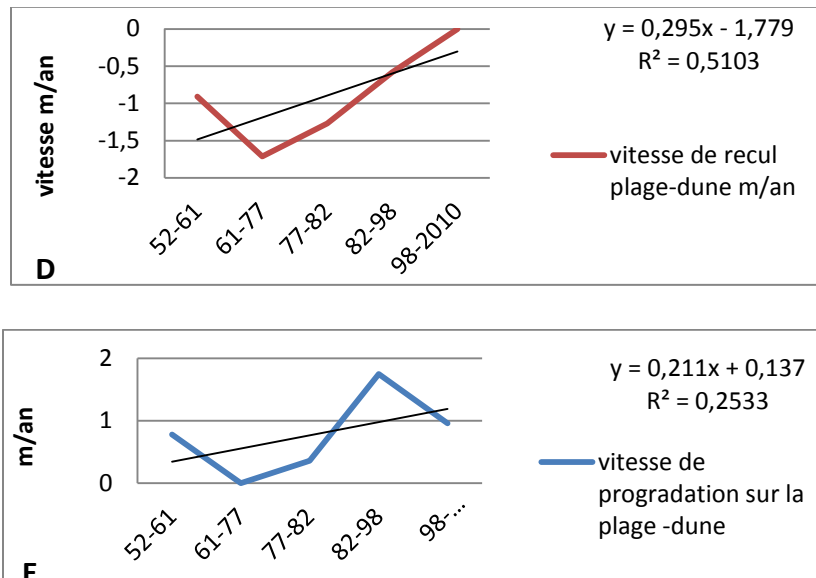


Figure 110 : (B), cinématique du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)

Figure 111 : (c), Evolution de mobilité moyenne sur le secteur A système plage –dune (Anse du Verger)

Figure 112 : (D), Evolution de vitesse moyenne de recul sur le secteur A système plage –dune

Figure 113 : (E), Evolution de vitesse moyenne d’avancement de front de végétation sur le secteur A système plage –dune

Les tendances obtenues à partir des droites de régression montrent des vitesses de recul très variables d’une période à l’autre pour le secteur A, avec une qualité de l’ajustement linéaire très moyenne **$R^2= 0.51$**

Les années 1961-1977 enregistrent une accélération du recul surtout vers les profils P5-P10, P30-P35 (voir la figure 114). En revanche cette tendance se ralentit à partir de 1982 grâce à l’aménagement appliqué sur les dunes et entre 1998- 2010 aucun recul n’a été enregistré. Cependant la qualité de l’ajustement linéaire de vitesse de progradation est moins bonne

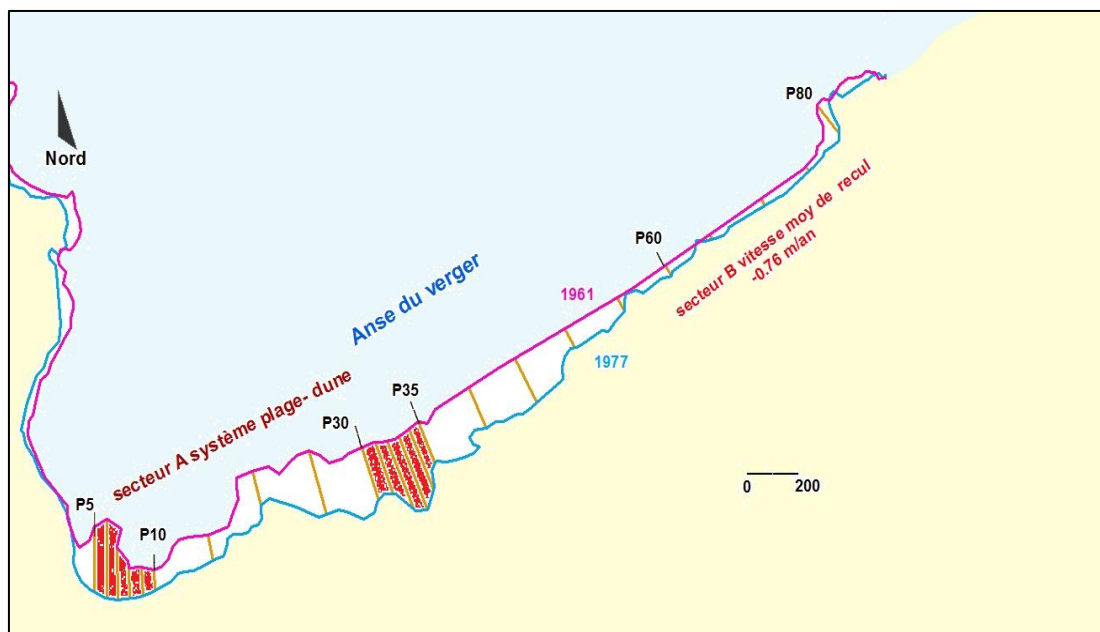


Figure 114 : les profils les plus touchés par le recul 1961-1977 Anse du Verger

Vitesse de Recul m sur le secteur A					Recul moyen m/an
Profil	Période	Maximal	Minimal	Moyenne	
P10-P15	1952-1961	-30.88	-19.02	-25.43	-2.8
P20-P25		-52.23	-5.13	-23.17	-2.5
P5-P10	1961-1977	-64.70	-15.66	-36.06	-2.2
P30-P35		-65.55	-37.11	-51.34	-3.2
P10-P15	1977-1982	-17.05	-10.36	-15.68	-3.1
P60-P65	1982-1998	-34.40	-18.50	-26.23	-1.6
x	1998-2010	x	x	x	X

Tableau 33 : évolution de la vitesse de recul sur le système plage –dune mesurée le long des profils entre 1952 et 2010

Vitesse d'avancement m sur le secteur A					Progradation moyenne m/an
Profile	Période	Maximal	Minimal	Moyenne	
P25-P30	1952-1961	50.82	16.39	33.27	3.6
x	1961-1977	x	x	x	X
P35-P40	1977-1982	32.71	5.10	13.52	2.7
P10-P20	1982-1998	74.91	18.61	45.52	2.8
P5- P25	1998-2010	35.24	5.30	27.51	2.3

Tableau 34 : évolution de la vitesse d'avancement sur le système plage –dune mesurée le long des profils entre 1952 et 2010 Anse du Verger

Dans l'Est de l'Anse (secteur B) la falaise meuble connaît un recul graduel à partir de l'année 1961. La quantité de recul atteint 19 m en moyenne (vers 0.32 m/an) entre 1952-2010. Cependant la période 1982-1998 a connu une vitesse moyenne de recul de **-0.76 m/an**. Ce recul est presque totalement produit par les successions d'événements tempétueux particulièrement violents (1991, 1994 et 1997) qui surviennent en vives eaux durant l'étale de haute mer.

Anse du Verger secteur B					
Profil	Période	Recul moyen en m	Vitesse de recul moyenne m/an		Vitesse d'avancement moyenne m/an
P70-P75	1952-1961	-2.05	-0.22		
P80-P85		1.79			
P60-P70	1961-1977	-5.27	-0.32	-0.61	
P75-P80		-14.4	-0.90		
P70-P75	1977-1982	-2.72	-0.54		
P80-P85		4.55			
P70-P75	1982-1998	-15.81	-0.98	-0.76	
P80-P85		-8.69	-0.54		
P70-P75	1998-2010	3.08	0.25		+0.41
P80-P85		6.99			

Tableau 35 : évolution de la vitesse de recul sur le système falaise meuble mesurée le long des profils entre 1952 et 2010 Anse du Verger

Il est intéressant de noter que les vitesses de recul sont plus marquées entre les profils P70 et P75 (sauf 1961-1977), où l'altitude de la falaise est comprise entre 1.50 m et 5 mètres et où elle est facilement et fréquemment atteinte par les vagues lors de tempêtes figures 115 et 116. L'érosion est plus faible entre les profils P75- P80 où l'altitude de falaise est plus haute et où elle bénéficie de la présence d'un proéminent platier rocheux qui diminue l'énergie des vagues figures 117 et 118.



Figure 115 : Anse du Verger, 14 mars 2015



Figure 116 : Verger falaise meuble, 3 octobre 2014



Figure 117 : Anse du Verger falaise meuble octobre 2014



Figure 118 : Anse du Verger, 14 mars 2015

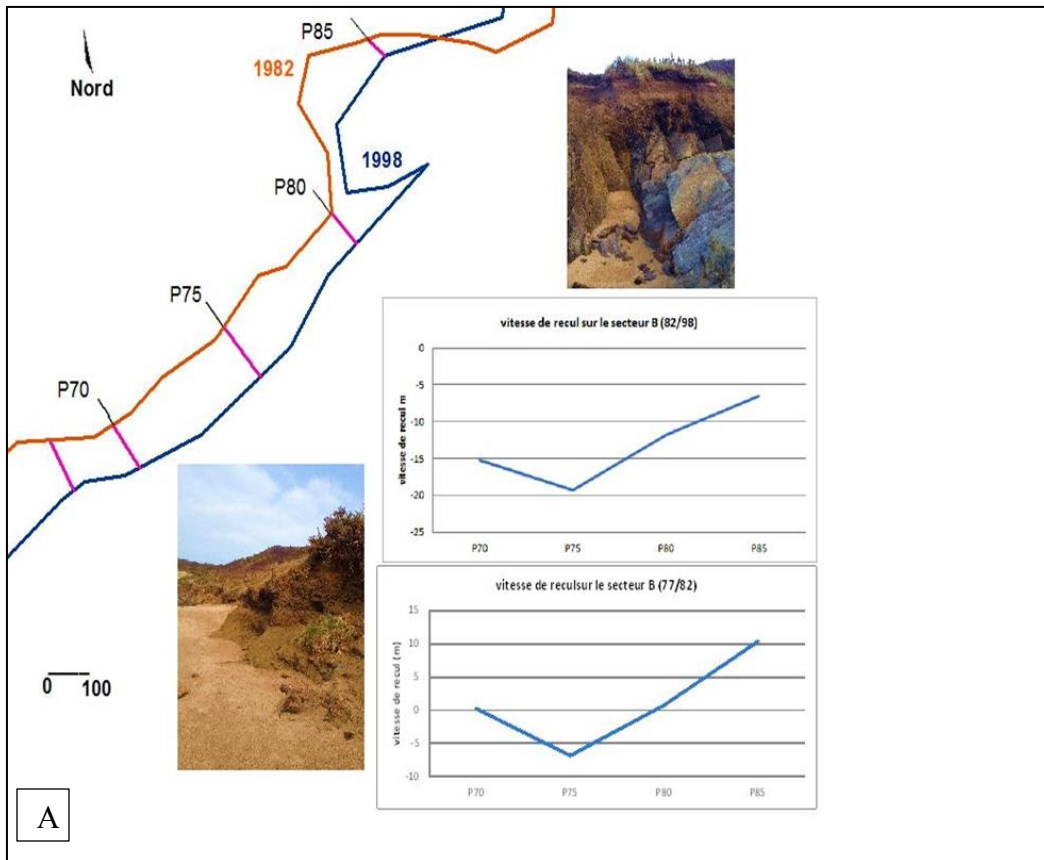


Figure 119 : Trait de côte 82-98 : profils et tendances (non représentatives)

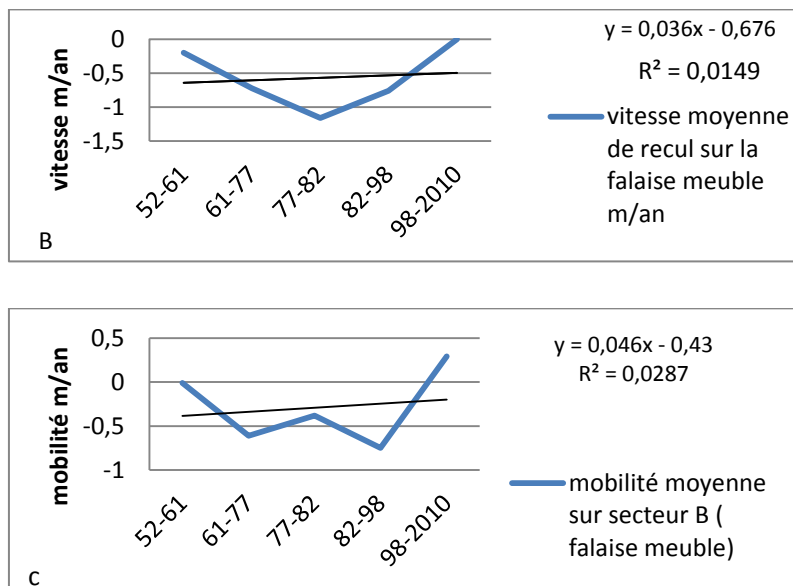


Figure 120 : (B) Evolution de vitesse moyenne de recul sur le secteur B falaise meuble

Figure 121 : (C) Evolution de la mobilité moyenne pour les profils 75 à 80 secteurs de falaise meuble, valeurs moyennes (non significatives)

Ce secteur (vers les profils 80) se caractérise par une plus faible mobilité et les tendances obtenues ne sont pas significatives ($R^2 < 0,1$). Un seul cas d'avancée est à noter en 1998-2010 mobilité = **+0.29m/an**

1.2 - La mobilité du trait de côte Anse du Guesclin (secteur 1)

La mesure de l'évolution du trait de côte a été réalisée pour la période 1952 à 2010 (voir le tableau de l'évolution du trait de côte). La première phase de dégradation du massif dunaire d'un point de vue géomorphologique en raison du prélèvement de matériaux a eu lieu pendant les années soixante (photos 3 a ,3b), la vitesse de recul atteint -1.38 m/an. Aucune progression n'a été enregistrée à cette époque. Cet état de dégradation a été accentué pendant les années 70 par une fréquentation touristique non contrôlée, et les surfaces de dunes disparues s'élèvent 45939.94 m².

Par la suite, pendant une période allant de 1982 à 1998, le massif dunaire de l'Anse du Guesclin est en phase d'accrétion avec des surfaces d'environ 15183.59 m² de dune reconstituées sur les blocs rocheux installés le long de la route. La vitesse de progression du trait de côte estimée à 0.94m/an ; le massif dunaire tend à retrouver un profil dunaire caractéristique d'un bilan sédimentaire positif mais il ne peut pas contrecarrer une tendance érosive globale sur l'ensemble de la période (figure 119) (52-2010 profil) .

Anse du Guesclin			
Période	Vitesse moyenne de recul m/an	Vitesse moyenne d'avancement m/an	Mobilité moyenne m/an
1952-1961	-1.38	–	-1.38
1952-1977	-1.92	–	-1.92
1952-1982	-1.82	–	-1.82
1952-1998	-0.76	–	-0.76
1952-2010	-0.75	–	-0.75

Tableau 36 : évolution du mouvement du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)

Anse du Guesclin			
Période	Vitesse moyenne de recul m/an	Vitesse moyenne d'avancement m/an	Mobilité moyenne m/an
1952-1961	-1.38	–	-1.38
1961-1977	-2.01	–	-2.01
1977-1982	-0.61	–	-0.61
1982-1998	-0.41	0.94	0.72
1998-2010	-0.49	*	-0.41
1952-2010	-0.75	–	-0.75

Tableau 37 : évolution du trait de côte, Anse du Guesclin entre 1952-2010 ; * Inférieur à la marge d'erreur.

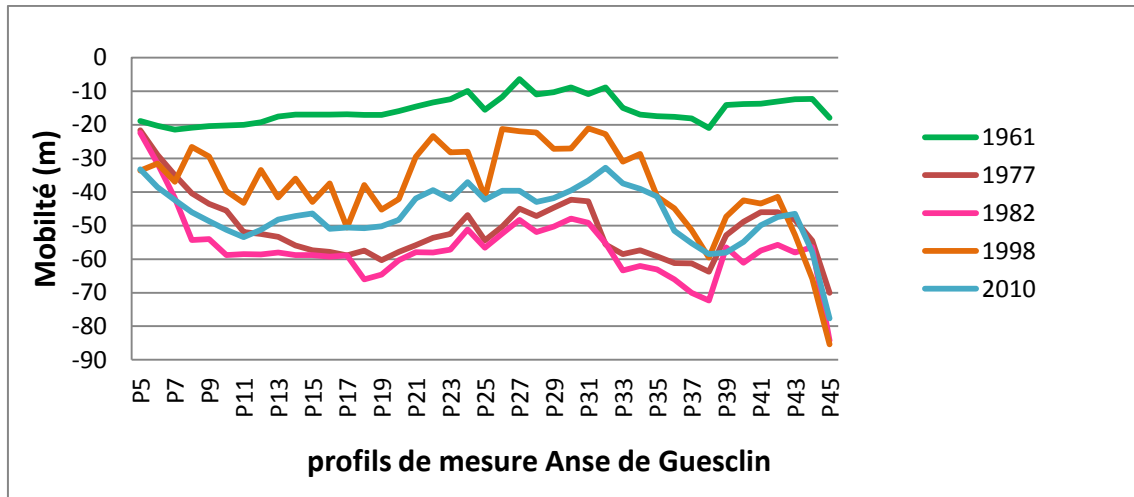


Figure 122 : cinématique du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)

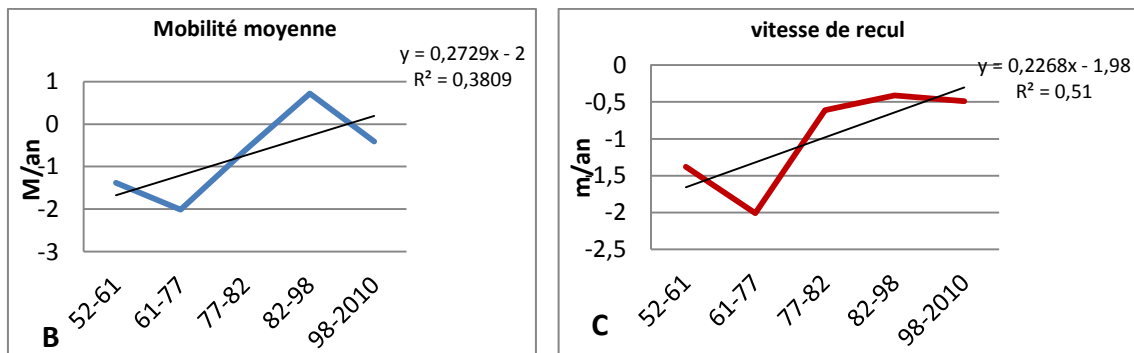


Figure 123 : (B) Evolution de la mobilité moyenne (Anse du Guesclin)

Figure 124 : (c) Evolution de la vitesse moyenne de recul de l'Anse du Guesclin

La mobilité de la plage est caractérisée par une tendance nette au recul au cours des dernières 58 années (sauf la période 1982-1998), ce qui témoigne d'un bilan sédimentaire déficitaire. La tendance obtenue à partir des droites de régression montre des vitesses de recul assez variables et relativement fortes, les plus importantes, estimées à 2.01m/an ayant lieu entre 1961 et 1977.

I.3. La mobilité du trait de côte des dunes de Chevret (Secteur 1)

L'évolution de la dune des Chevret entre 1952 et 2010 se caractérise par le comportement différent de deux parties : les profils 22 à 29 sont souvent en recul rapide (0,6 m/an) tandis que le reste du cordon dunaire recule peu. Malgré quelques exceptions tous les périodes montrent des vitesses d'évolution ne dépassant pas quelques centimètres par an en moyenne pour les années 1961-82-98.

Plage de Chevret			
Période	Vitesse moyenne de recul m/an	Vitesse moyenne d'avancement m/an	Mobilité moyenne m/an
1952-1961	-0.02	0.15	0.02
1952-1977	-0.1	0.29	0.2
1952-1982	-0.1	0.01	*
1952-1998	-0.18	0.04	-0.12
1952-2010	-0.24	0.02	-0.06

Tableau 38 : évolution du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)

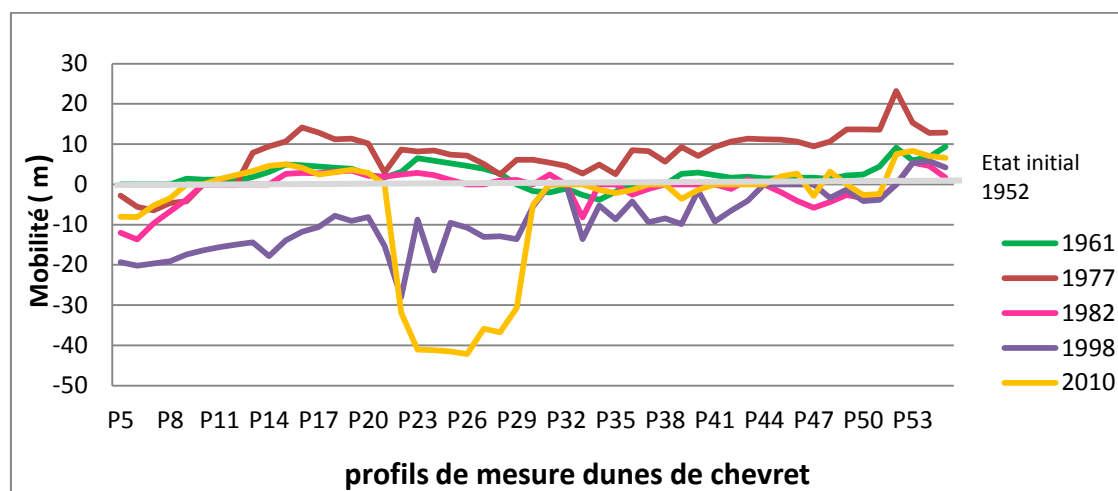


Figure 125 : cinématique du trait de côte par rapport à sa position en 1952 (état initial)

Dunes de chevret			
Période	Vitesse moyenne de recul m/an	Vitesse moyenne d'avancement m/an	Mobilité moyenne m/an
1952-1961	-0.02	0.15	0.02
1961-1977	-0.1	0.25	0.12
1977-1982	-1.15	0	-1.15
1982-1998	-0.53	0.05	-0.31
1998-2010	-1.83	0.57	0.1
1952-2010	-0.24	0.02	-0.06

Tableau 39 : Evolution du trait de côte dans les dunes de Chevret entre 1952-2010.

En général sur les dunes de Chevret les vitesses d'érosion sont lentes entrecoupées de courtes phases d'avancée. Au vu de sa mobilité on peut dire que la dune de Chevret est l'une des plus stables dans les secteurs 1 et 3, l'absence d'évolution significative (figure 126) vient du fait que les limites de végétations (recul et avancée) alternent régulièrement avec des mouvements faibles (inférieurs à 3 mètres) sur la majorité des profils.

Le faible hydrodynamisme de ce secteur littoral joue probablement aussi (Chapitre 2) Cette plage est protégée des houles de NE par la pointe du Meinga et des houles O- NO par la présence des écueils de Grand Chevret, du Petit Chevret et aussi par l'île Besnard

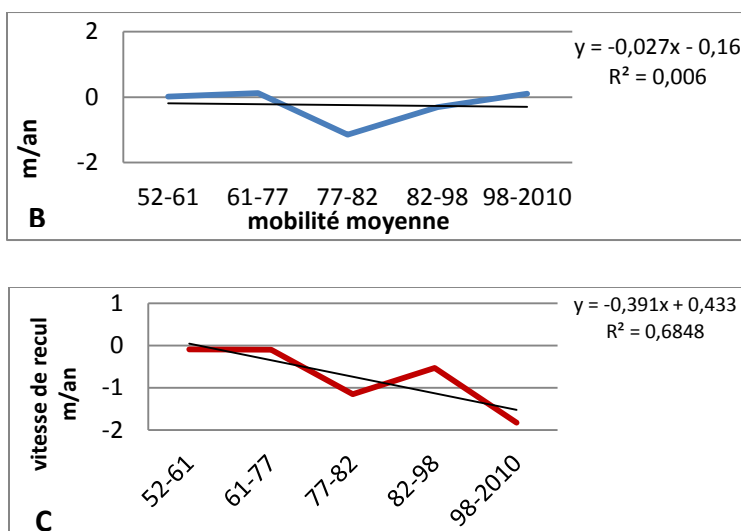


Figure 126 : (B) Evolution de mobilité moyenne, les Chevret

Figure 127 : (c) Evolution de vitesse moyenne de recul, les Chevret

1.4. La mobilité du trait de côte de Pointe de la Varde

Au cours de cette dernière période, le comportement évolutif de la position du trait de côte dans cette plage de poche s'est légèrement modifié. Alors que dans les périodes 1961-1977, le littoral présentait toujours une succession de segments en érosion, entre 1977-1982 la côte est nettement en érosion avec une vitesse moyenne du recul remarquable (tableau 40). En revanche les valeurs d'avancement sont limitées à un seul profil P5 et avec une moyenne annuelle très modeste pour cette période. Au cours de la période d'aménagement 1982-1998, la végétation sommitale connaît une avancée estimée à 2.16 m/an en moyenne.

Plage de la Varde			
Période	Vitesse moyenne de recul m/an	Vitesse moyenne d'avancement m/an	Mobilité moyenne m/an
1952-1961	*	*	*
1961-1977	-1.73	0.36	-1.15
1977-1982	-2.40	0.1	-1.96
1982-1998	-0.1	2.16	1.8
1998-2010	-0.15	0	-0.15
1952-2010	-0.08	*	-0.08

Tableau 40 : évolution du trait de côte, plage de la Varde entre 1952-2010

Plage de la Varde			
Période	Vitesse moyenne de recul m/an	Vitesse moyenne d'avancement m/an	Mobilité moyenne m/an
1952-1961	-0.14	0.01	-0.2
1952-1977	-1.15	0.17	-0.79
1952-1982	-1.11	0	-1.11
1952-1998	-0.01	0.02	*
1952-2010	-0.08	0	-0.08

Tableau 41 : évolution du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)

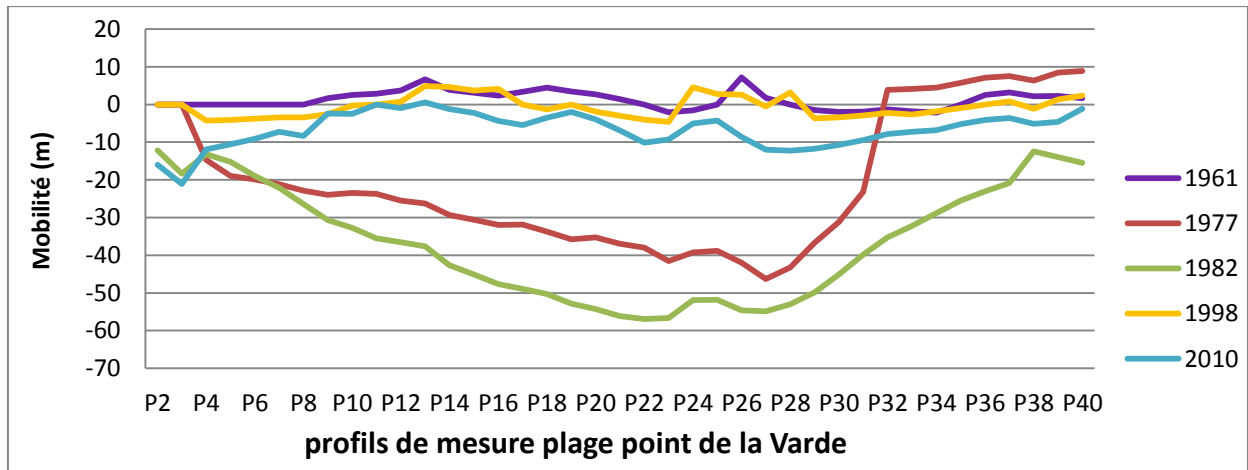


Figure 128 : cinématique du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)

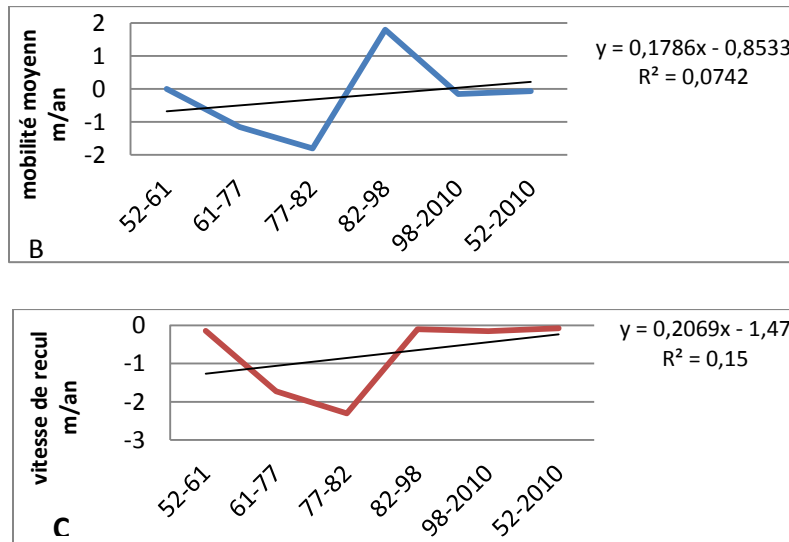


Figure 129 : (B) Evolution de la mobilité moyenne (Pointe de la Varde)

Figure 130 : (c) Evolution de la vitesse moyenne de recul de la Pointe de la Varde

L'avancée est particulièrement importante au cours de cette période liée au renforcement et à l'enrochement de la dune.

Après l'année 1998 la valeur d'érosion apparaît relativement modeste et implique des vitesses de recul assez faibles. La tendance obtenue à partir des droites de régression montre des vitesses de recul assez faibles et des valeurs moyennes de mobilité non significatives.

II. La mobilité au sein des plages de secteur 2

Toutes les formes d'accumulation du trait de côte étudiées par le traitement numérique des photos aérienne anciennes de 1952 et récentes 2010 pour ce secteur ont manifesté un recul au cours des années 1952-1961. A partir des années 1970 le recul des formes d'accumulation littorale connaît un ralentissement remarquable grâce à l'aménagement de type dur qui été appliqué sur le plus part des plages (installation de mur de protection sur les dunes face à la mer). Dans ce travail on va prendre deux exemples de ces plages

II.1. La mobilité du trait de côte sur la plage Port Blanc (Secteur 2)

Cette plage se situe à l'ouest de Dinard, séparée de la plage de la Fourberie par une petite pointe rocheuse. Elle abrite un camping municipal sur une superficie de 5,5 ha face à la mer. Jusqu'à l'année 1961, le recul est rapide, dépassant 1.9 m/an. En raison de la position d'abri dont bénéficie cette plage entre deux pointes rocheuses il est difficile d'expliquer cette vitesse de recul comme un résultat des houles qui arrivent à la plage. Le recul est certainement dû au camping sauvage et à la pression anthropique appliquée sur les dunes au cours de cette époque figure (131).



Figure 131 : Plage de Port Blanc en 1963 (recul de trait de côte A)

À partir des années 1970 la plage montre une certaine stabilité qui est liée à la pose d'enrochements ayant stoppé localement le recul de l'accumulation (figure 132).

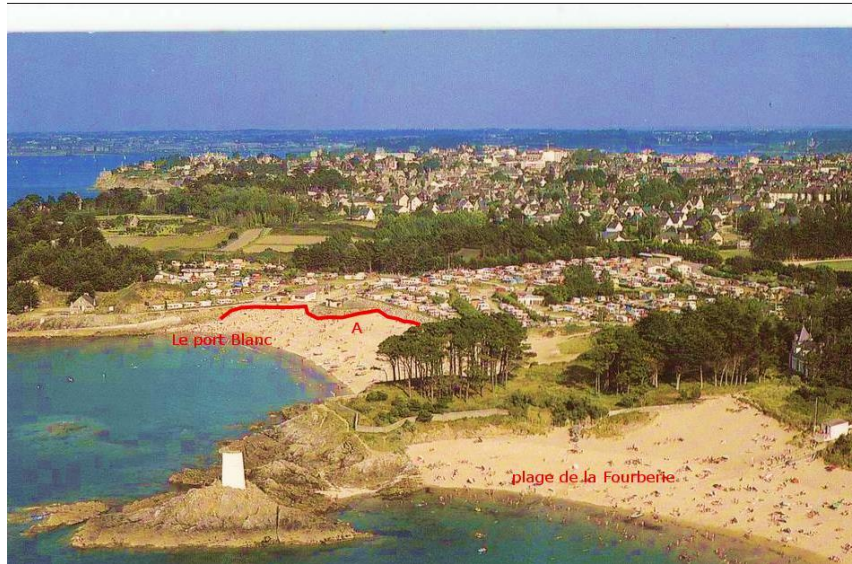


Figure 132: Plage de Port Blanc en 1972 trait de côte aménagé

Sur les profils 22 et 23 le recul au cours de la période 1998-2010 est estimé à 67 cm/an et est lié à l'expansion du parking sur le côté est de la plage.

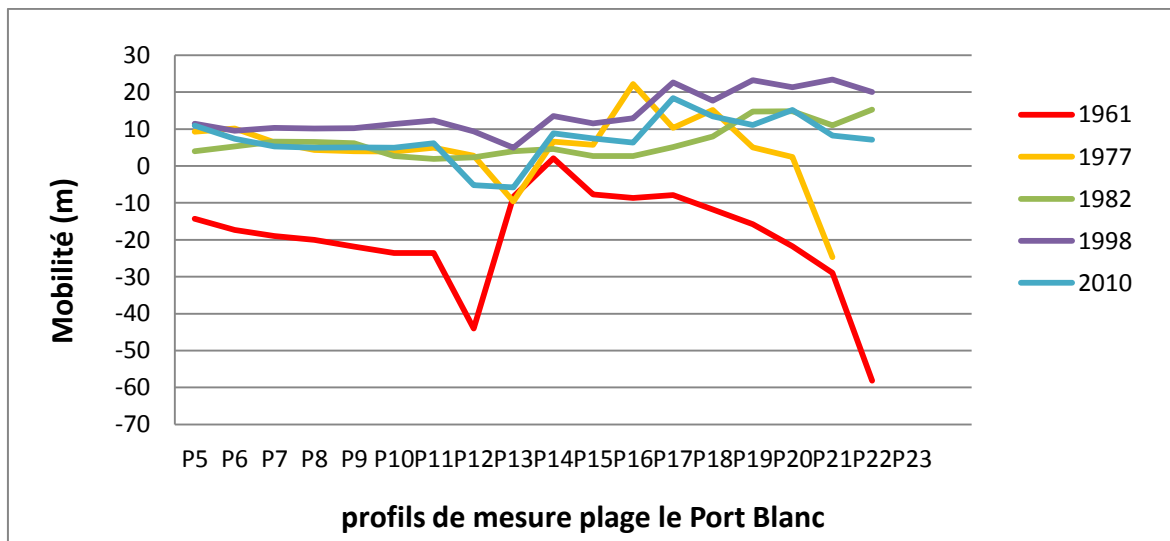


Figure 133 : cinématique du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)

Plage de Port Blanc			
Période	Vitesse moyenne de recul m/an	Vitesse moyenne d'avancement m/an	Mobilité moyenne m/an
1952-1961	-1.92	*	-1.8
1952-1977	-0.56	0.18	0.06
1952-1982	-0.19	0.16	0.1
1952-1998	0	0.31	0.31
1952-2010	-0.06	0.11	0.08

Tableau 42 : évolution du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)

Plage de Port Blanc			
Période	Vitesse moyenne de recul m/an	Vitesse moyenne d'avancement m/an	Mobilité moyenne m/an
1952-1961	-1.92	*	-1.8
1961-1977	0	1.3	1.3
1977-1982	*	0.59	*
1982-1998	0	0.49	0.49
1998-2010	-0.67	0	-0.67
1952-2010	-0.06	0.11	0.08

Tableau 43 : évolution du trait de côte, plage de Port Blanc entre 1952-2010

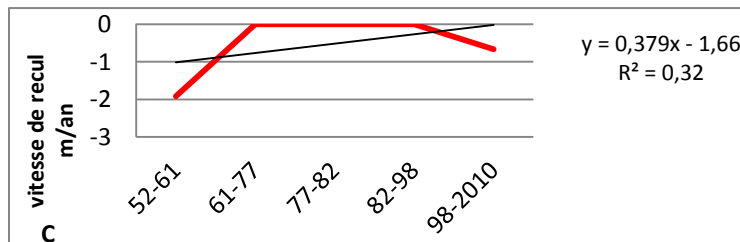
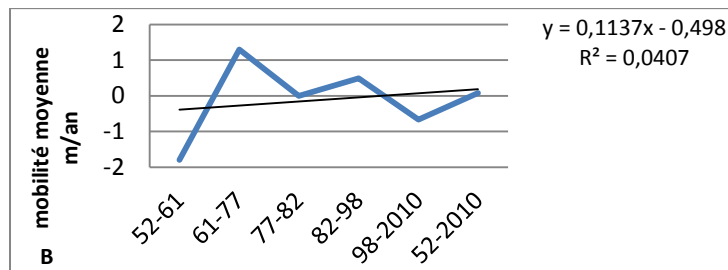


Figure 134 : (B) Evolution de la mobilité moyenne (plage de Port Blanc)

Figure 135 : (c) Evolution de la vitesse moyenne de recul (plage de Port Blanc)

II.2 La mobilité du trait de côte sur Plage de Port Hue (secteur 2)

Plage de port Hue (le Golf) S2			
Période	Vitesse moyenne de recul m/an	Vitesse moyenne d'avancement m/an	Mobilité moyenne m/an
1952-1961	-0.75	0.28	-0.06
1952-1977	-0.01	0.47	0.36
1952-1982	-0.12	0.18	*
1952-1998	-0.06	0.04	*
1952-2010	0	0.2	0.2

Tableau 44 : évolution du trait de côte, plage de Port Hue par rapport à sa position en 1952(état initial)

La faible mobilité des cordons est ici directement liée à la faiblesse des vagues qui arrivent sur la plage. Elles ont un pouvoir morphogène limité à cause du positionnement de l'île Dame Jouanne devant le site. L'aménagement qui été appliqué pour protéger les dunes (mur de protection dans la partie est de la plage) permet l'accrétion (sous forme de dune grimpante sur le mur) et la valeur d'avancement enregistré est de 0.98 m/an entre 1998-2010.

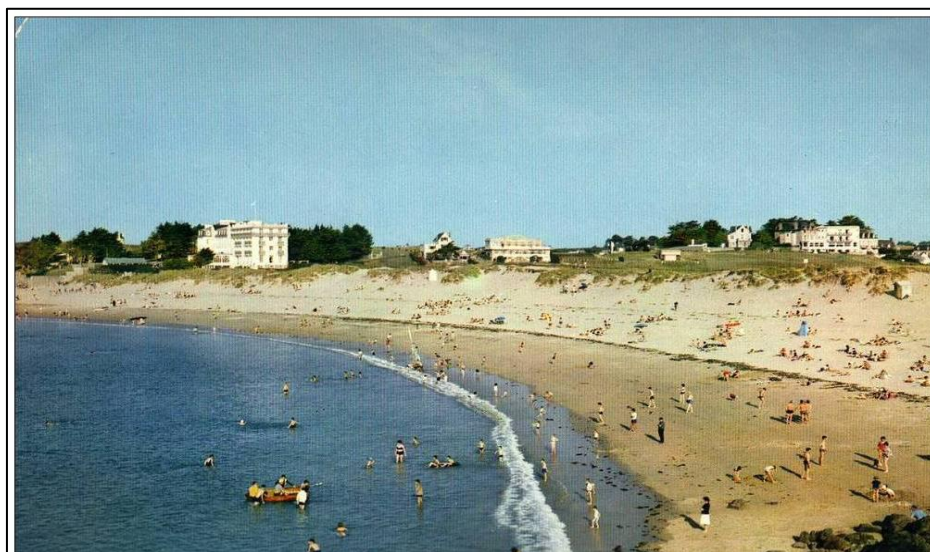


Figure 136 : plage de Port Hue 1960 reculs de végétation dunaire et absence d'aménagement

Les vitesses de recul les plus importantes, estimées à 0.75m/an au cours des années 1952-1961, résultent de l'exploitation du site en camping sauvage et du piétinement (figure 136). Entre 1977-1982 le massif dunaire était en très mauvais état. Depuis la période d'aménagement (1987) la vitesse de recul a commencé à ralentir tableau (45)

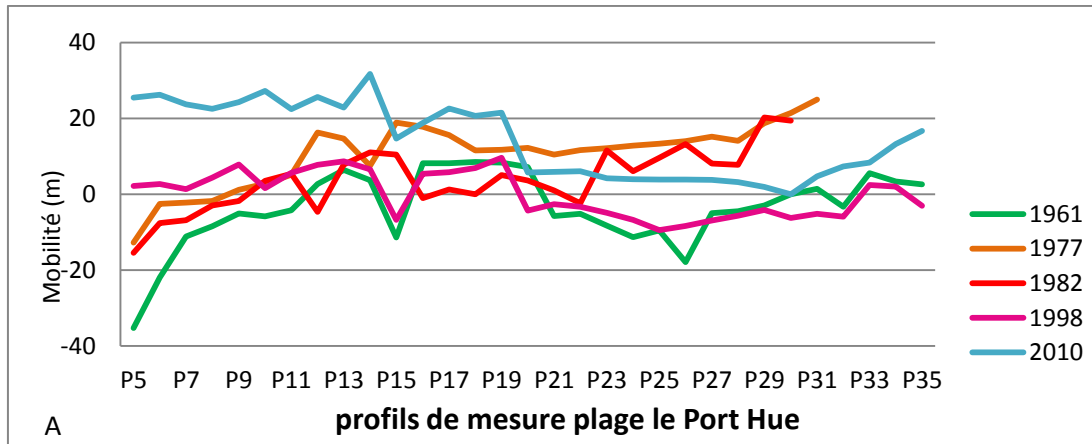


Figure 137 : cinématique du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)

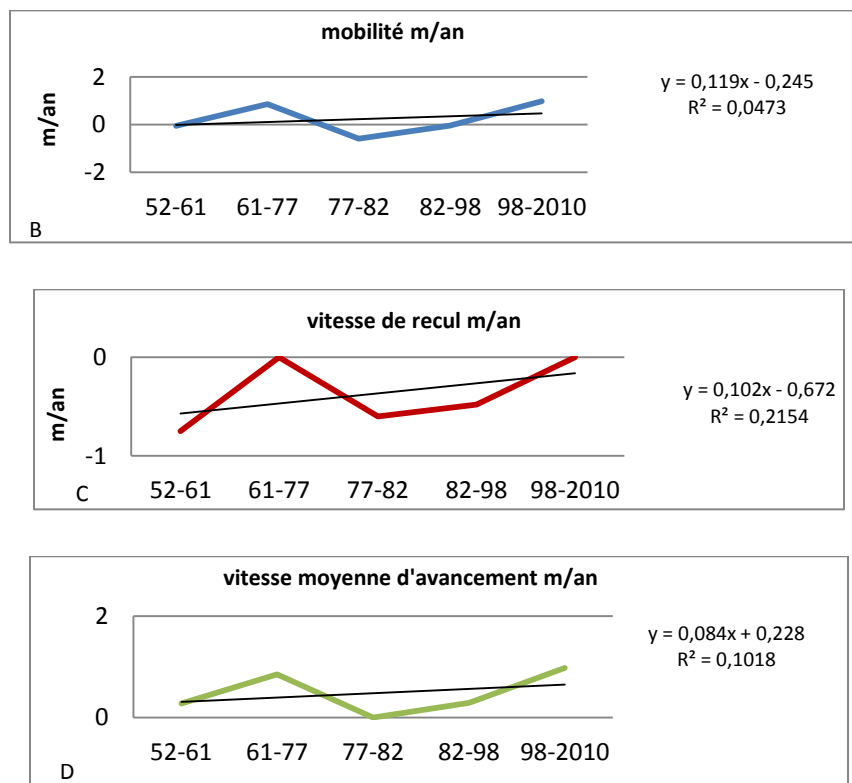


Figure 138 : (B) Evolution de la mobilité moyenne sur le secteur A système plage–dune (Port Hue)

Figure 139 : (C) Evolution de la vitesse moyenne de recul sur le secteur A système plage –dune

Figure 140 : (D) Evolution de la vitesse moyenne d'avancement de front de végétation sur le secteur A système plage –dune

Plage de Port Hue (le Golf) S2			
Période	Vitesse moyenne de recul m/an	Vitesse moyenne d'avancement m/an	Mobilité moyenne m/an
1952-1961	-0.75	0.28	-0.06
1961-1977	0	0.85	0.85
1977-1982	-0.6	0	-0.6
1982-1998	-0.48	0.29	-0.04
1998-2010	0	0.98	0.98
1952-2010	0	0.2	0.2

Tableau 45 : évolution du trait de côte, plage de Port Hue entre 1952-2010

III. La mobilité au sein des plages de secteur3

III.1 Mobilité du trait de côte de la plage des Briantais S3

Cette plage est un site protégé de l'action des vagues mais à partir de l'année 77 les formations dunaires apparaissent très souvent dégradées. La mobilité des dunes est caractérisée par une tendance nette au recul pendant les dernière 56 années, recul presque entièrement dû à la fréquentation touristique. Ce recul s'est fait suivant des vitesses différentes, très rapidement entre 52 et 82 plus lentement entre 98 et 2008 (voir le tableau 46)

Plage des Briantais S3			
Période	Vitesse moyenne de recul m/an	Vitesse moyenne d'avancement m/an	Mobilité moyenne m/an
1952-1977	-1.52	0	-1.52
1952-1982	-1.63	0	-1.63
1952-1998	-1.57	0	-1.57
1952-2008	-0.07	0	-0.07

Tableau 46 : évolution du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)

Ces vitesses moyennes sur des périodes différentes varient de 1 à 1.5.

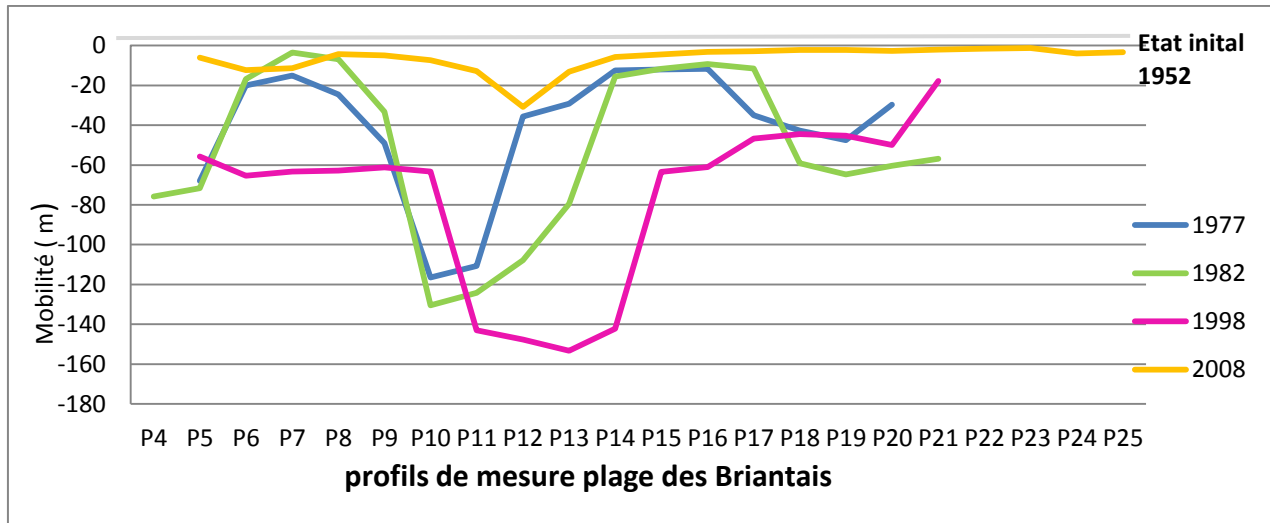


Figure 141 : cinématique du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)

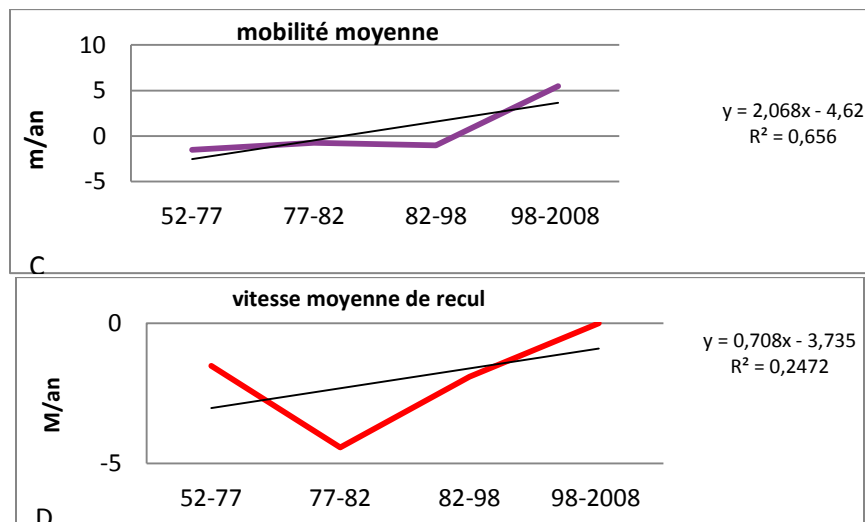


Figure 142 : (c) Evolution de la mobilité moyenne de la plage des Briantais.

Figure 143 : (D) Evolution de la vitesse moyenne de recul, plage des Briantais.

Plage des Briantais			
Période	Vitesse moyenne de recul m/an	Vitesse moyenne d'avancement m/an	Mobilité moyenne m/an
1952-1977	-1.52	0	-1.52
1977-1982	-5.27	5.55	-0.20
1982-1998	-1.91	0.88	-1.02
1998-2008	0	5.47	5.47
1952-2008	-0.07	0	-0.07

Tableau 47 : évolution du trait de côte, plage des Briantais entre 1952-2010

Il est intéressant de noter que la plage a connu une période importante de progradation entre 98 et 2008. Cette progradation n'est pas directement liée à un apport de sédiments mais à la mise en défends des dunes et à la plantation systématique d'oyats sur la dune et le haut de plage.

Les profils les plus affectés par l'érosion sont les suivants :

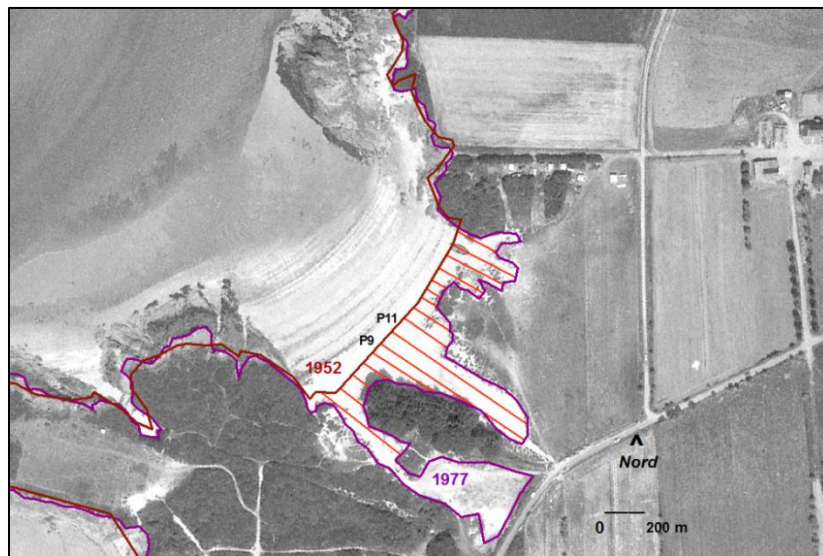


Figure 144 : les profils les plus touchés par le recul 1952-1977 plage des Briantais

Vitesse de Recul (m) La Briantais					Recul moyen m/an	
Profil	Période	Maximal	Minimal	Moyenne		
P9-P11	1952-1977	-114	-46	-79.75	-3.2	
P15-P25	1977-1982	-29	-7	-18	-3.6	-4.6
P30-P40		-37	-20	-28.5	-5.7	
P7-P10	1982-1998	-60	-15	-37.5	-2.3	-2
P12-P15		-35	-21	-28	-1.75	
P5-P8	1952-2008	-10	-2	-6	-0.10	
P11-P14		-25	-2	-18	-0.31	

Tableau 48 : évolution de la vitesse de recul sur le système plage-dune mesurée le long des profils entre 1952 et 2008 plage des Briantais



Figure 145 : les profils les plus touchés par le recul 1952- 2008, les Briantais

III.2. Mobilité du trait de côte de la Plage de Pen-Guen

Elle est située entre la pointe de la Garde et la pointe du Bay. Cette plage connaît une avancée s’effectuant à une vitesse moyenne de 1.27 m/an au cours de la période 1998-2008. Les valeurs de retrait sont limités dans la partie ouest de la plage qui est occupé maintenant par un parking en revanche la partie Est connaît une tendance à l’engraissement. La végétation est importante grâce à l’installation du Golfe juste derrière les dunes.

Plage de Pen Guen (Golf) S3			
Période	Vitesse moyenne de recul m/an	Vitesse moyenne d’avancement m/an	Mobilité moyenne m/an
1952-1961	-1.93 *	1.28	0.83
1952-1977	-0.24	0.04	*
1952-1982	-0.58	0.56	0.4
1952-1998	-0.27	0.42	0.39
1952-2008	-0.13	0.08	0.04

Tableau 49 : évolution du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)

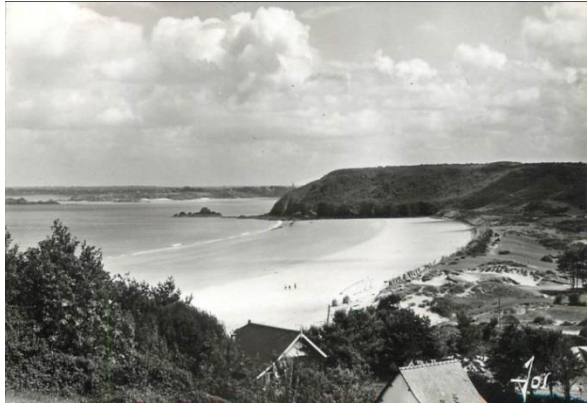


Figure 146 : plage Pen Guen 1950



Figure 147 : plage Pen Guen 1960



Figure 148 : plage Pen Guen 1978

Plage de Pen-Guen (Golf) S3			
Période	Vitesse moyenne de recul m/an	Vitesse moyenne d'avancement m/an	Mobilité moyenne m/an
1952-1961	-1.93	1.28	0.83
1961-1977	-0.66	*	-0.55
1977-1982	-3.81 (2 profil)	1.61	1.05
1982-1998	-1 (1 profil)	0.84	0.75
1998-2008	-0.97	1.27	0.76
1952-2008	-0.13	0.08	0.04

Tableau 50 : évolution du trait de côte plage de Pen Guen 1952-2008

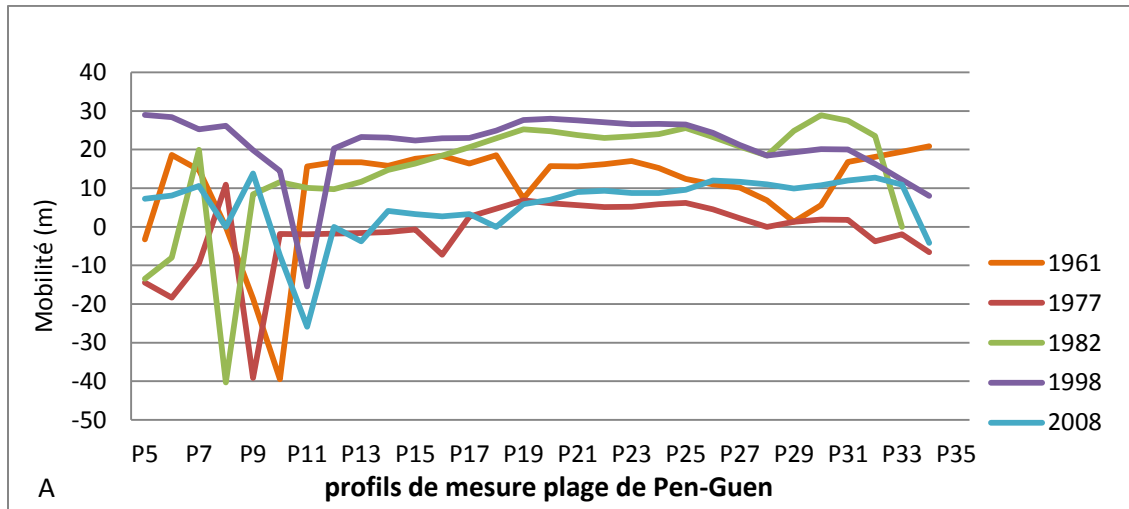


Figure 149 : cinématique du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)

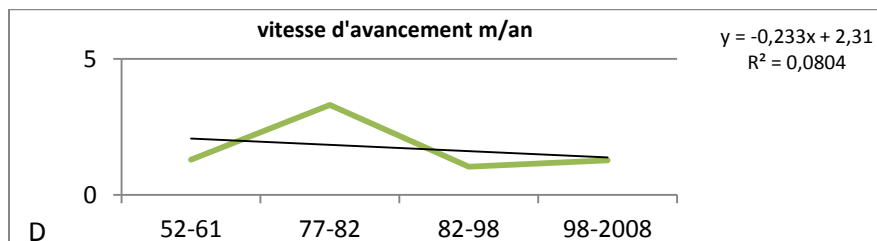
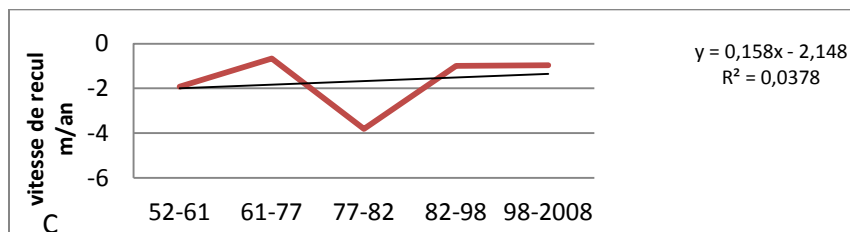
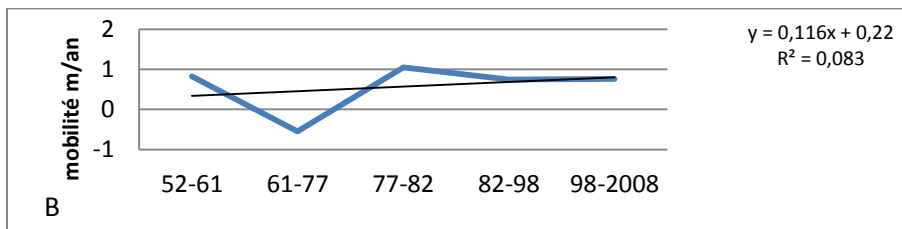


Figure 150 : (B) Evolution de la mobilité moyenne, plage de Pen Guen

Figure 151 : (C) Evolution de la vitesse moyenne de recul, plage de Pen Gue

Figure 152 : (D) Evolution de la vitesse moyenne d'avancement de front de végétation dunaire

Conclusion

La principale conclusion qu'il convient de tirer de ce chapitre est que le comportement du littoral étudié n'est pas descriptible en termes de tendance, tant les coefficients sont faibles et les phases d'avancée ou de recul sont irrégulières.

Il est intéressant, cependant, de noter qu'il y a des périodes de recul communes à toutes les plages étudiées à l'échelle des dernière 58 années, la plus importante d'entre elles étant entre 1961 et 1977. Les changements observés durant cette période sont directement liés aux fortes pressions anthropiques exercées sur les sites au début des années 1960 (extraction de grande quantité de sable pour le barrage de la Rance).

La deuxième phase de recul a lieu alors que les prélèvements ont cessé (77-82). Les variations du trait de côte par régression ou progradation -dans quelques endroits des sites- sont dues à des événements d'origine anthropique (tourisme +aménagement -plantation des plantes pour fixer le sable ...) ou à de forts aléas climatiques tels que les tempêtes.

Les vitesses de recul ou l'avancement sont assez variables d'une plage à un autre ce qui reflète l'action des agents de forçage naturels ou anthropiques propres à chaque site, car même si les sites étudiés sont peu distants les uns des autres chacun évolue à son propre rythme et connaît des phases d'évolution différentes dans le temps. Ici ce qui joue un rôle important c'est l'orientation des vents lors des tempêtes, la puissance des vagues à la côte.

Cependant certaines plages connaissent un recul rapide et régulier sur l'ensemble de la période d'observation comme l'Anse du Guesclin où les vitesses de recul atteignent 0,75 m/an entre 52-2010, et 0.34 m/an dans l'Anse du Verger au sein de secteur B.

D'autres montrent une succession de phases de recul et de progradation (la Briantais), ou des phases de recul et de stabilité (dunes des Chevret) et dans certains cas d'avance mais les tendances obtenues ne sont pas significatives ($R^2 < 0,1$), comme la plage de Golfe dans le S2

Nous pouvons considérer que les pressions anthropiques exercées directement sur les plages/dunes sont les facteurs les plus responsables du recul important au cours des soixante dernières années, particulièrement où ils sont multipliés par les impacts des tempêtes. Il est toutefois toujours difficile d'analyser les impacts des forçages anthropiques sur la valeur de érosion car ils sont très divers : d'une part ils jouent un rôle négatif (piétinement, prélèvements...) et d'autre part un rôle positif avec les aménagements de restauration.

En fin il apparaît que les reculs restent, malgré tout, assez lents dans un milieu abrité tandis qu'ils sont nettement plus rapides dans les secteurs exposés à un fort hydrodynamisme et l'alignement des massifs dunaire et des plages par rapport aux vagues/ houles détermine en grande partie les modalités d'évolution littorale puisque la mobilité est contrôlée par la quantité de matériel sédimentaire transitant le long des plages.

IV. identifier les schémas de circulation hydro- sédimentaire

La mobilité du trait de côte peut être liée, en première approche à des phénomènes d'érosion d'accrétion et de transfert. Cette section se propose d'identifier les contraintes naturelles contrôlant l'évolution du trait de côte. En premier lieu on va identifier les schémas de circulation sédimentaire (le sens de dérive littorale) dominants à partir d'une combinaison de données concernant la climatologie des houles, les contraintes sédimentaires, morphologiques et bathymétriques des systèmes côtiers. En seconde étape on va définir les types de sites au sein des cellules sédimentaires (site source- site de transit –site puits) et en final tenter de cartographier les limites des cellules sédimentaires

IV.1. Les concepts du bilan et des cellules sédimentaires associées aux systèmes dunes-plages

Le concept de cellules hydro sédimentaires, développé par **(May et Tanner 1973)** se base à l'origine sur la notion de distribution des énergies des houles le long de la côte. La question associée du bilan sédimentaire est aussi ancienne, elle a été traitée dès les années 1950 par la communauté scientifique travaillant en géomorphologie dynamique littorale (**Johnson 1959, Norris 1963**) qu'elle soit focalisée sur les changements morphologiques ou sur les processus dynamiques (**Clayton 1980, Shuisky et Schwartz 1983, Komar 1996**). De même, dans le domaine de la recherche appliquée et de l'aménagement littoral, la question du budget sédimentaire littoral a toujours été un élément nécessaire à la prise de décision politique et stratégique (**Evans 1992, French 2001, Leatherman 2003, Cooper et Pethick 2005, Whitehouse, Cooper et al. 2005, Cooper NJ 2006**)

Le terme de « *balance of sediment* » est également utilisé pour parler de budget ou de bilan sédimentaire avec un sens proche de celui de sedimentary cell à condition toutefois que les sources d'apport et de perte en sédiment restent pratiquement les mêmes sur la période étudiée (**J.W. Johnson et M. Asce 1959**).

Un autre élément particulièrement important est celui qui touche à la notion de transit longitudinal lié à la dérive littorale. À la fin des années 1960 R. Dolan insistait sur les déplacements longitudinaux et les processus associés générés par la houle, qui devaient être pris en compte dans l'analyse des changements morphosédimentaires du littoral (**Dolan 1970**). La notion de transit sédimentaire longitudinal est une composante essentielle du dispositif car ces transferts assurent non seulement les échanges dans la cellule mais également la connexion d'une cellule à une autre.

Dans chaque secteur chaque cellule a une taille variable, avec un fonctionnement sédimentaire relativement autonome par rapport aux cellules adjacentes, mais des échanges entre cellules

peuvent exister. Les limites sont naturelles (cap, baie, estuaire, plage) ou d'origine anthropique (jetée portuaire), Les limites des cellules correspondent à des ruptures dans la continuité du transit littoral qui sont parfois difficiles à identifier (**Bray, Carter et al. 1995**).

Dans ce travail l'identification des cellules a été réalisée selon la méthode suivante.

Les sites puits ont d'abord été définis comme ceux où le matériel sédimentaire peut s'accumuler. Dans la plus part des cas il s'agit des plages qui, si elles ont subi des périodes d'érosion au cours des dernières années sont cependant presque toutes en voie d'accrétion aujourd'hui (avec l'aide des aménagements toutefois). Dans ce contexte un site puit est donc le lieu où une gestion (ganivelles et éventuelles plantations d'oyats) des dunes permet leur croissance. Il ne s'agit donc pas d'un site puit totalement naturel mais d'un site puit dans un contexte anthropisé.

Les sites sources sont identifiés aux secteurs en recul qui fournissent du matériel. Il s'agit principalement des falaises meubles. Le recul des falaises dures fourni très peu de matériel. Les sites de transit sont ceux qui sont entre les sites sources et les sites puits.

Les limites entre cellules sédimentaires sont définies comme les pointes, caps qui modifient significativement l'orientation des houles dominantes et qui comportent presque toujours une face battue (avec les étagements végétaux qui en témoignent) et une face abritée (avec l'étagement caractéristique).

Cette méthode a deux limites. La première est que dans les cellules ainsi définies il y a des portions de littoral qui ne sont ni source, ni puit car elles n'évoluent quasiment pas et ne sont pas situées entre une source et un puit (mais plutôt entre deux sources). C'est très souvent le cas pour les faces Est des pointes, abritées des houles dominantes. En fait le concept de cellule sédimentaire ne permet pas de caractériser toutes les portions du littoral mais seulement certaines d'entre elles.

La deuxième limite vient de la relation entre houles dominantes d'une part, houles de tempêtes d'autre part. Il se trouve en effet que sur certaines portions du littoral les houles dominantes sont de NO mais les houles de tempêtes les plus créatrices de dérive sont de secteur N voire NE. Il importe donc, sur ces sites de différencier au sein d'une cellule sédimentaire deux fonctionnements différents dans lesquels un même lieu peut être alternativement source ou de transit, voire puits.

Malgré ces difficultés ce travail tente de caractériser le littoral sous l'angle de son fonctionnement sédimentaire entre sources et puits.

IV.1.1. des cellules sédimentaires au secteur 1

À l'intérieur du système oriental, (au sein de secteur 1 Cancale –St Malo) le déplacement des sables définit des cellules sédimentaire alimentées par deux sources sédimentaires principales : le recul des falaises meubles, les apports du large. La part respective de ces sources n'est pas connue. Dans presque tous les cas c'est par l'installation des ganivelles que le sable est ensuite fixé sur les dunes.

Dans le détail, l'ensemble du système peut être décrit, cellule par cellule, comme suit :

La cellule de l'Anse du Verger : est fermée dans sa partie Est par la pointe de la Moulière et par la pointe des Daules dans la partie Ouest. Il y a deux sous parties

- La sous cellule orientale (A sur la figure 153) représente le secteur de falaise meuble qui recule constamment. La résilience de cette sous cellule n'est pas claire parce que le retrait du sommet des falaises meubles contribue à une augmentation du volume sédimentaire à la base et cela renforce à la fois la résilience du littoral adjacent et celle de la falaise elle-même en construisant une sorte de buffer à son pied.
- La sous cellule occidentale (B sur la figure 153) représente le secteur du cordon dunaire qui peut avoir tous les comportements possibles.

Il est intéressant de noter que la limite entre ces deux sous cellule reste assez floue selon le temps : pendant le temps calme il a deux sous cellules relativement indépendantes l'une de l'autre

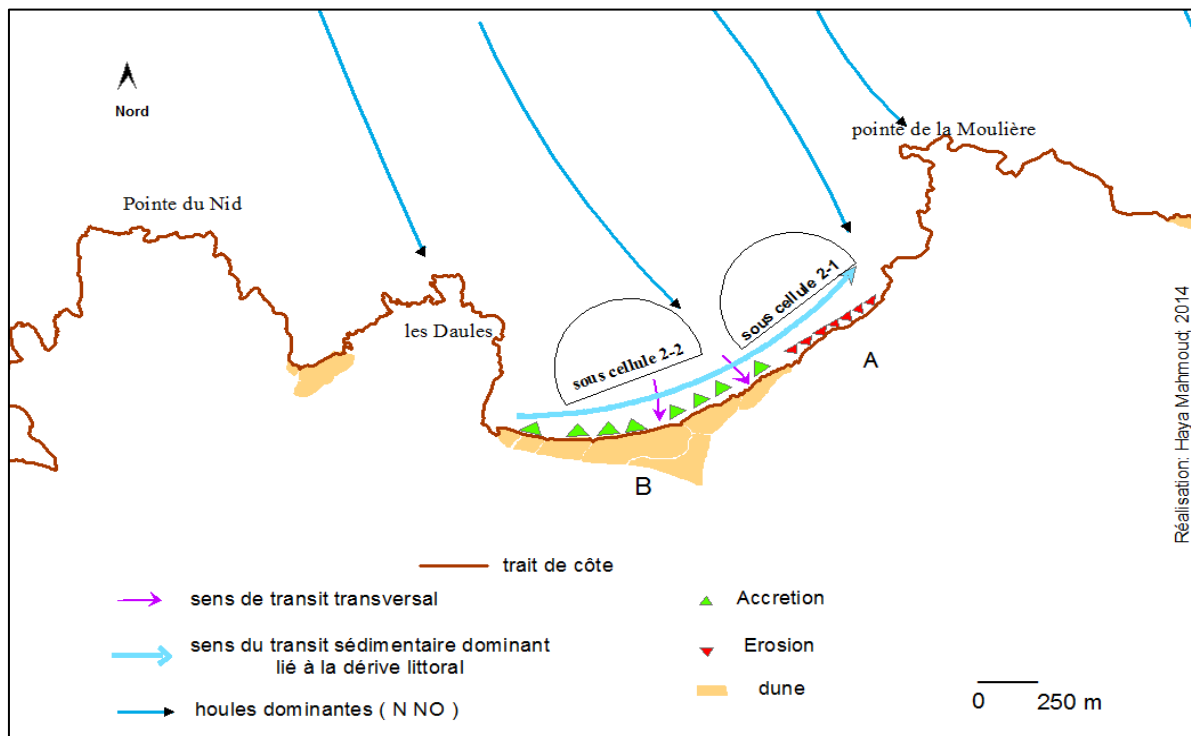


Figure 153 : cellule sédimentaires lors des épisodes de houles dominantes, Anse du Verger

Pendant les périodes de temps calme le transit dominant des sables s'oriente selon la dérive littorale qui est liée à la réfraction des houles avant la plage et varie fortement avec le marnage. Schématiquement dans l'extrême Ouest de la partie B, à marée haute,

les houles sont quasi orthogonales au rivage, dans la partie Est du secteur B elle est légèrement obliques et créent une dérive vers l'Est. Le secteur B est un site source et le secteur A est alors un site puit.

A marée basse les houles sont partout orthogonales et il n'y a pas de dérive.

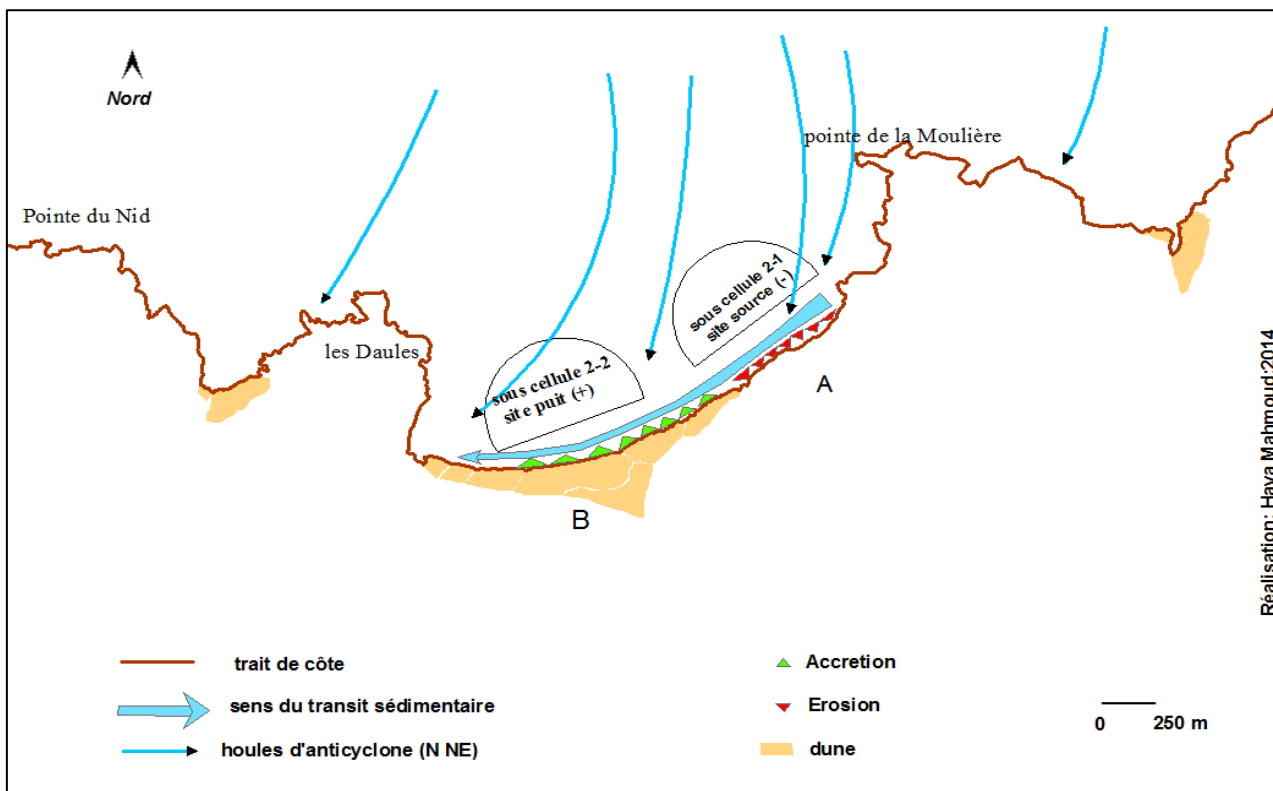


Figure 154 : cellule sédimentaires durant les épisodes de tempêtes suivi de houles de NE

Pendant les épisodes de tempête le secteur A est fortement érodé. Il y a accumulation de matériel effondré au pied de la falaise meuble. Ce matériel est ensuite mobilisé lors des épisodes de houles de Nord (situations principalement anticycloniques) et la dérive le transporte alors vers l'ouest, secteur B.

Dans cette Anse il y a donc une cellule sédimentaire qui fonctionne dans les deux sens. Par temps calme (houles dominantes de NO) il y a une dérive vers l'Est mais cela concerne peu de matériel. Par épisode de tempête suivi d'un épisode anticyclonique il y a dérive vers l'ouest. Ce cas est peu fréquent mais il concerne beaucoup plus de sables (dus à l'érosion de la falaise meuble). La dérive littorale la plus morphogène est donc liée à des épisodes météorologiques les moins fréquents. Cette dérive n'est cependant probablement pas la seule source de sédiments sur la plage et la dune. Il est très probable que l'essentiel du sable vienne du large

La cellule de l'anse du Guesclin

Fermée dans sa partie Est par la pointe rocheuse du Nid et par la pointe des Grands Nez dans sa partie Ouest l'Anse Du Guesclin est relativement abritée de l'agitation venue du nord-ouest. La cellule présente un bilan sédimentaire surfacique positif entre 82 et 98 mais malgré cette accrétion la tendance érosive est dominante. Au cours des années 1998-2010 on constate un ralentissement de la phase de progression (à cause de l'augmentation de la violence des tempêtes (des dégâts considérables sont observés à chaque grande tempête (12/1999, 03/2008) et une quantité importante de sable se dépose sur la route qui doit alors être déblayée.



Figure 155 : la route ensablée, sur la plage Du Guesclin après un épisode de vent de mer fort, 4 septembre 2015

Les sédiments viennent naturellement de l'Ouest vers l'Est mais en quantité insuffisante et le rechargement artificiel de la dune est indispensable. A marée basse une petite sous cellule autonome fonctionne à l'Est du tombolo.

La cellule de L'anse de la Touesse

L'Anse de la Touesse est constituée de 2 micros cellules abritées des vagues les plus morphogènes (chapitre 3). Dans la plupart des situations les vagues arrivent de façon perpendiculaire à la côte, ce qui minimise l'action des courants de dérive littorale. Cependant le recul du front des dunes dans la partie Ouest (figure 156) s'accompagne d'une avancée des dunes dans la partie Est (figure 156) traduisant le déplacement longitudinal des sédiments vers l'Est.

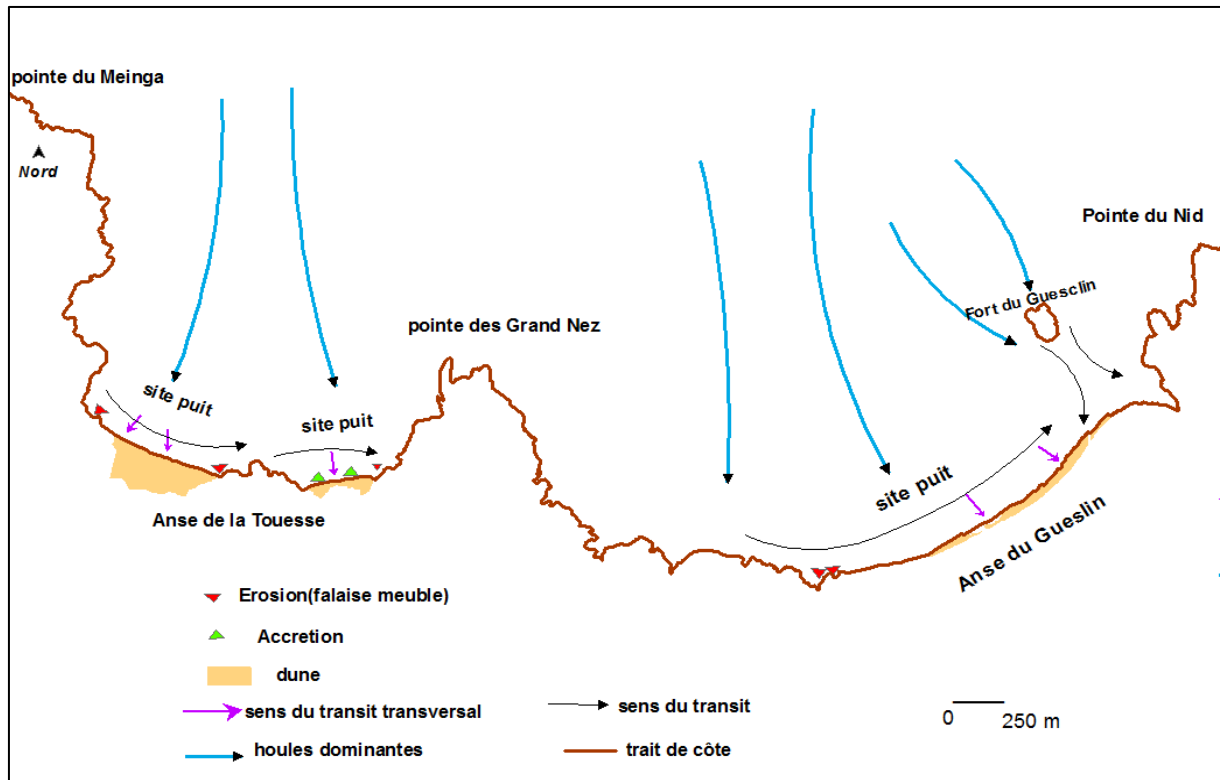


Figure 156 : cellule sédimentaire d’Anse du Guesclin et de la Touesse.



Figure 157 : cellule puit d’Anse de la Touesse, juin 2015

La tempête, modérée de mars (2015) a découpé une micro falaise dans le sable qui forme une sorte de terrasses, colonisées de manière discontinue par la végétation dunaire (1) dans la partie Ouest de l'Anse (site source). Au-dessus le front dunaire est hérité de l'hiver 2013-2014 (2). Sur ce site la cicatrisation des effets du storm group de l'hiver 13-14 ne sont pas encore achevée et la fonction de site source est (probablement) ralentie. Il faut noter en plus que les ganivelles sont cassées et n'ont pas été remplacées (en septembre 2015). La fréquentation anthropique du sommet des dunes durant l'été joue certainement aussi un rôle.

Les Cellules sédimentaires de Chevrets et de Havre de Rothéneuf

La cellule des Chevrets (cellule 5), est située au nord du Havre du Lupin. Elle est bien protégée par la présence des ilots (du Petit Chevret et le Grand Chevret) que l'on peut rejoindre à pied à marée basse et à l'ouest par l'île Besnard qui est reliée à la pointe du Meinga par un immense tombolo de sable

Les parties extrêmes de cette cellule (la partie Est et partie ouest de la plage) enregistrent un avancement ou une mobilité stable au cours de la majorité des périodes étudiées, et un bilan sédimentaire surfacique positif, la hauteur des dunes est importante (plus de 2m). Cette cellule est située sur un secteur bénéficiant d'une bonne alimentation sédimentaire. Les bancs de sable entre les ilots longent les platiers et s'incorporent au tombolo. Depuis la pointe du Meinga du matériel (probablement périglaciaire et sub actuel mais non daté) peu épais est érodé et dérive vers le tombolo

Le Havre de Lupin présente est un site puit et avec un bilan positif de ses plages protégées. Il est lié à la mer par un étroit chenal à fond sableux. La conséquence de cette morphologie se manifeste à marée haute avec un plan d'eau parfaitement calme et à marée basse avec un assèchement total qui découvre une importante vase en fond de baie

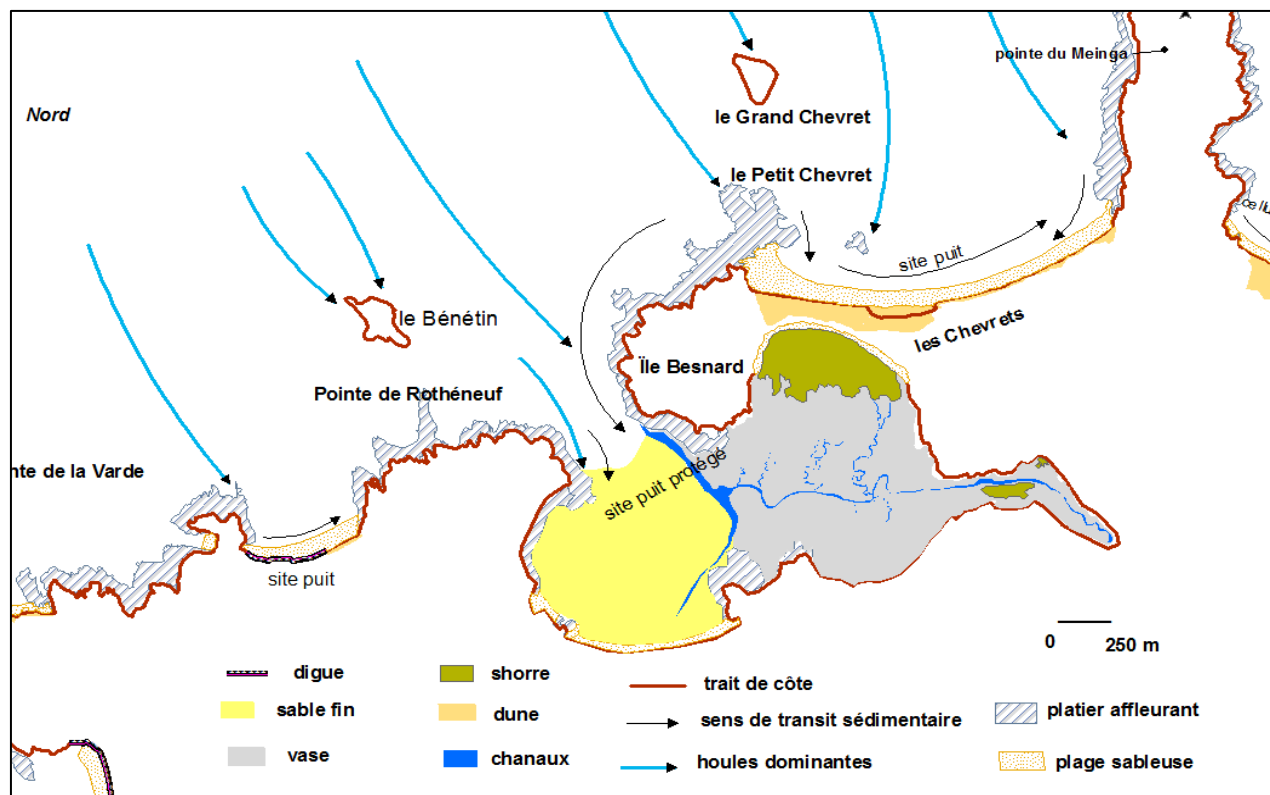


Figure 158 : cellules sédimentaires de Chevrets et de Rothéneuf

La cellule de la grand plage de St Malo : Ses limites sont d'origine anthropique car le trait de côte est totalement urbanisé et artificialisé. Les ouvrages longitudinaux au niveau du trait de côte sont essentiellement des murs et des ouvrages de soutènement, caractérisés par une pente verticale et qui servent au maintien de la dune ancienne sur laquelle les maisons sont construites. Plus à l'ouest cette cellule disparaît au contact des murs de la ville de St Malo avec des micros cellules comme celle de la piscine à marée dont le niveau de sable est totalement contrôlé par les hommes. Les épis transversaux assurent la conservation du stock sableux de la plage pour pallier aux perturbations du transit sédimentaire latéral causé par la digue.

IV.1.2. Cellules sédimentaires au sein de secteur 2 (Dinard- ST Briac) :

La forte pression urbaine a un certain nombre de conséquences non négligeables

L'action anthropique sur les plages se traduit en premier lieu par la présence d'ouvrages bétonnés liés à l'expansion de l'urbanisation et à la fréquentation du domaine littoral (parking, escaliers d'accès). Ils constituent la majorité des ouvrages côtiers recensés sur le littoral. L'ensemble des villes de Dinard et Saint Lunaire sont construites au plus près du rivage, et sont protégées par de multiples ouvrages au pied des falaises et au long des plages.

L'érosion de la plage à leur pied peut parfois être forte car la création de murs ou d'enrochements réfléchissants en haute plage accélère souvent la dégradation des plages qui

par leur démaigrissement deviennent de moins en moins capables d'amortir les vagues déferlantes.

Il existe aussi d'autres ouvrages transversaux (épis) : ils réduisent les volumes de sable transportés parallèlement à la côte mais ils n'interrompent pas les transports perpendiculaires à la côte. On peut prendre pour exemple les plages de Dinard et de St Briac qui sont aménagées de la même manière que celle de Saint-Malo. La frange littorale étant urbanisée au plus près de la mer, des ouvrages de protection limitent l'érosion de la plage mais empêchent aussi la stabilité du profil d'équilibre du système littoral.

Les travaux réalisés sur l'ensemble du système côtier dans ce secteur montrent la complexité de l'interaction entre les apports marins (non quantifiés) et les rechargements artificiels des plages, particulièrement sur les sites localisés entre la Pointe de la Garde Guérin et la plage du Béchay



Figure 159 : photo aérienne pour la plage de Port Hue et les dunes des Perron

A : plage de Port Hue, B : les dunes de Tertres, C : les Perron (secteur de Falaise meuble)

* : accumulation des sables par éboulements des falaises meuble (c) et l'aménagement (b)

+ : sous cellule sédimentaire

La plage de Port Hue présente un site de puit qui bénéficie de l'aménagement anthropique, du transit du matériel qui vient de l'île Dame Jouanne et du matériel qui vient avec les courants de dérive vers l'Est à marée haute. A marée basse dans la partie ouest les houles sont partout orthogonales donc il n'y a pas de dérive. Cependant durant la basse mer une nouvelle cellule

sédimentaire apparaît dans la partie extrême-orientale de la plage à cause de la présence de l'île Dame Jouanne (figure 161)

La deuxième cellule c'est la plage du Tertre-Pelé qui présente des dunes grimpantes sur un secteur de falaise meuble. Elle bénéficie aussi d'une intervention identique à celle de Port Hue, des ganivelles ont été installées sur le sommet pour fixer les dunes. Une buse de sortie des eaux du Golf passe sous les dunes et lors des périodes de fortes pluies cette sortie d'eau érode la plage. Figure (160). Les courants de dérive sont peu actifs dans cette partie de la côte, les matériaux sédimentaires viennent cependant des falaises voisines qui évoluent principalement par éboulements. Il y a parfois rechargement anthropique de la plage



Figure 160 : plage de Tertre-Pelé plage de poche 2015

L'ensemble de ce secteur est très difficile à analyser car les propriétés privatisent le tracé de la côte en construisant des barrières et ne respectent pas la servitude de passage. Il n'a donc pas été possible de vérifier in situ les informations obtenues sur les photos.

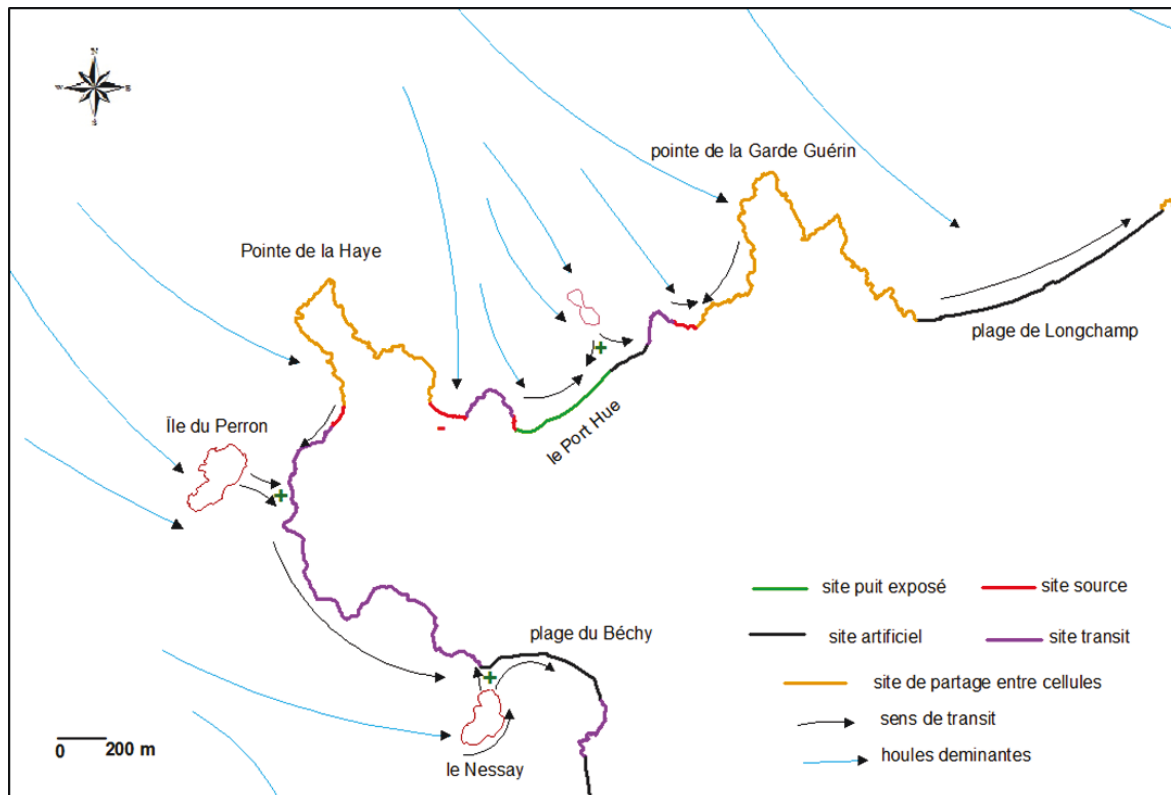


Figure 161 : Carte des schémas de circulation et des cellules sédimentaires entre la pointe de la Grand Guérin et la plage du Béchay

La troisième cellule c'est la plage de Perron. Cette portion de côte se présente sous la forme d'une falaise meuble (site d'alimentation) de faible commandement qui ne semble pas être affectée par des phénomènes d'érosion significatifs, comme l'indique la comparaison des photographies aériennes de 1952 -2010. Il est donc probable que l'anthropisation croissante de ce secteur a eu lieu durant la même période d'aménagement du Golf de port Hue et les Tertres. Les glissements qui s'opèrent par endroits sont rarement attaqués par les vagues et tendent à se végétaliser. Le bilan est probablement positif.

Le tombolo de Nessay est une forme totalement artificielle.

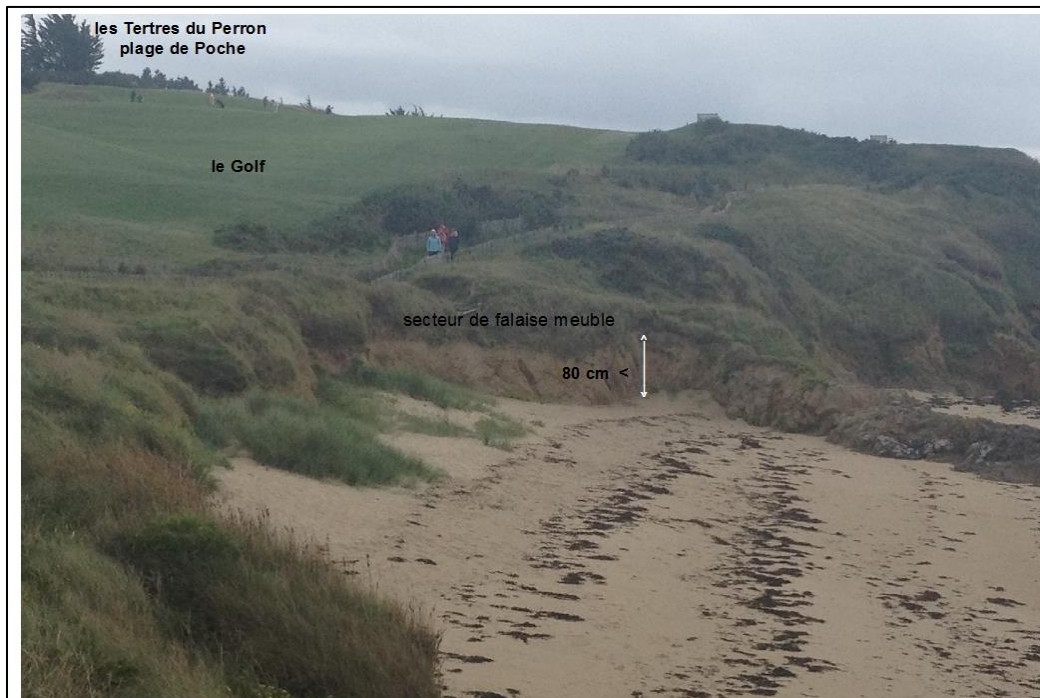


Figure 162 : plage du Perron, type plage de poche entre des pointes rocheuses

IV.1.3. des cellules sédimentaires au sein de secteur 3 (St Briac - Cap Fréhel)

Les données hydrodynamiques dans ce secteur permettent d'expliquer que le recul de certaines cellules est principalement dû à l'absence d'apports sédimentaire alors que d'autres secteurs sont bien alimentés en sédiments. Les cellules peuvent être décrites comme suit :

Le système le plus fréquent est celui des côtes sableuses (plages et dunes) : dans ce système, les plages sont situées aux abords ou dans les stations balnéaires comme la plage de Saint Cast le Guildo, la plage de Banche (Saint Jacut) et celle de St Cieux. Elles sont presque toutes bordées par un ouvrage longitudinal (mur) sur le haut de plage et la résilience dans ces cellules est totalement artificielle.

Quelques rares plages sont petites et situées entre les stations balnéaires : elles ne sont pas aménagées en général (petites criques de l'Arguenon et de Lancieux). Leur bilan est très modérément positif sauf pour une seule crique près de l'Arguenon

La plus cellule importante dans ce secteur est la plage des Briantais à Lancieux. Elle contient un massif dunaire important qui a subi une érosion anthropique très forte de l'année 1961 jusqu'à l'année 1998, date à laquelle le conservatoire du littoral l'a aménagée.

La mobilité des sédiments de la **Briantais** est peu influencée par les facteurs naturels extrêmes - les tempêtes- qui ici correspondent à des houles faibles (1 à 1,5m d'amplitude) en raison de sa

localisation dans un secteur protégé. L'essentiel du bilan sédimentaires est d'une part du aux conditions de vent dominant (O et NO), d'autre part aux actions humaines de mise en défends

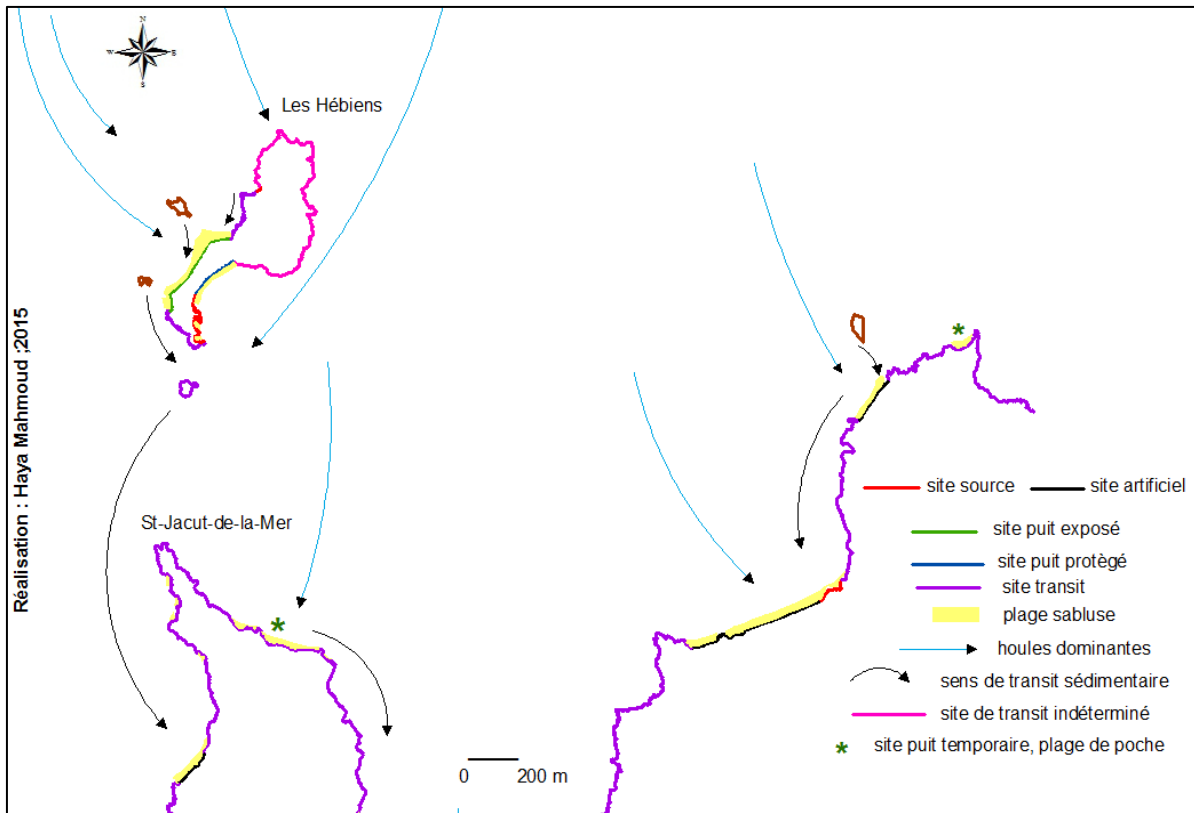


Figure 163 : Le sens de transit et les cellules sédimentaires, les Hébiens, St –Jacut –de-la-Mer

Les Hébiens sont une île à marée haute et une presqu'île à marée basse, reliée par un tombolo sableux utilisé comme route carrossable par les résidents de l'île. Son tracé est donc très artificialisé. La partie de l'île qui est exposée au NO est un site source, d'où la couverture périglaciaire est presque entièrement disparue. Localement à partir de petits écueils de petits tombolos se construisent. L'ensemble de la côte NO peut cependant être considérée comme un site source et un site de transit. La plage exposée au SE est un site puit. Elle est principalement engraisée par des apports éoliens venus de l'ouest (le système de dune est progradante du NO vers le SE) en traversant la route utilisée par les résidents. Il est possible que des sables marins arrivent depuis le SE mais l'essentiel du matériel est éolien et bien trié.

Synthèse

Les trois cartes des figures suivantes tentent de synthétiser les observations précédentes

Dans le secteur 1 : Les massifs dunaires représentent des zones de puit interrompues par la présence de pointes rocheuses comme la pointe de Meinga et pointe de Nid. Ces sites puits sont divisés en différentes sous-cellules sédimentaires comme les cellules de Verger et la Touesse. Les sites sources (falaises meubles principalement) sont en voie de destruction totale. Deux petites falaises meubles qui étaient visibles en 1952 ont déjà disparu

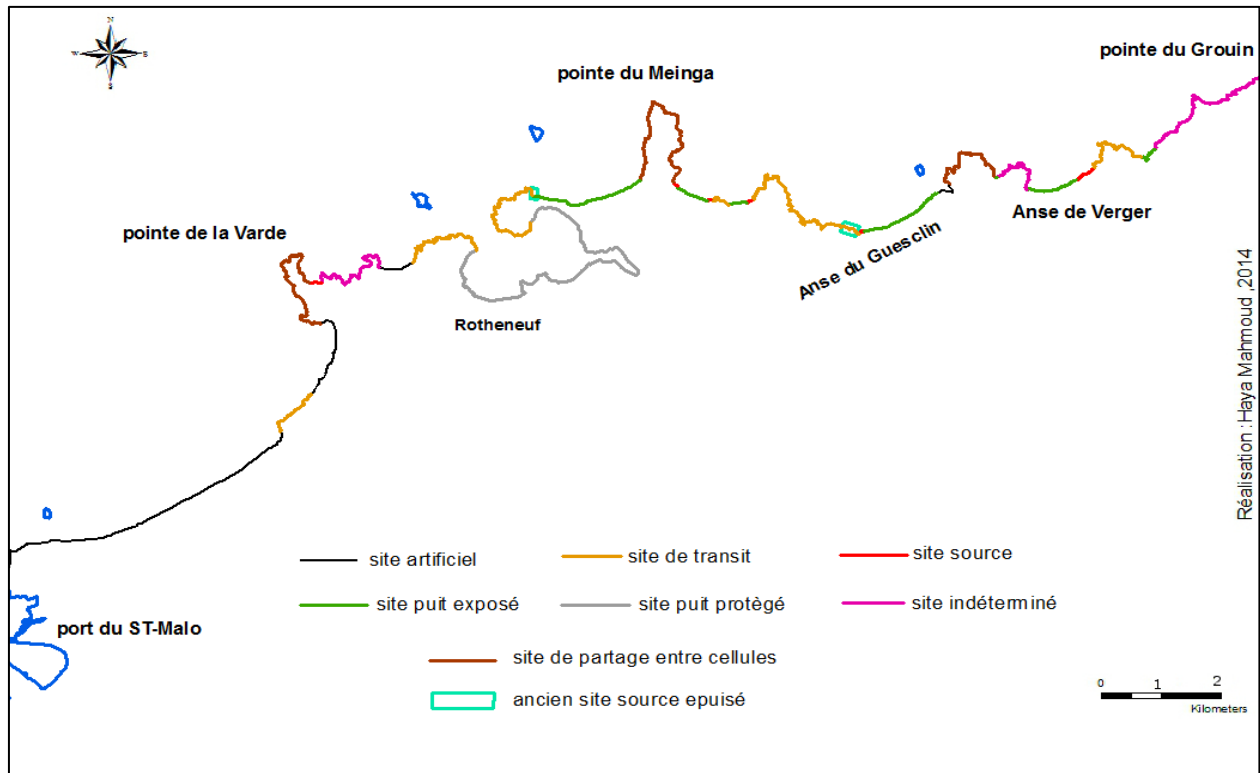


Figure 164 : Position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires entre Pointe du Grouin et St-Malo

Dans le secteur 2 : Les cellules sont difficiles à identifier tant le littoral est artificialisé. La majeure partie du linéaire côtier cartographié s'inscrit dans des sites de transit.

Seul le centre de la baie de Saint Briac (site puit protégé) peut être associé à un secteur d'accumulation plus stable

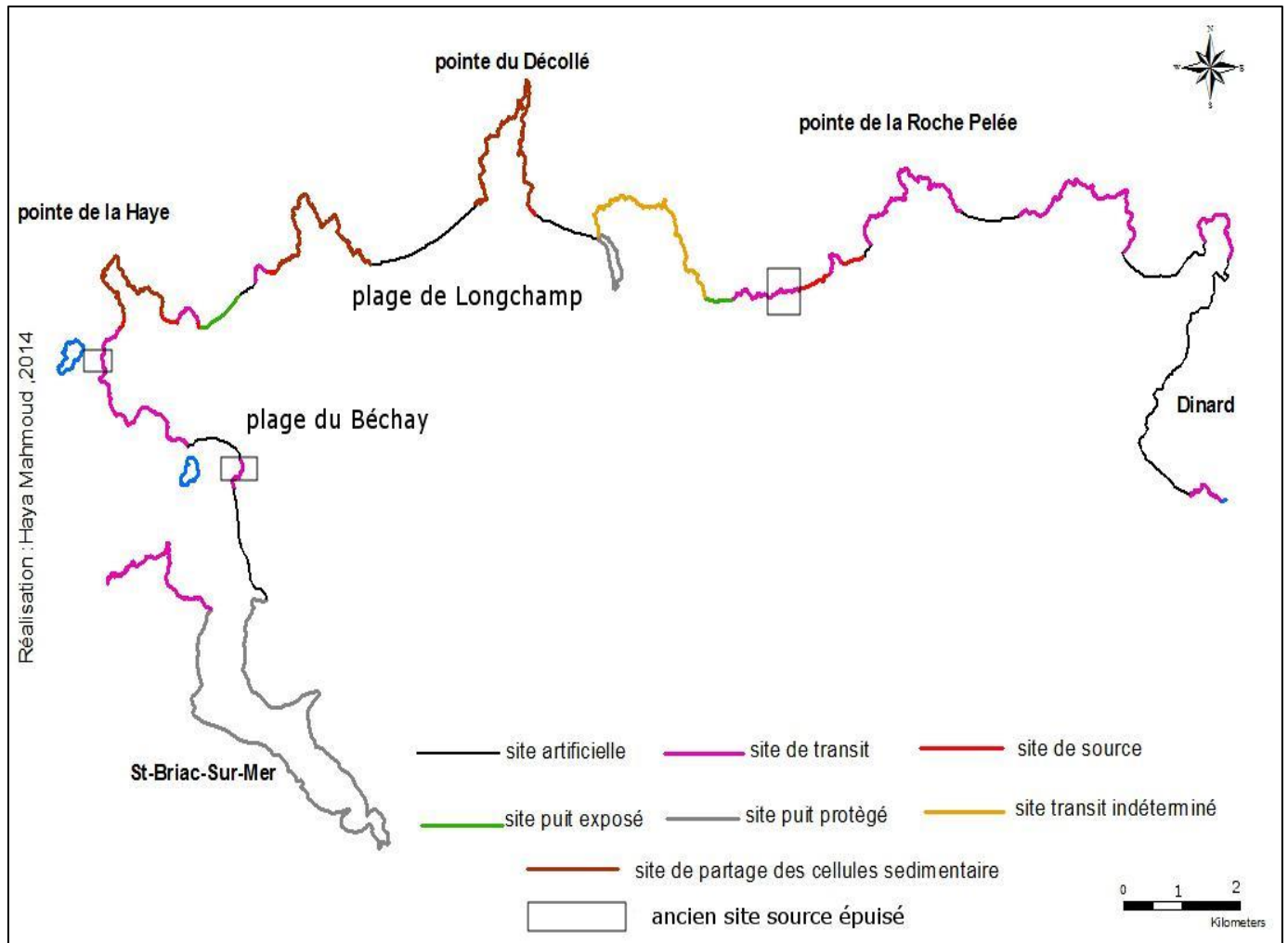


Figure 165 : Position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires secteur 2

Dans le secteur 3 : Les discontinuités bathymétriques et morphologiques entre la baie de Lancieux et cap Fréhel contribuent à interrompre les transferts longitudinaux des sédiments et divisent le système côtier en différentes sub cellules.

A l'intérieur d'entre elles les schémas de circulation sédimentaire (compliqués par l'importance des zones de roches et des pointes rocheuses) sont plus difficiles à identifier, la majeure partie du linéaire côtier cartographié s'inscrit dans des sites de transit. Le système de petites falaises meubles sont peu nombreux.

Trois secteurs ont été identifiés comme des sites puits protégés. Le premier est la Baie de Lancieux abrité à l'est de la pointe St Jacut de la Mer, le second est la partie centrale de baie de l'Arguenon et le troisième est au centre de la Baie de Fresnaye où la plupart des courants de dérive littorale favorisent l'accumulation des sédiments transportés le long de la côte. Dans ces trois sites l'accumulation est favorisée par les activités conchylicoles.

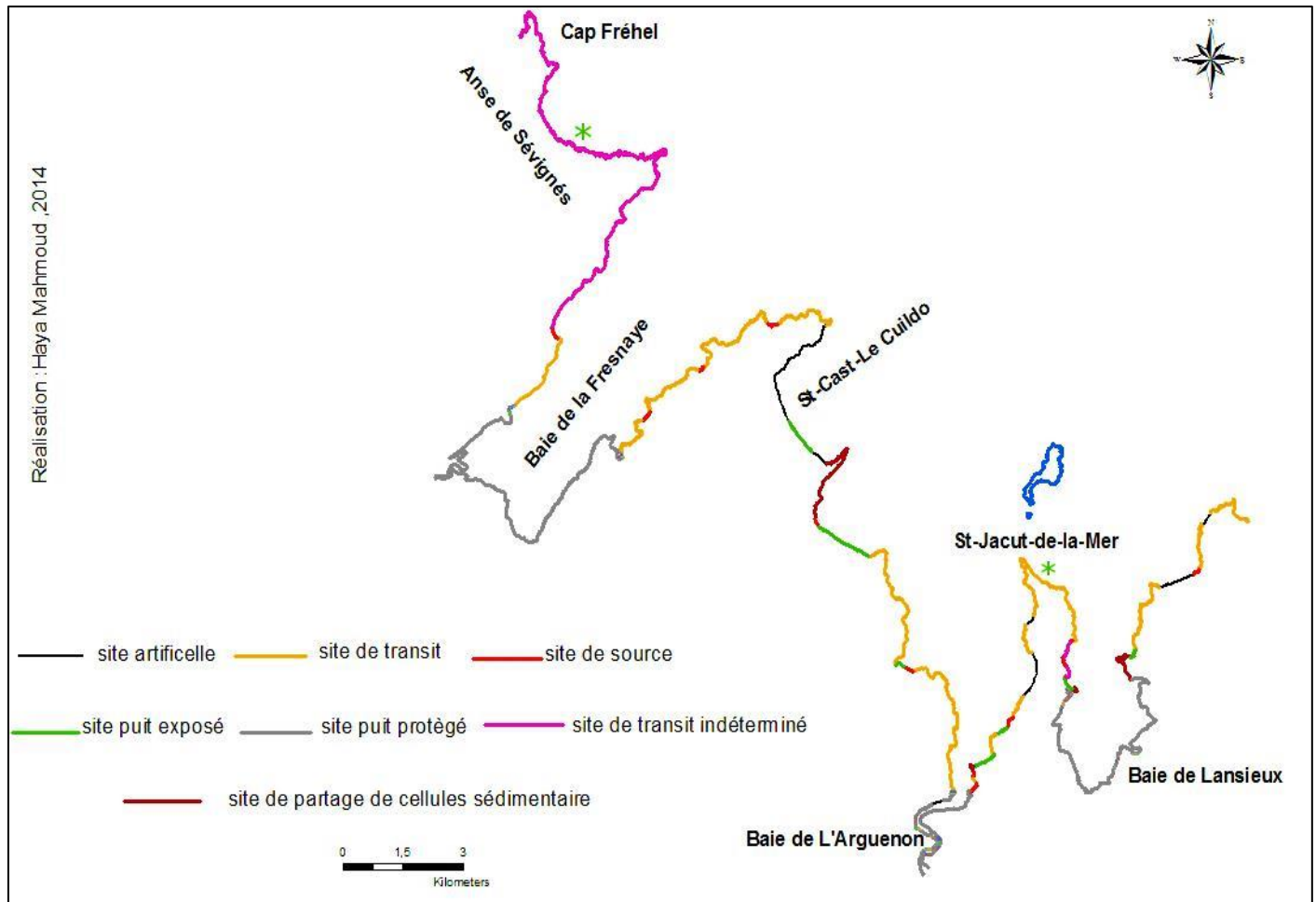


Figure 166 : Position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires secteur 3

Finalement on peut noter que la direction des schémas de transports sédimentaires est fortement dépendante de la variabilité des vents et des houles dominants, qui en raison de la situation abritée de plusieurs sites (rendant plus efficaces les houles de NE que celles des tempêtes d'O) contribuent pour une large part à déterminer l'orientation des courants de dérive littorale.

Ainsi, sur des pas de temps courts (durée de la tempête), l'évolution des formes littorales est susceptible de connaître des mouvements inhabituels représentant la variabilité des conditions météorologiques

Combinée à la forte sinuosité du trait de côte, qui implique différents degrés d'exposition par rapport aux vents dominants cela provoque une très grande variabilité des formes à court terme.

Chapitre 7 : Présentation des contraintes relative au recul du trait de côte en zone d'étude (1952 - 2010)

Les contraintes naturelles ou anthropiques jouent un rôle majeur dans les variations du trait de côte. Certaines jouent sur des pas de temps courts et impactent la côte principalement lors des tempêtes, d'autres sont efficaces sur des pas de temps plus longs et sont le plus souvent anthropiques. Ce chapitre tente de montrer qu'il n'est cependant pas possible (et pas souhaitable) de différencier absolument les contraintes anthropiques des contraintes naturelles. Au début de ce travail avait été signalée l'idée de comparer l'évolution actuelle avec ce qui est su de l'évolution ancienne. Cette comparaison peut être faite selon plusieurs points de vue.

Au cours des derniers millénaires la côte (dans ses portions de barrières sableuses) a reculé en phase avec l'élévation du niveau marin (Regnauld, 1999) avec un rapport de 5 à 15 mm de recul pour 1mm de RSLR. Depuis les années 50 l'élévation moyenne du niveau marin est estimée à environ 1 cm et le recul d'une grande partie des barrières sableuses est largement supérieur au mètre. Il y a une énorme rupture dans le ratio recul/SLR. Il faut donc invoquer d'autres causes au recul, et elles sont très probablement anthropiques.

La côte étudiée a été soumise à des impacts anthropiques depuis plusieurs millénaires, ils ont été signalés dans le chapitre 2 avec par exemple les dépôts de cuisine. Ces impacts ne semblent pas avoir modifié l'ensemble du fonctionnement des cellules sédimentaires mais seulement des lieux ponctuels. Les fortifications, beaucoup plus récentes construites pour défendre la côte contre d'éventuels débarquements anglais ont modifié significativement certains sites, souvent proches de Saint Malo. Depuis 1960 les impacts des extractions pour l'usine de la Rance ont eu une dimension considérablement plus grande. Il est donc difficile de fixer une date à partir de laquelle les impacts anthropiques sont dominants sur les forçages naturels (ce qui est l'enjeu des discussions autour du terme Anthropocène) mais il est certain que la sensibilité de la côte étudiée aux actions anthropique s'est progressivement renforcée depuis la seconde guerre mondiale. On peut donc considérer que si certains comportements morphologiques fonctionnent en continu depuis des millénaires (recul/RSLR ; surcotes de tempêtes recouvrant une installation humaine) le fait le plus important est que les sociétés actuelles sont beaucoup plus efficaces pour faire évoluer le littoral que les éléments « naturels ». On peut le constater en étudiant la très forte sensibilité actuelle aux tempêtes, puis en s'attachant particulièrement aux modifications anthropiques de la morphologie.

I. Effets de tempête et forme de recul

Un forçage est un processus qui affecte les composantes énergétiques d'un système. La tempête marine est définie comme un ensemble de conditions de vagues, de houles et de vents extrêmement forts qui frappent la côte. Selon l'échelle de Beaufort et les avertissements maritimes de Météo-France, les tempêtes sont des événements qui dépassent la force coup de vent (vitesse moyenne du vent de 17 mètres par seconde). La dissipation de ces flux d'énergie est principalement provoquée par le frottement et le déplacement des particules d'eau, d'air et de sédiment. Ces conditions sont connues pour créer une érosion particulièrement rapide des plages. Leur largeur peut être réduite temporairement de parfois plusieurs dizaines de mètres. Le plus part de temps les tempêtes agissent comme un outil qui déplace le sable de la plage et du pied de la dune vers l'avant-cote. Toutefois, l'érosion n'a pas lieu pendant toutes les tempêtes définies comme telles. Seuls quelques-unes d'entre eux ont des effets érosifs **(Musereau et Regnaud, 2014)**

Les impacts des tempêtes sur les côtes ont été largement étudiés par plusieurs chercheurs (Finkl 2013) en particulier sur les côtes françaises sédimentaires **(Anthony 2013, Gervais, Balouin et al. 2012, Ba et Senechal 2013)**. Ces études montrent que les ondes de tempête ont deux effets différents sur les barrières de sable. Elles déplacent d'une part le sable vers l'intérieur (wash-overs) et elles déplacent d'autre part le sable vers la mer dans la zone intertidale.

Pendant une tempête, selon **(Masselink, Kroon et al. 2006, Puleo, Johnson et al. 2006, Aagaard, Hughes et al. 2011)**, plusieurs tonnes de sédiments peuvent être déplacées. **(Russell and Huntley 1999, Aagaard, Davidson-Arnott et al. 2004)** indiquent que plusieurs millions de tonnes peuvent être transportées le long de la côte en un an par la dérive littorale. **(Michel and Howa 1999, Aagaard, Hughes et al. 2011)**. Signalent cependant que ces valeurs sont extrêmes et que la réponse de la plage à une variation de forçage hydrodynamique dépend de la morphologie de la plage elle-même, et de l'état de la plage avant la tempête.

Cependant selon **(Bruzzi 1998)**, pour les plages de Camargue et dans quelques rares cas, les tempêtes peuvent à l'inverse créer de l'accrétion non pas sur la dune mais sur le haut de plage, avec un apport de sable fin depuis l'avant-cote. Il s'agit toutefois de vent on shore (en Camargue, venus du Nord) et sur la côte Nord de la Bretagne ces événements (vents de Sud) sont rares et peu morphogènes.

Pour les tempêtes morphogéniquement efficaces en un site donné, la hauteur des vagues (houles plus vagues, soit ce que Météo France appelle mer totale) au pic de l'événement apparaît comme un critère important **(Del Río, Plomaritis et al. 2012, Voudoukas, Ferreira et al. 2012, Gervais, Balouin et al. 2012)**, particulièrement sur les sites dont les conditions moyennes correspondent à des houles faibles **(Costa 2005)**. L'impact d'une tempête est fortement dépendant de sa durée et des variations d'intensité durant celle-ci. La surcote de

tempête, en forçant un niveau marin plus haut, induit une dissipation de l'énergie des vagues moins forte au-dessus des fonds proches, ce qui sera responsable en retour de taux d'érosion particulièrement élevés sur le *beachface* (**Forbes, Parkes et al. 2004, Castelle, Bonneton et al. 2007**) et plus faibles en zone infra tidale.

Pour analyser et essayer de quantifier les phénomènes d'érosion affectant les cordons dunaires des plages pendant les tempêtes notre travail prend l'exemple de la plus forte tempête connue sur la zone avec les plages du Verger et de l'Anse de Guesclin comme zones test. L'enjeu est de définir l'impact de la tempête du 10 mars 2008 en le replaçant au sein de l'évolution pluriannuelle

Cela a été possible car cette plage faisait l'objet d'un suivi morphologique depuis 1990 et n'a subi durant ce temps que trois tempêtes fortes 1991-1995-2008.

Elle a donc été reprise dans le cadre de notre étude diachronique par photogrammétrie. A partir de ces données il est possible de décrire son évolution en termes de tendance comme en termes d'événement. Dans ce chapitre (et en fonction des résultats précédents qui comparent le recul du site source et l'engraissement des sites puits), nous allons essayer de faire la part respective des événements intenses et des processus anthropiques dans l'évolution du site.

Notre travail de **2010 Regnaud et al** compare des levés faits avant et après la tempête et fait apparaître que le recul de la falaise est très important mais très inégal suivant les lieux. Dans l'ensemble le recul moyen est largement supérieur au mètre, ce qui est relativement semblable aux reculs des tempêtes de 1990 et 1996

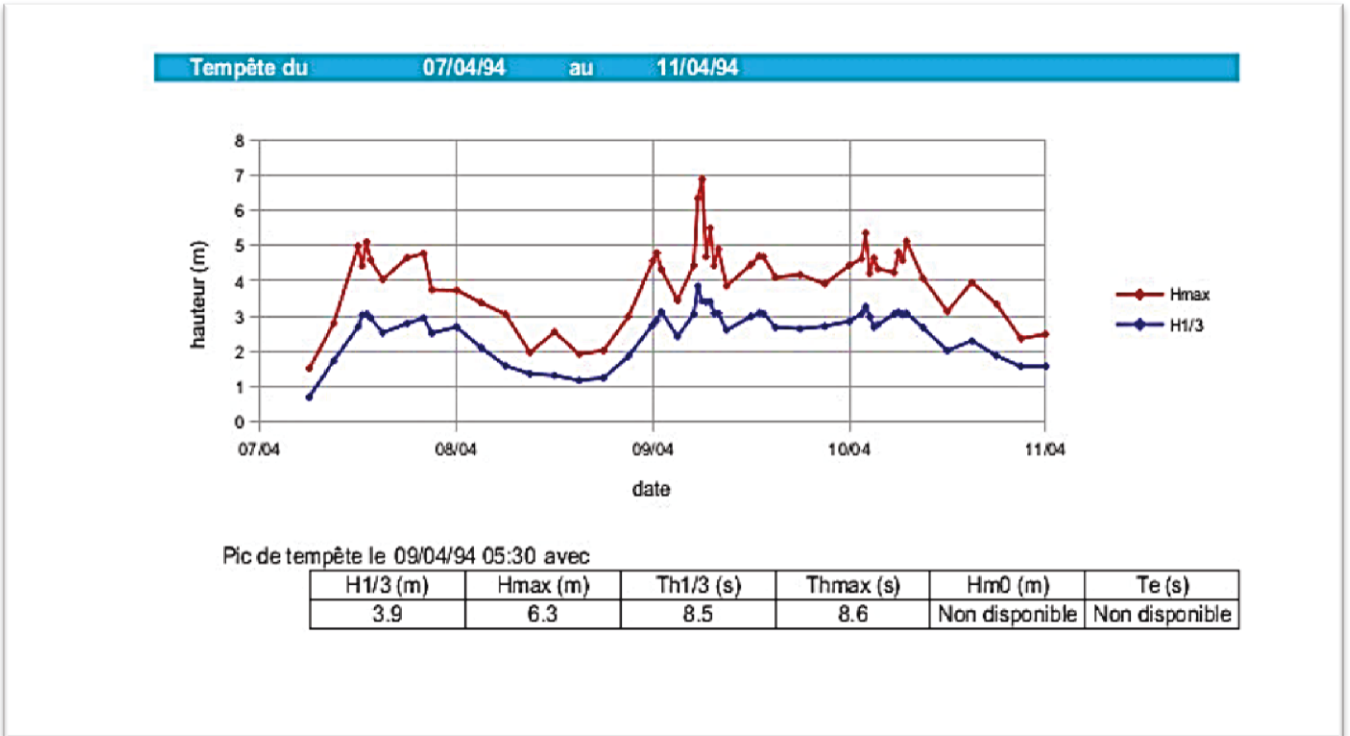


Figure 167: Visualisation des tempêtes

Source : <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>

Les informations fournies relatives à un événement de tempête sont les suivantes

- *Date de début et fin de tempête.*
- *Évolution des paramètres H1/3 et Hmax en fonction du temps.*
- *Si disponible, l'évolution du spectre de variance en fonction du temps*
- *Le détail des paramètres obtenus au pic de tempête (H1/3, Hmax, TH1/3, THmax.), et si disponible Dir, Etal et le spectre de variance directionnelle*

Durant la tempête de 2008, les conditions locales au Verger ont été marquées par des houles d'amplitude estimée à la côte de 6m

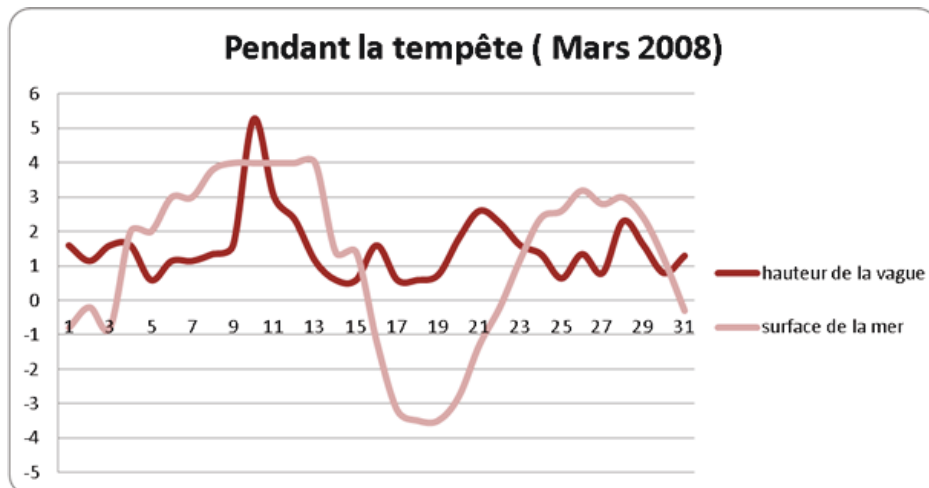


Figure 168: Houles et surcote durant la tempête de mars 2008 (données Prévimer)

Pendant la tempête de 2008 le recul a touché le pied de la falaise et au contact de la base du matériel périglaciaire avec la roche en place (voir photo de la figure (169)). Le sommet de la falaise recule également de 1 à 4 mètres, représenté par le secteur C. Le lendemain de la tempête de nombreux pans de falaise sont encore tenus par la végétation : des touffes d'ajoncs fonctionnent en chablis. Il y a très peu de débris au pied. Au cours des jours suivant tous ces chablis tombent, le recul du sommet s'accroît et les dépôts de pied de falaise deviennent plus importants. Le 20 Janvier 2009 le sommet de la falaise est partout en retrait par rapport à Mars 2008 alors que la base bouge très peu.

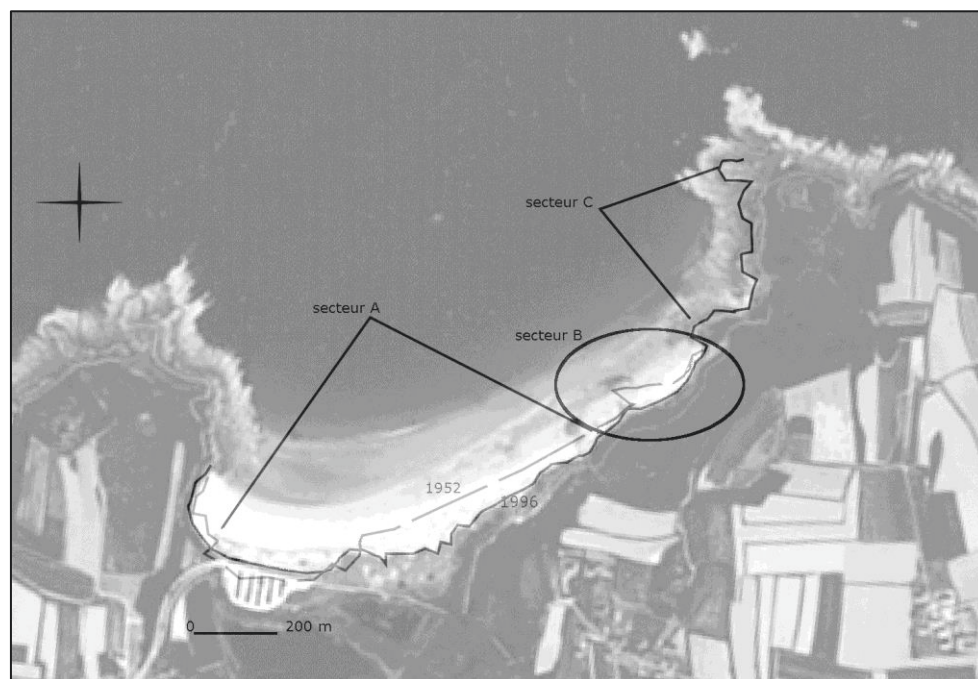


Figure 169 : Carte, évolution du trait de côte entre 1952 et 1996

Secteur A : plage/dune (très variable). Secteur B : falaise taillée dans le matériel périglaciaire (toujours en recul). Secteur C : falaise dure (stable). Marge d'erreur maximale à 5.8 m

Sur le cordon dunaire, la tempête arrache toutes les ganivelles, enlève suffisamment de sable pour faire apparaître des ganivelles anciennes et enfouies. L'ensemble du massif perd 1,5 m sur toute sa longueur

(Musereau et Regnaud 2014) ont compilé les données concernant des paramètres de vent, vagues et des marées, dans un tableau qui contient les principales tempêtes entre 2006 et 2012 et elle ont associées à l'impact résultant sur le site du Verger. L'impact est considéré comme élevé si le recul observé est localement plus élevé que le recul moyen annuel, moyen s'il est inférieur et faible s'il est encore moins important. Un fort impact signifie que l'événement de tempête a produit un recul qui accélère le taux de recul précédent

Event	Date	Wind*	Wave**	Tide***	Impact
N°1	15.02.2006	17	2.7	12.49 ; 84	No
N°2	03.12.2006	20	4.0	12.45 ; 86	Low
	05.12.2006	17	3.2	12.92 ; 91	
	07.12.2006	17	3.6	12.73 ; 85	
N°3	29.12.2006	17	3.0	10.63 ; 57	No
	30.12.2006	17	3.2	10.70 ; 45	
N°4	11.01.2007	17	3.5	10.41 ; 76	No
N°5	18.01.2007	18	4.2	11.61 ; 32	No
N°6	12.02.2007	18	5.8	9.28 ; 29	No
N°7	02.12.2007	18	5.0	9.81 ; 46	No
N°8	09.12.2007	18	6.7	11.83 ; 71	No
N°9	31.01.2008	19	3.4	9.89 ; 33	No
N°10	10.03.2008	19	6.9	13.78 ; 106	High (2.5m)
N°11	10.02.2009	18	3.8	13.54 ; 107	Low
(*) Daily maximum average wind speed (m.s ⁻¹) at: 48.8 (lat.) / -2.2 (long.) / 4 m (altitude of the anemometer). All winds from NW to N. (**) Daily maximum significant wave height (m) at: 48.8 (lat.) / -2.2 (long.) / (***) Daily maximum tide (m. above charts 0) and coefficient at Cancale Sources : (*) (**) Météo France and (***) SHOM					

Tableau 51 : (tirée de Musereau et Regnaud, 2014) : principales tempêtes et impact sur le site du Verger

Ce tableau permet de comprendre pourquoi le niveau d'eau est plus important que l'énergie des vagues. Lorsque les tempêtes coïncident avec une pleine mer de vive-eau. Les conditions météorologiques tempétueuses sont responsables d'une forte agitation de la mer amplifiant les phénomènes de *wave setup* et de *swash run-up*, auxquels s'ajoute le plus souvent un phénomène de surcote. C'est le seul moment où les vagues peuvent effectivement atteindre les dunes et finalement submerger la barrière, les vagues déferlant sur le cordon peuvent entraîner un recul rapide

Par exemple le 12 Février 2007, les vagues avaient environ 5,8 mètres d'amplitude (tableau 51), mais la tempête est survenue au cours d'une marée de morte-eau (à marée basse) et n'a eu aucun effet érosif, même sur le bas du profil.

Notre travail (**Regnauld, et al 2010**) a souligné l'ensemble du comportement morphologique du Verger. Pour la falaise: il y a un recul constant, qui est principalement dû à l'effet de fortes tempêtes et à leurs conséquence différées dans le temps (effondrements post tempêtes). Ce recul est donc forcé par la météo, et il est modulé, contrôlé par la stratigraphie de la coupe qui recule. Pour la dune il y a soit recul soit accrétion suivant que des ganivelles sont posées rapidement après la tempêtes ou longtemps après. Sur ce site les tempêtes (du moins celles d'entre elles qui sont impactantes) sont les seuls événements susceptibles de faire évoluer le système de telle façon qu'il ne puisse pas revenir à son état initial.

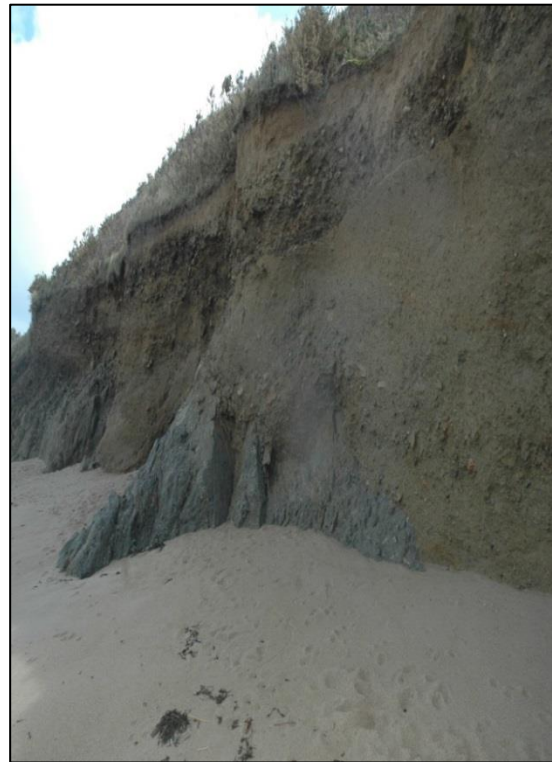


Figure 170 : (A) Anse de verger L'ensemble de la coupe

(B) Même lieu, Mars 2014

avant la tempête De Mars 2008

Le site de **l'Anse de Guesclin** présente un stade de restauration moins avancé que l'ensemble des massifs dunaires d'Ille-et-Vilaine. La tempête de 2008 peut être considérée comme un élément ayant fortement influencé le processus de restauration qui a été commencé en 1985. La tempête, en effet n'a pas modifié la barrière dunaire (qui est ancrée sur une structure en béton et en blocs rapportés) mais elle a considérablement amaigri la plage et le tombolo. Au cours des deux mois suivants ces deux formes ont retrouvé leur forme initiale. Sur ce site les tempêtes ont un impact fort mais il y a cependant retour à l'état initial en quelques mois.

La comparaison de la réponse de ces deux plages voisines à une séquence de tempête montre que les deux plages présentent les mêmes tendances d'évolution à court terme. Cependant, au sujet du bas de plage, on peut dire qu'il n'existe pas de relation évidente reliant l'érosion avec n'importe lequel des indicateurs significatifs de l'importance d'une tempête (énergie des vagues, force du vent). On peut seulement remarquer trois choses :

-l'érosion semble augmenter avec les tempêtes les plus grosses survenant en étale de haute mer de marée de vives eaux.

-la réponse d'une plage/barrière dunaire est fortement dépendante de la forme d'anthropisation qu'elle subit

-la falaise meuble a déjà tellement reculé depuis les années 60 qu'il ne reste quasiment plus de matériel en place et il est probable que lorsque ne restera en place que de la roche dure les vitesses de recul futures seront moins élevées que les actuelles, voire nulles.

En fait la réponse de ces sites aux tempêtes est conditionnée par l'histoire de leur aménagement. Au Verger la disparition de la dune grimpante (extractions) et la presque disparition de la couverture périglaciaire (érosion par tempêtes depuis les années 60) va transformer le secteur est en système semblable à une falaise dure avec une plage de poche à son pied. A Du Guesclin la dune est artificielle, solide à cause de son sous bassement et les tempêtes n'ont pas d'effets durables.

II. Effets des actions anthropiques sur la ligne côtière

Comme cela a été indiqué précédemment, les phénomènes d'érosion, de stabilité, et d'engraissement des côtes sont des processus naturels résultant de nombreux facteurs comme la nature morpho-sédimentaire du littoral, la houle, le vent, les surcôtes, la pluie. Cependant les forçages anthropiques qui se sont exercés sur ce littoral au cours des dernières vingtaines d'années ont influencé les termes du bilan sédimentaire côtier, en modifiant la nature et le volume des apports sédimentaires, en interrompant le transit de matériel. Cette partie du chapitre va montrer que les forçages anthropiques sont plus morphogènes que les forçages naturels.

Les forçages anthropiques ont été étudiés de façon essentiellement descriptive, par une observation des photographies aériennes, permettant de retracer l'historique des prélèvements de sable, de l'installation des aménagements côtiers, en particulier à proximité des secteurs en recul.

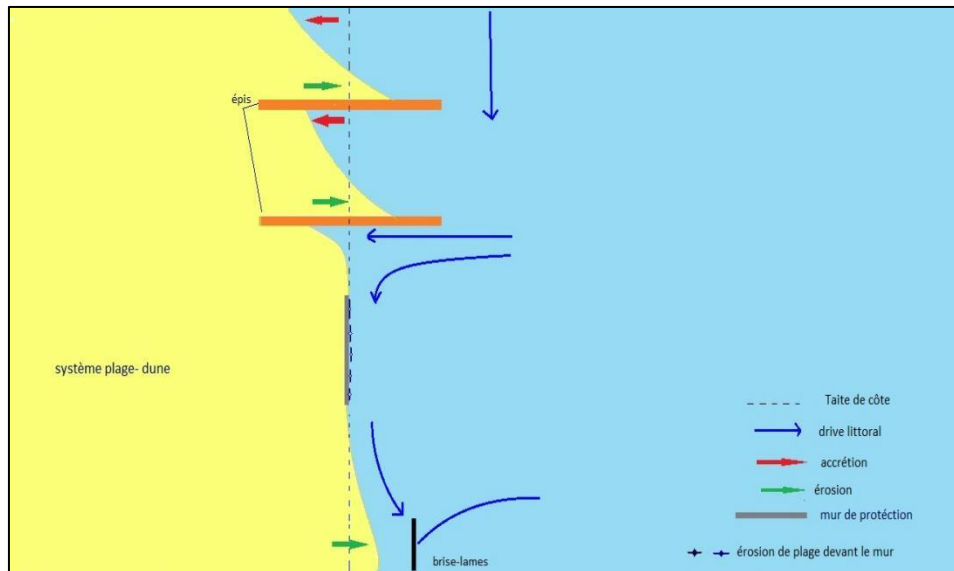


Figure 171 : Impact possible d'aménagement sur le trait de côte

II.1 Effets des actions anthropiques sur les formes d'accumulation et les sources sédimentaires

Les impacts de l'anthropisation du littoral sur les processus morphogénétiques ont été étudiés par de nombreux auteurs. De façon générale (**Norris 1963, Liddle et Grieg-Smith 1975, Hylgaard et Liddle 1981, Nordstrom 2000, French 2001, Gallet et Rozé 2001**), ont signalé l'importance des piétinements sur les végétations dunaires, la possible création de brèches, voire le recul du front dunaire. Plus précisément (**Boorman et Fuller 1977**) indiquent que 2800 passages en une saison réduisent de 50 % le couvert végétal d'une dune plantée d'oyats. Tous ces auteurs s'accordent pour dire qu'à partir des années 1960, dans les pays d'Europe de l'Ouest, avec l'occupation de plus en plus forte de la bande côtière par les activités humaines, le paramètre anthropique est devenu un élément déterminant du bilan sédimentaire littoral.

La fréquentation prend diverses formes selon les sites : elle est essentiellement pédestre et nautique sur les plages mais sur les dunes, avec les campings sauvages des parkings apparaissent et des véhicules érodent considérablement les sites (anse de Verger, les Chevret et les Mielles de Saint Cast). Les falaises sont concernées par des chemins côtiers et un piétinement de la végétation des landes basses et des pelouses.

Le piétinement est accentué l'été quand par exemple des secteurs entiers sont victimes du camping sauvage et de la multiplication des effets négatifs des aménagements touristiques que celui-ci génère (véhicules, dégradations, feux)

Les littoraux de notre zone ne sont donc pas affectés par l'érosion côtière de manière uniforme. Cela dépend de la nature des côtes et du degré d'anthropisation. Afin d'estimer

l'impact de l'anthropisation il est nécessaire de connaître l'occupation du sol directement à l'arrière des secteurs côtiers en recul.

Pour ce faire, différentes couches d'information ont été créés. La première concerne les chemins côtiers recensés par périodes successives (1952-1977, 1977-1998, 1998-2010 et 1952-2010). Une seconde couche est créée à partir de l'inventaire des surfaces artificialisées. Ces surfaces artificialisées sont des surfaces urbanisées ou des routes qui modifient l'accessibilité et la fréquentation des sites. Leur augmentation a été identifiée dans un intervalle qui s'étend jusqu'à 300 m du tracé du littoral. Pour chaque photo c'est le tracé du littoral de l'époque qui sert à définir la zone de 300m.

- L'anthropisation de l'espace littoral entre pointe de Grouin et St Malo entre 1952 et 2010

Entre 1952 et 2010 l'évolution des systèmes côtiers est marquée, sur la totalité de ce secteur, par une augmentation de l'anthropisation de l'espace littoral. Les sites les plus touchés sont les massifs dunaires et le sommet des falaises meubles. Dans la bande des 300 m les surfaces bâties et les chemins augmentent considérablement.

Cependant, cette augmentation des pressions anthropiques se met en place essentiellement après 1961

Sur l'ensemble des pas de temps étudiés, plusieurs secteurs paraissent presque toujours caractérisés par un recul du trait de côte, Anse de Guesclin, Anse de verger (secteur B), Pointe de la Varde, plage de la Touesse, et dunes des Chevreton

II.1.1. Anse du Verger

Les pourcentages sont calculés comme la différence entre la surface anthropisée en fin de période et celle qui était anthropisée au début.

Surface anthropisée en 1977 – surface anthropisée en 1952 / surface anthropisée en 1977 x 100

Anse de Verger		
Année	% augmentation des pressions anthropiques	% augmentation des nombres des chemins
1952-1977	52.8%	83.3%
1977-1998	6.2%	0
1998-2010	33%	25%
1952-2010	68%	75%

Tableau 52 : pourcentage d'augmentation de pression anthropique au sein de l'anse du Verger (1952-2010)

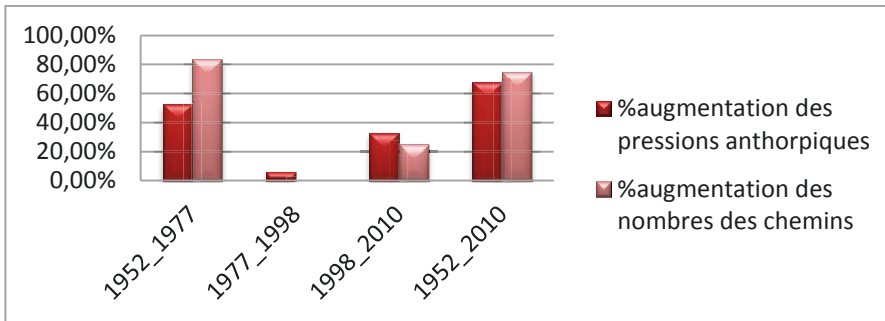


Figure 172 : graphique de pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques dans l'anse du Verger (1952-2010).

Sur différents pas de temps, le recul le plus important sur l'anse du Verger est rencontré dans deux types de secteurs :

- Le secteur de la falaise meuble où les chemins augmentent fortement jusqu'en 1977. Le piétinement fait disparaître la végétation, laisse le sol à nu et favorise alors l'infiltration des eaux de pluies dans le matériel périglaciaires qui recule alors par effondrements.
- Le secteur de la dune sur laquelle un parking sauvage était installé. Entre 1998 et 2010 l'augmentation des surfaces anthropisées correspond à la création d'un nouveau parking et à l'ouverture de nouveaux chemins (enclos entre des ganivelles) pour l'accès à la plage. Cette anthropisation n'implique donc pas une érosion comme c'était le cas avant 1977.

Dans l'Anse de Guesclin, l'Anse de Touesse et la pointe de la Varde, l'urbanisation n'est pas développée à proximité de la ligne de rivage. Les contraintes anthropiques qui interfèrent avec les dynamiques littorales correspondent à des chemins côtiers, souvent délimités par des ganivelles, ou à des parkings établis en arrière du massif dunaire. Quelques surfaces sont érodées par le piétinement.

Par contre le trait de côte plage du Mihinic entre l'année 1952 et 2010 est devenu totalement occupé par les surfaces urbanisées

II.1.2. Dans l'anse du Guesclin :

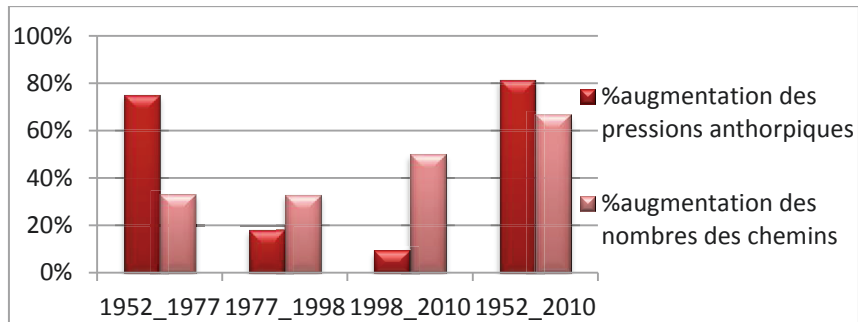


Figure 173 : graphique de pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques dans l'Anse du Guesclin (1952-2010)

Sur la plage Du Guesclin entre 1952-1977 plus de 70% des polygones en érosion sont associés à une augmentation des pressions anthropiques. L'installation de la route départementale 201, la création de deux parkings et la suppression de l'estuaire du ruisseau de la Trinité ont eu un impact considérable.

II.1.3. Le site des chevret :

Dans l'Anse de Rothéneuf les dunes des Chevrets sont considérablement anthropisées entre 1952 et 1977. Des parkings et des campings sauvages s'installent, des chemins sont ouverts. Ce n'est qu'après 1982 que le site commence à être protégé, partiellement fermé au public. Cependant deux nouveaux campings s'étendent sur la partie Est de la dune et sur la base de la pointe du Meinga. Ces campings entraînent une dégradation du front dunaire à l'Est alors que les dunes à l'ouest de la plage sont protégées par des ganivelles (chapitre 3)

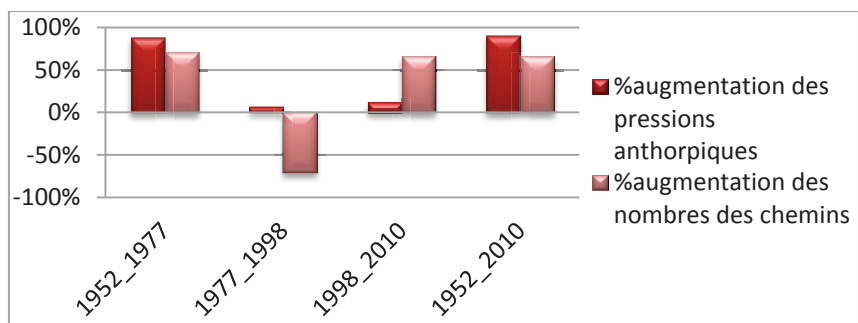


Figure 174 : graphique de pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques dans la plage de chevret (1952-2010)



Figure 175 : photo pour *Les Chevret* 1952



Figure 176 : photo pour les Chevret 1964



Figure 177 : Dunes de Chevret 1971

II.1.4. la Touesse et plage de la Varde

Les figures suivantes représentent la variation de l'anthropisation sur les sites de la Varde (Figure 178) et de la Touesse (figure 179). Dans les deux cas l'érosion est importante avant 1977. Depuis les années 80 les deux sites sont protégés et la fréquentation est canalisée par des chemins bordés de haies et de ganivelles.

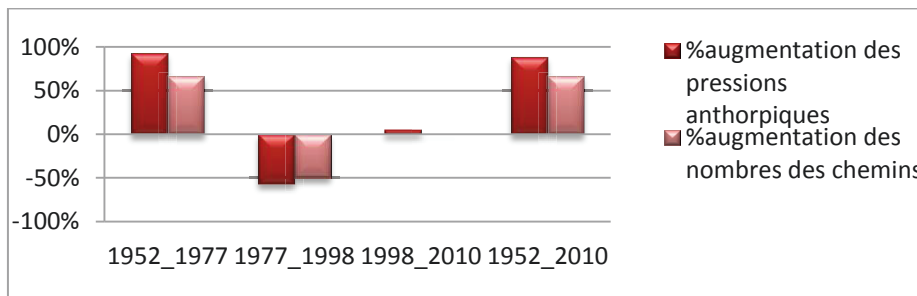


Figure 178 : graphique de pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques dans la plage de la Varde (1952-2010)

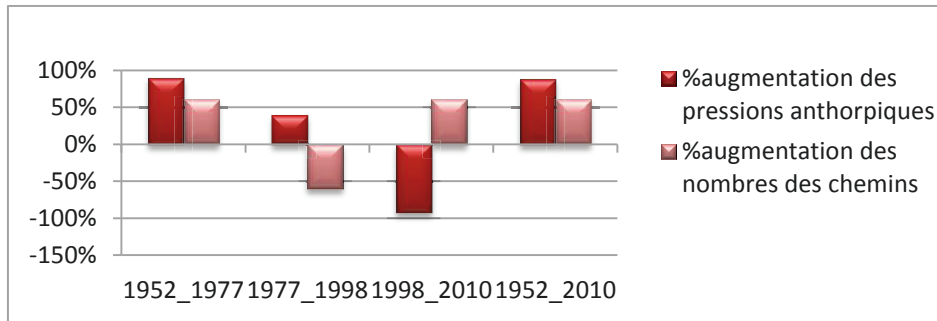


Figure 179 : graphique de pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques dans la plage de la Touesse (1952-2010)

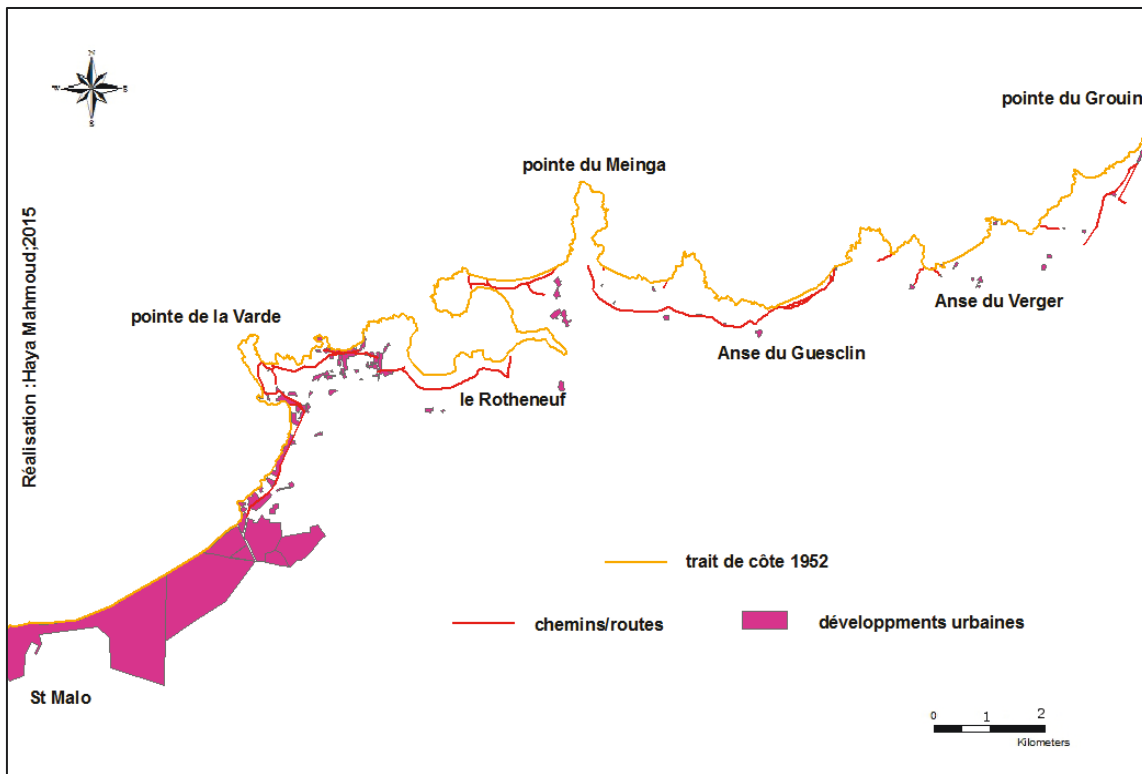


Figure 180 : cartographie de l'extension urbaine au sein de secteur 1 pour l'année 1952

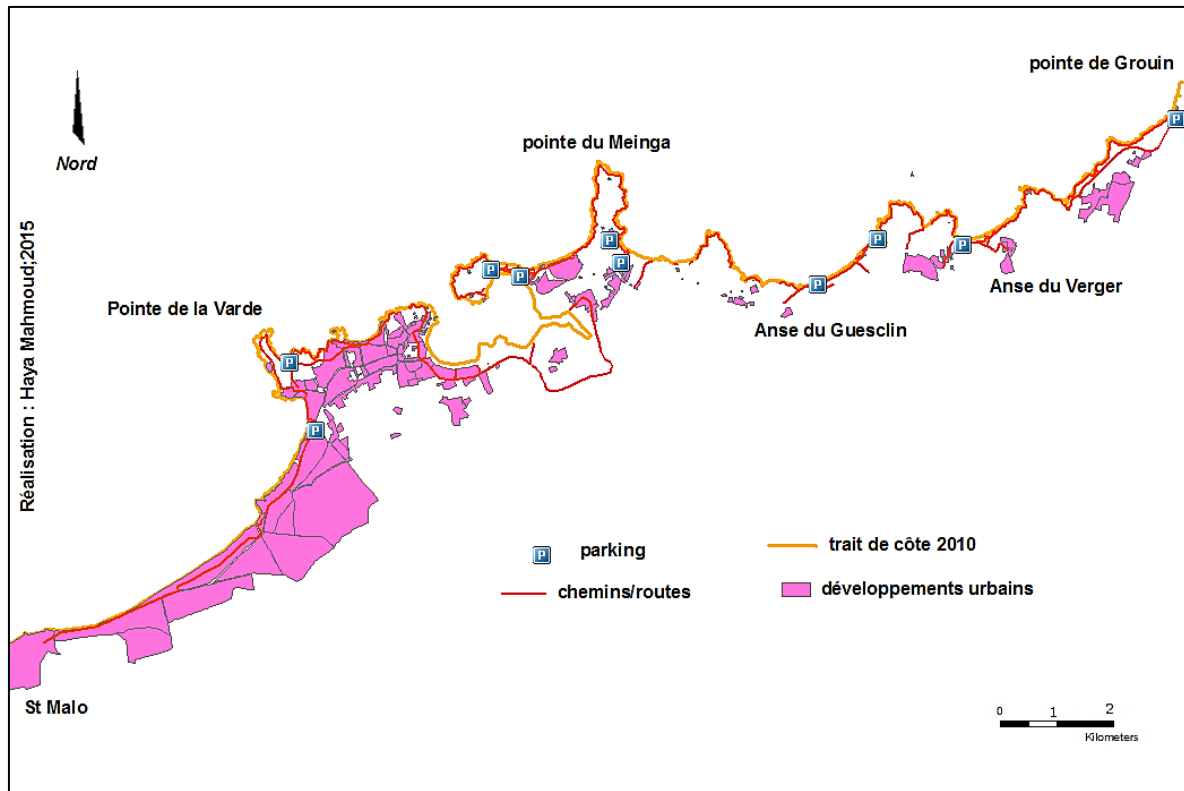


Figure 181 : cartographie de l'extension urbaine au sein du secteur 1 pour l'année 2010

II.1.5 Plage de port Hue en secteur 2

Tous les sites dans ce secteur sont caractérisés par d'importantes concentrations de contraintes anthropiques. Les bâtiments et les routes côtières s'installent directement sur les dunes ou les plages. Malgré cette forte artificialisation la plage de Port Hue enregistre une forte progradation du massif dunaire entre 1961- 1977 et 1998 et 2010 grâce à des méthodes d'aménagement dites « douces » de reprofilage et de rechargement sédimentaire. Il s'agit presque d'une plage artificielle, reprofilée par des bulldozers en hiver.



Figure 182 : plage de Port Hue, aménagement « doux » de reprofilage et de rechargement sédimentaire

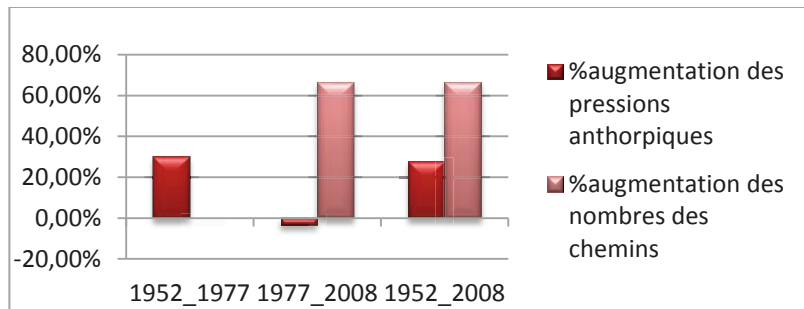


Figure 183 : pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques dans la plage de port Hue

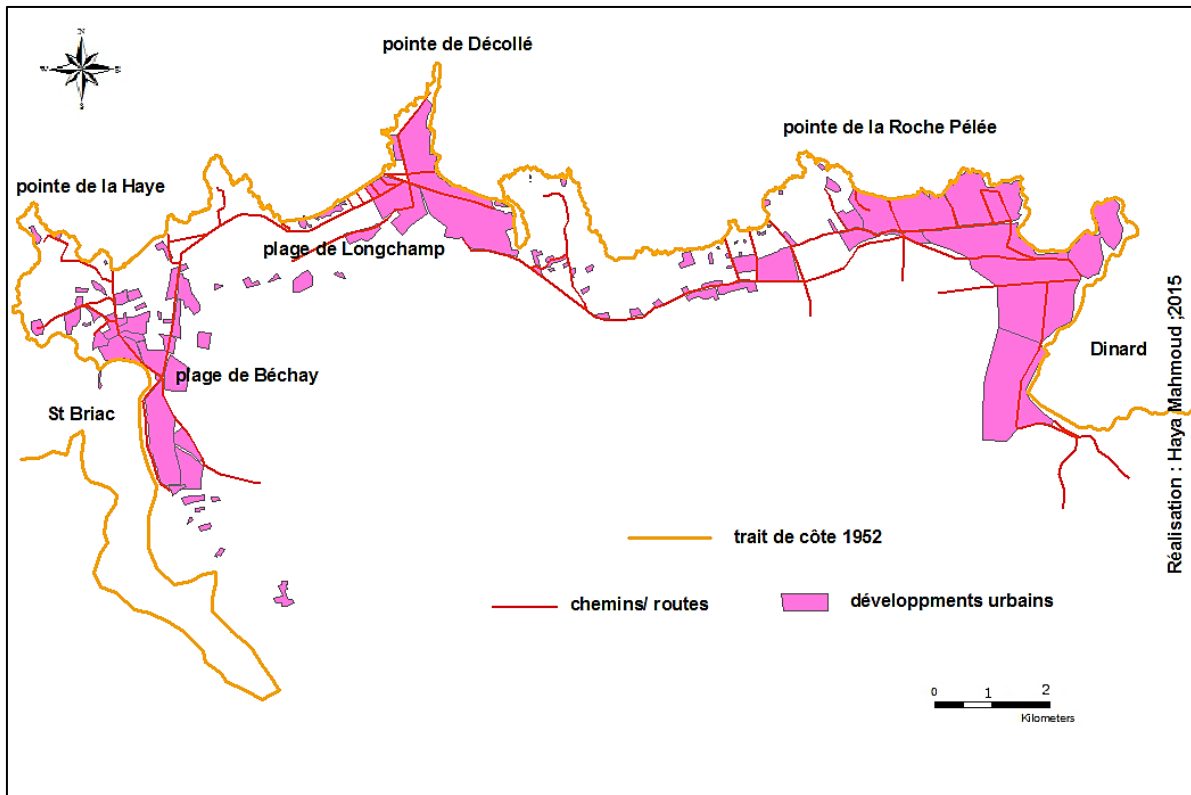


Figure 184 : cartographie de l'extension urbaine au sein du secteur 2 pour l'année 1952

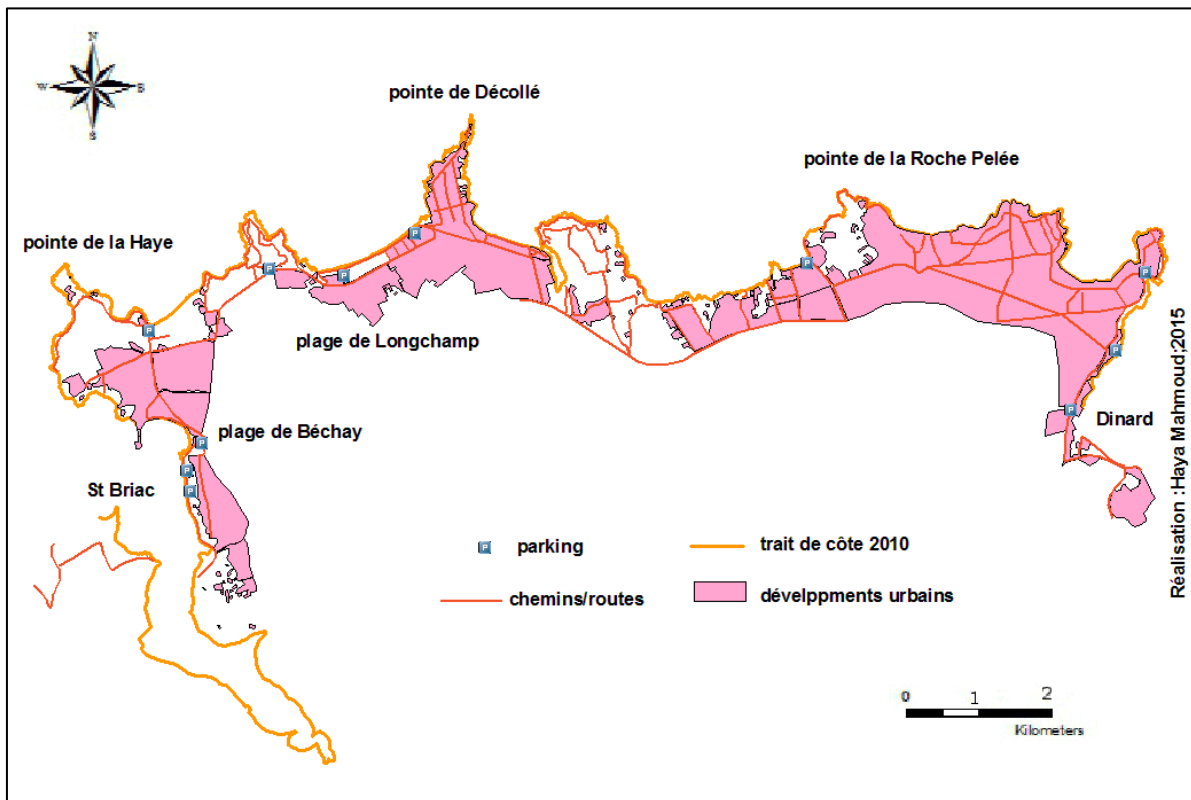


Figure 185 : Carte de l'extension urbaine au sein du secteur 2 pour l'année 2010

II.1.6. Le cas des plages dans le secteur 3

Ces plages connaissent une forte concentration des contraintes anthropiques (et notamment des chemins côtiers et des surfaces érodées en 1977) comme le montrent les figures 184 à 190. L'évolution dans le temps n'est pas uniforme d'une plage à l'autre. Au cours de la période 98-2008, pour les plages peu aménagées la forte densité des passages ou des chemins est associée à une concentration des sites marqués par une progradation du front dunaire.

Par contre le trait de côte est fortement artificialisé à la plage de ST-Cast-le-Guildo par un mur de protection depuis 1952. Des infrastructures sont installées directement derrière le trait de côte. Le front de dunes situées à l'Est de la plage est protégé des ganivelles, en 2010 rien n'a changé sauf que la surface du développement urbain a augmenté au détriment des surfaces occupées par la pelouse littorale.

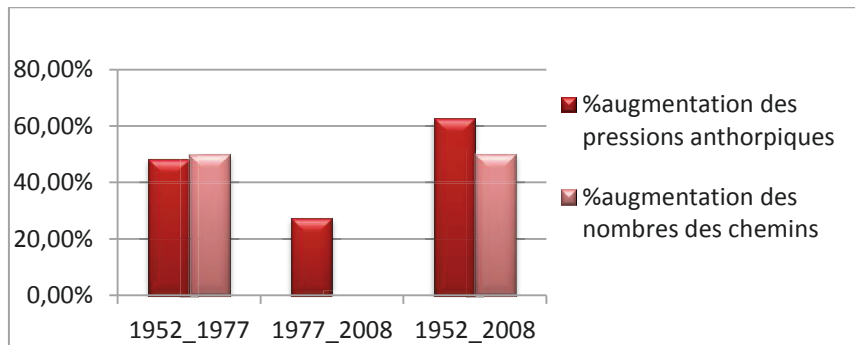


Figure 186 : pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques (plage de ST Cast)

II.1.7. Plage Pen Guen(le Golf)

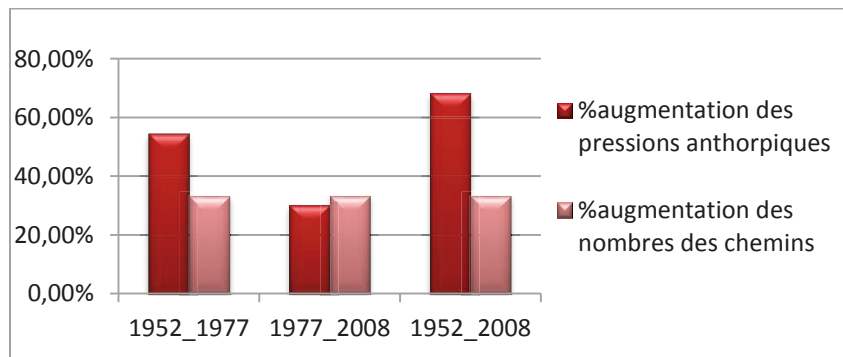


Figure 187 : pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques sur la plage de Pen Guen

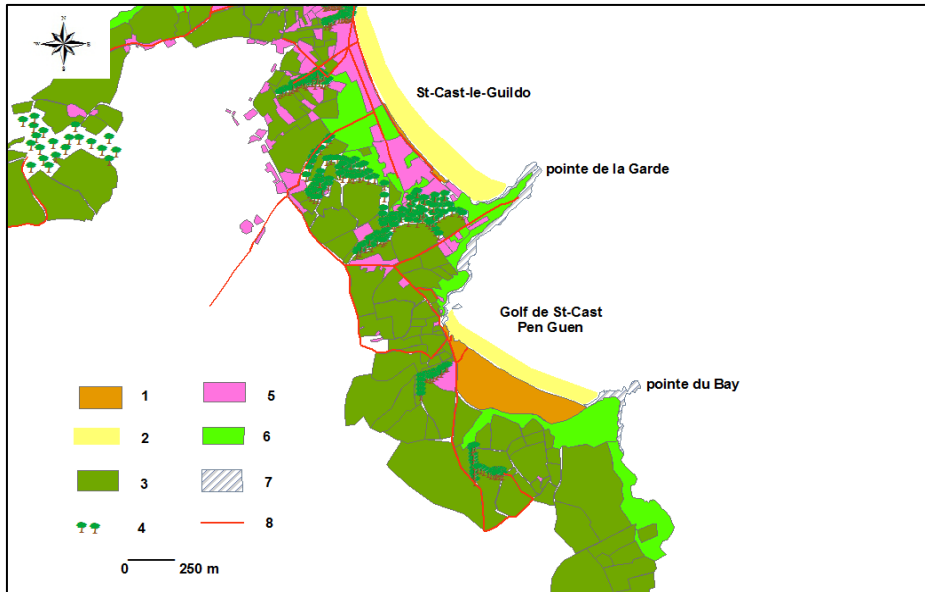


Figure 188 : Carte de la morphologie et de l'occupation du sol de la plage de Pen Guen, secteur3 ,1952

1 : dunes, 2 : sable ,3 : terres agricoles, 4 : bois ,5 : espaces urbanisés, 6 : lande\pelouse, 7 : platier rocheux, 8 : chemins / routes ,9 :

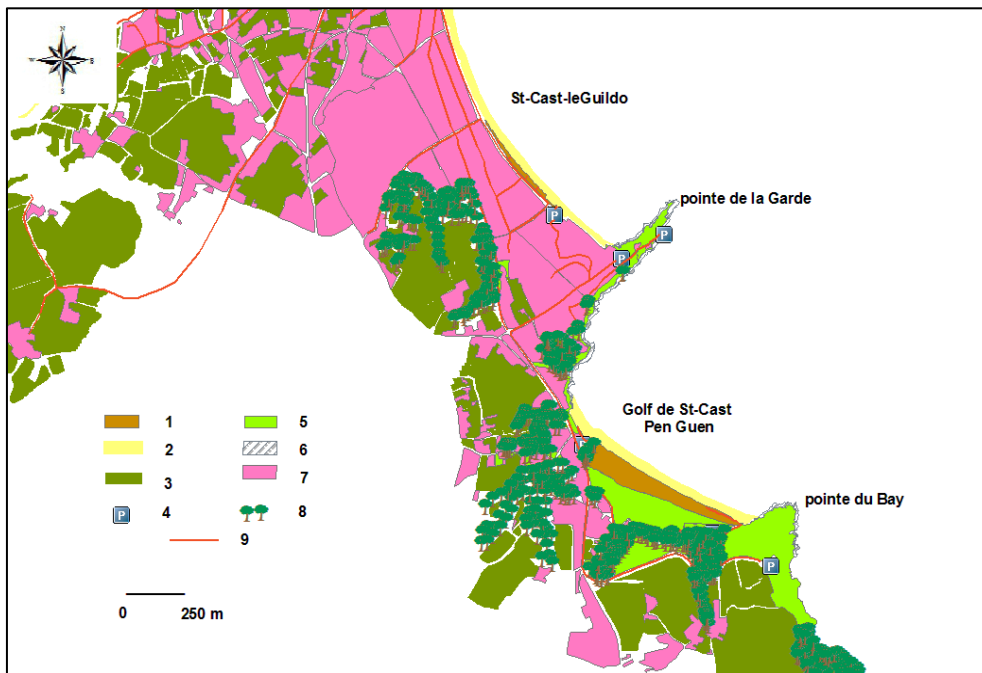


Figure 189 : Carte de la morphologie et de l'occupation du sol de la plage de Pen Guen secteur 3 ,2008

1 : dunes, 2 : sable ,3 : terres agricoles, 4 : parking ,5 : lande/pelouse, 6 : platier rocheux, 7 : espaces urbanisés, 8 : bois, 9 : chemins / routes

Plage de la Mare :

La partie Est de la plage est aménagée dans sa totalité en camping

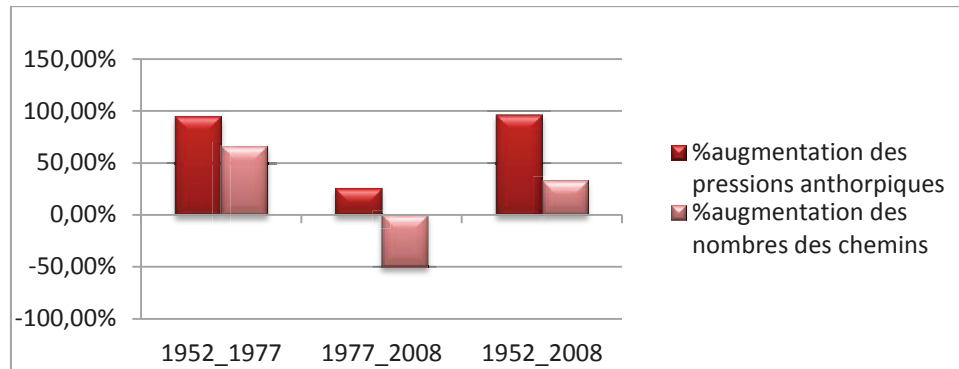


Figure 190 : pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques dans la plage de la Mare

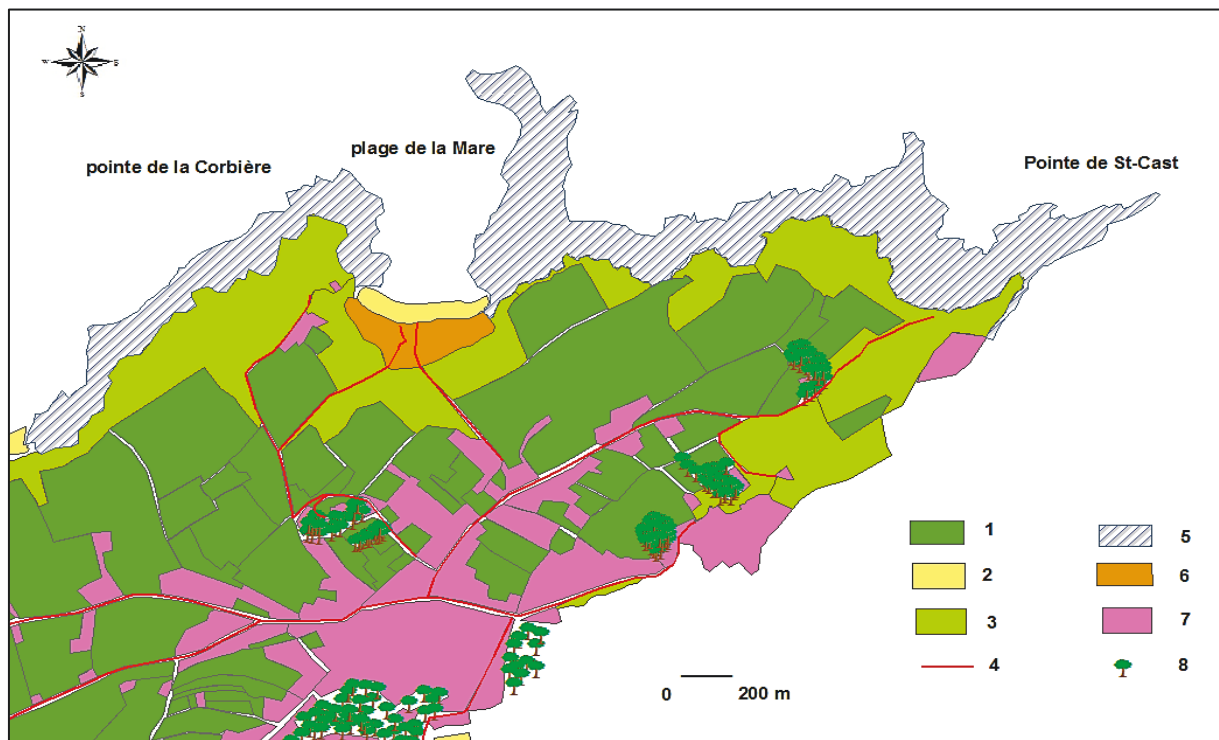


Figure 191 : Carte de la morphologie et de l'occupation du sol de la plage de la Mare secteur 3 ,1952

1 : terres agricoles, 2 : sable ,3 : lande/ pelouse, 4 chemins / routes ,5 : platier rocheux, 6 : dunes, 7 : espaces urbanisés, 8 : bois

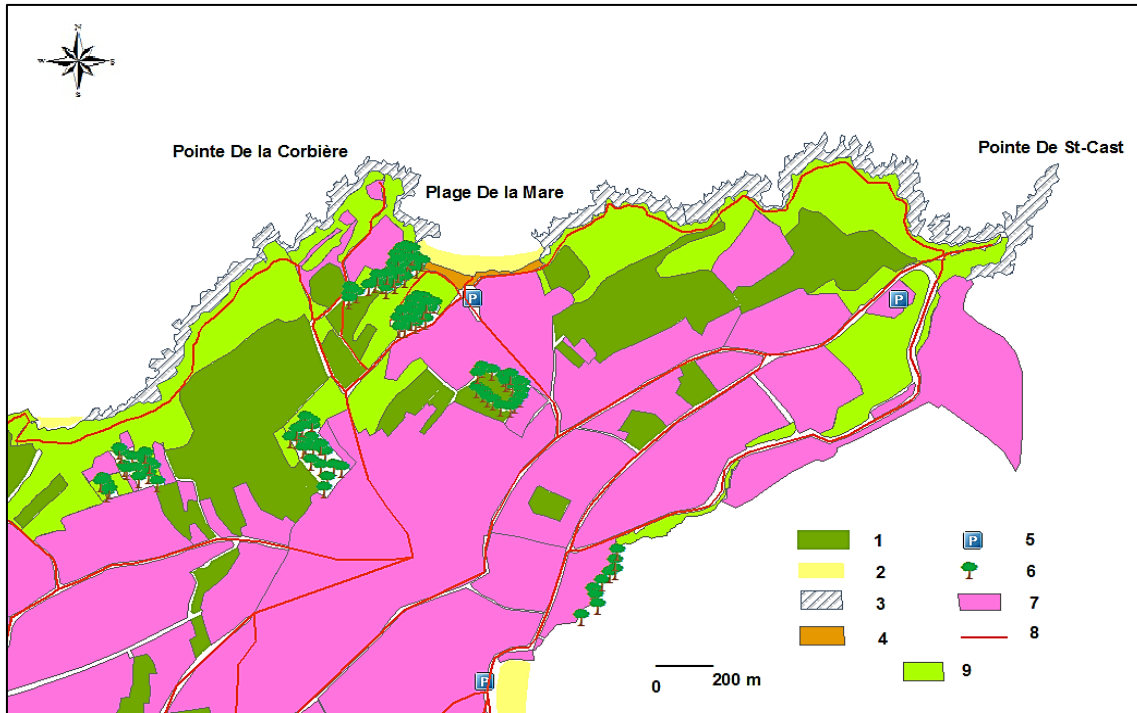


Figure 192 : Carte de la morphologie et de l'occupation du sol de la plage de la Mare secteur 3 ,2008

1 : terres agricoles, 2 : sable ,3 : platier rocheuse, 4 : dunes ,5 : parking, 6 : bois, 7 : espaces urbanisés, 8 : chemins / routes ,9 : lande/pelouse

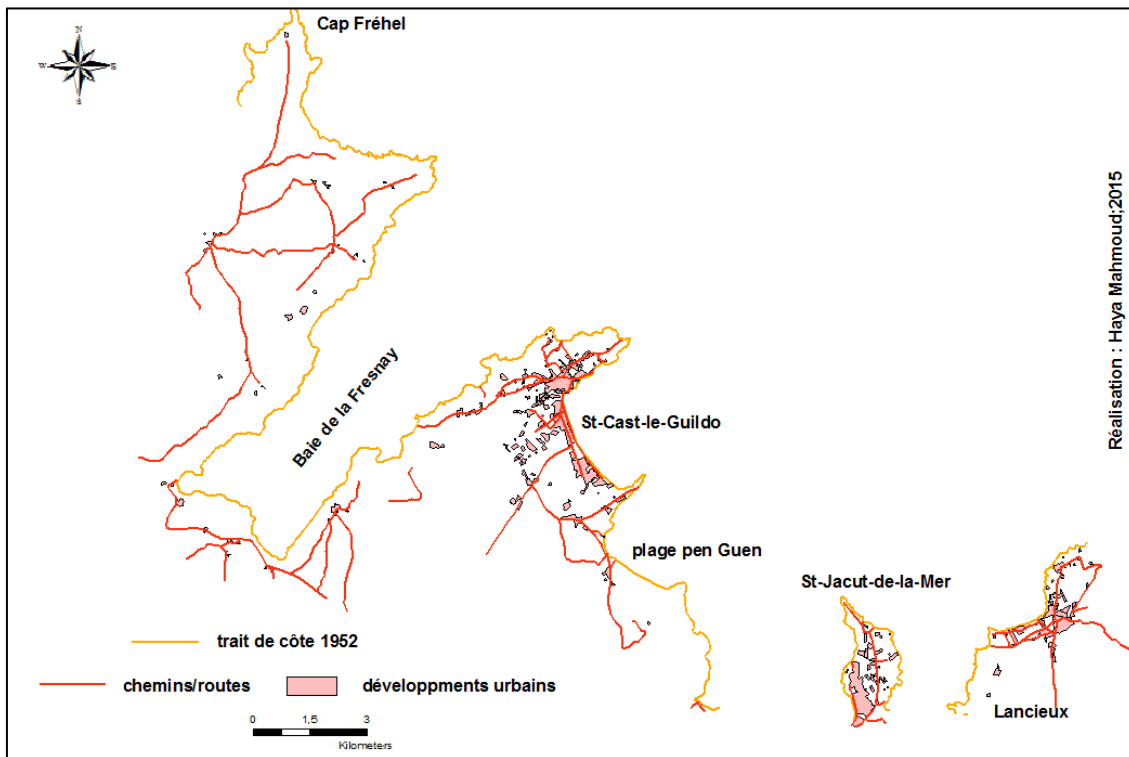


Figure 193 : Carte de l'extension urbaine au sein du secteur 3 pour l'année 1952

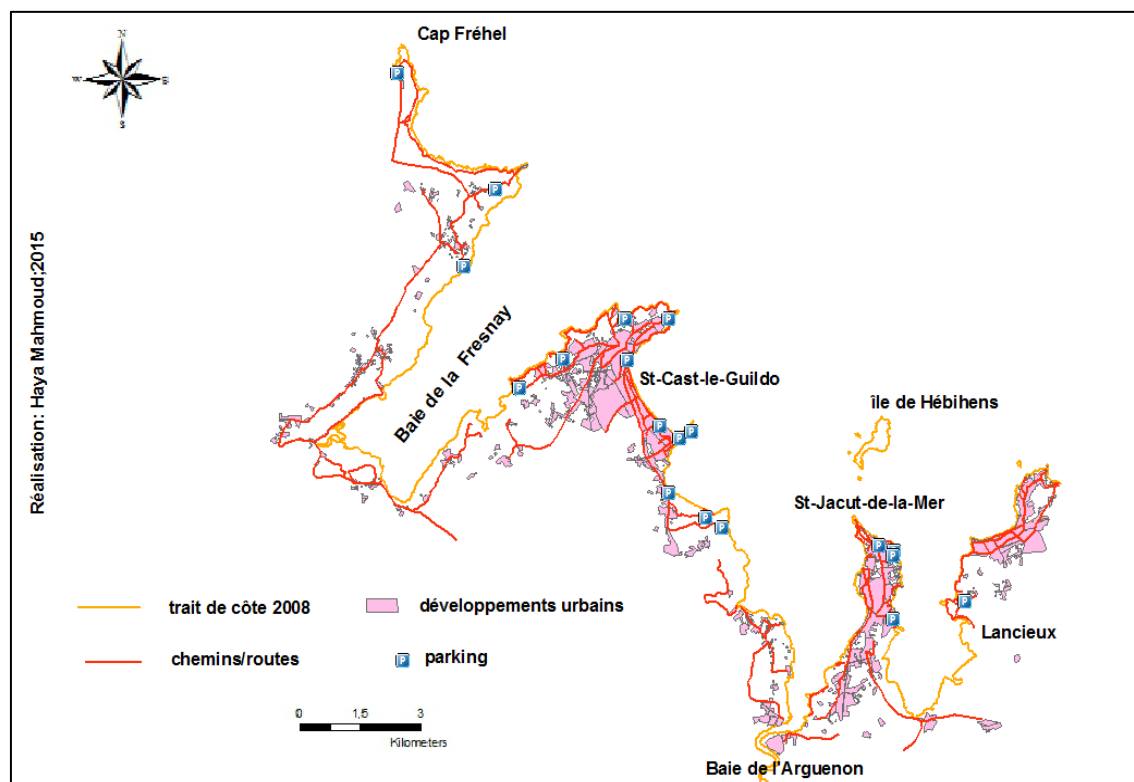


Figure 194 : Carte de l'extension urbaine au sein du secteur 3 pour l'année 2008

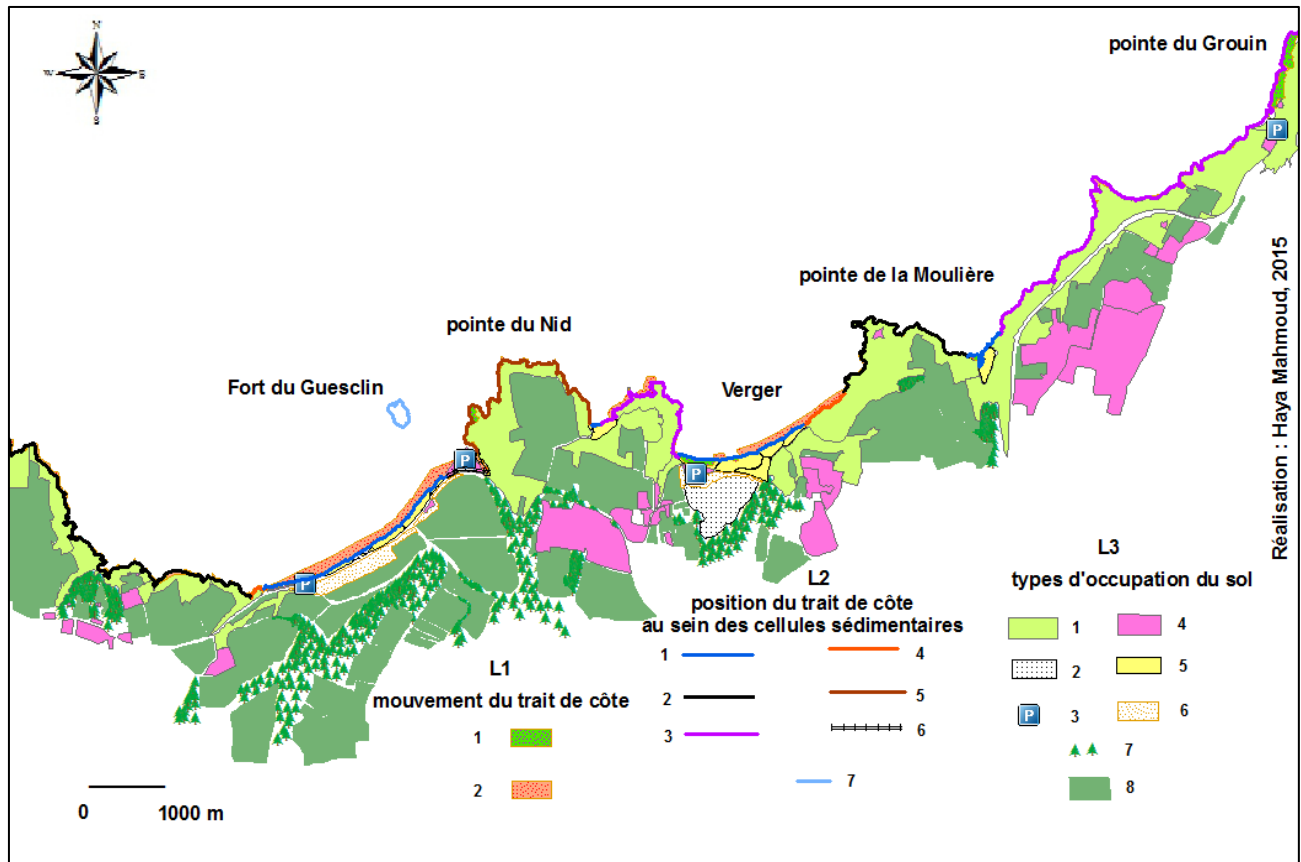
III. Quel effet à l'anthropisation sur le fonctionnement sédimentaire

Le chapitre précédent a tenté de découper la côte en cellules sédimentaires (avec les limites de cette démarche) et il est évident que les impacts anthropiques ne sont pas également importants s'ils concernent des sites puits, sources ou de transit.

On peut faire l'hypothèse que les impacts les plus forts sont ceux qui empêchent un site source de fournir du matériel au système. On peut également penser aux impacts qui empêcheraient le fonctionnement d'un site de transit. Sur des sites puits certains impacts peuvent être forts (extractions de sables) mais il est possible de penser qu'une alimentation régulière en sable puisse compenser ces extractions, même si ça n'a pas été le cas à Du Guesclin.

Les trois cartes suivantes juxtaposent les types d'occupation du sol actuel avec les types de fonctionnement des côtes (sites puits, source et transit)

Par la suite quel serait l'effet d'une tempête sur ce fonctionnement



Réalisation : Haya Mahmoud, 2015

Figure 195 : relations entre le trait de côte et l'occupation du sol, secteur 1 (a)

L1 : mouvement du trait de côte, 1 : polygone en accrétion 2 : polygone en érosion

L2 : 1 : site puit exposée, 2 : site du transit, 3 : site de transit indéterminé, 4 : site source ,5 : site du partage entre les cellules

L3 : 1 : lande/pelouse, 2 : marais ,3 : parking ,4 : développements urbain ,5 : dunes, 6 : dunes fossiles ,7 : bois, 8 : terre agricole

La carte met en relation le comportement des plages du secteur 1, sur le long terme (1952-2010) avec la position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires identifiées au chapitre 6. A partir de cette carte, il est difficile de différencier des types de comportements de plages, en fonction de leur position dans les cellules sédimentaires. Dans de nombreux sites puits, l'évolution du trait de côte est caractérisée par une prédominance des processus d'érosion, avec de très petites poches locales d'accrétion. Cette érosion est associée à une concentration des pressions anthropiques. L'évolution des autres plages situées dans les sites sources (falaises meubles) est caractérisée par un démaigrissement constant, par contre dans les sites de transits, l'évolution est dominée par une alternance spatiale et temporelle de processus d'érosion et d'accrétion. La seule conclusion que l'on peut tirer est que l'impact anthropique sur certains sites puits a été si intense que, même s'ils re-fonctionnent aujourd'hui en puits cela ne compense pas le recul. On a donc aujourd'hui un fonctionnement redevenu naturel qui est le résultat d'un anthropisation des années 60. Ce fonctionnement actuel n'est donc pas un retour à l'état précédant.

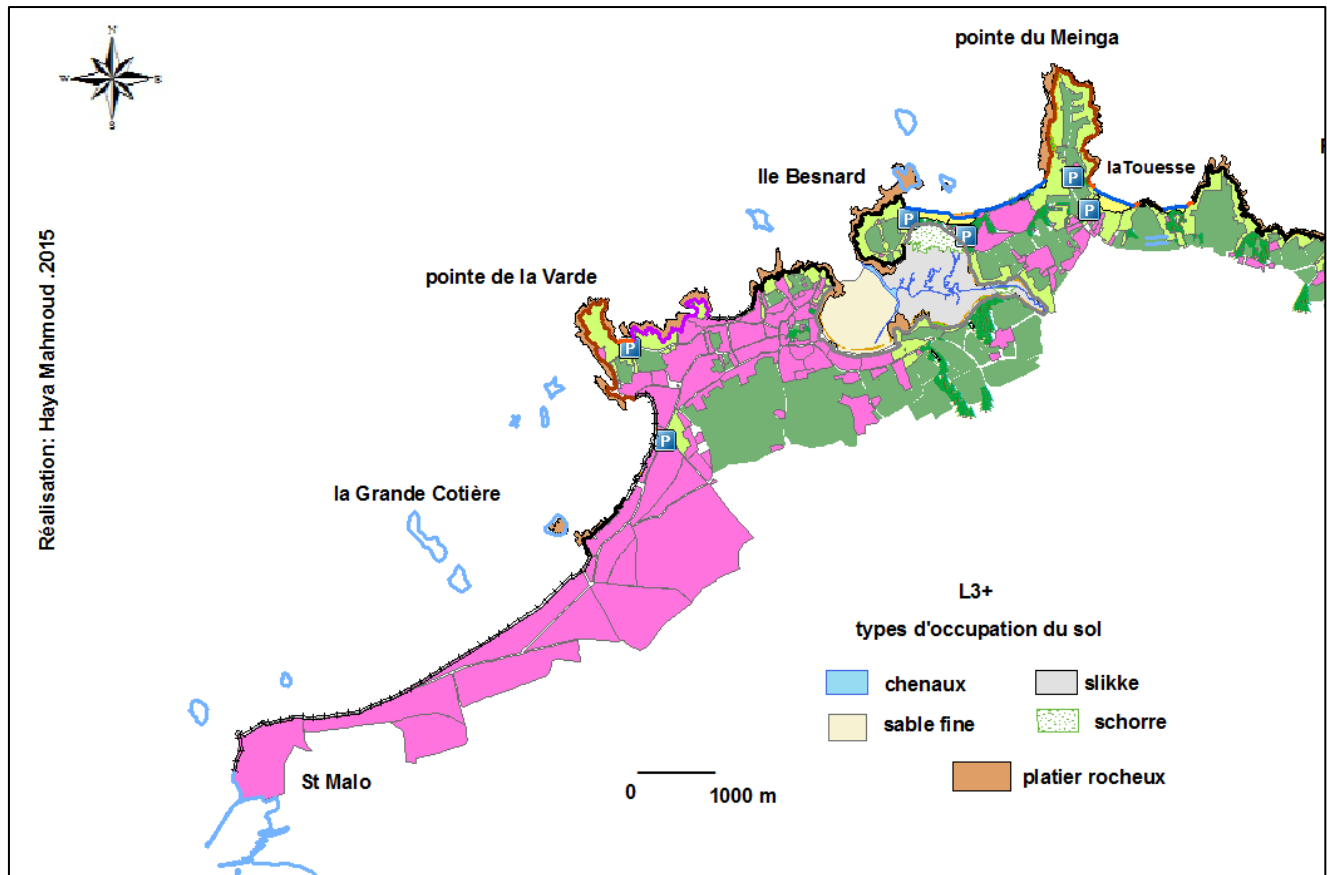


Figure 196 : relations entre le trait de côte et l'occupation du sol, secteur 1 (b)

Par ailleurs, le deuxième secteur s'apparente à un espace littoral fortement anthropisé, les processus d'accrétion dominant nettement dans les sites puits. Les analyses du chapitre 6 sur les zone entre l'île du Perron et la plage de Port Hue ont permis d'examiner le rôle des contraintes anthropiques dans la comportement et l'évolution trait de côte qui traduit l'existence d'interactions entre les contraintes naturelles et les contraintes anthropiques. Ces observations sont également valides dans les sites de transports. Les sites sources de falaises meubles en recul sont trop ponctuels pour être visibles à l'échelle de cette carte. La conclusion que l'on peut tirer de ce secteur est que le seul site puit non bordé par un mur est en engraissement et que tous les autres sont sous le contrôle des aménageurs qui parfois, engraisent la plage ou la reprofilent.

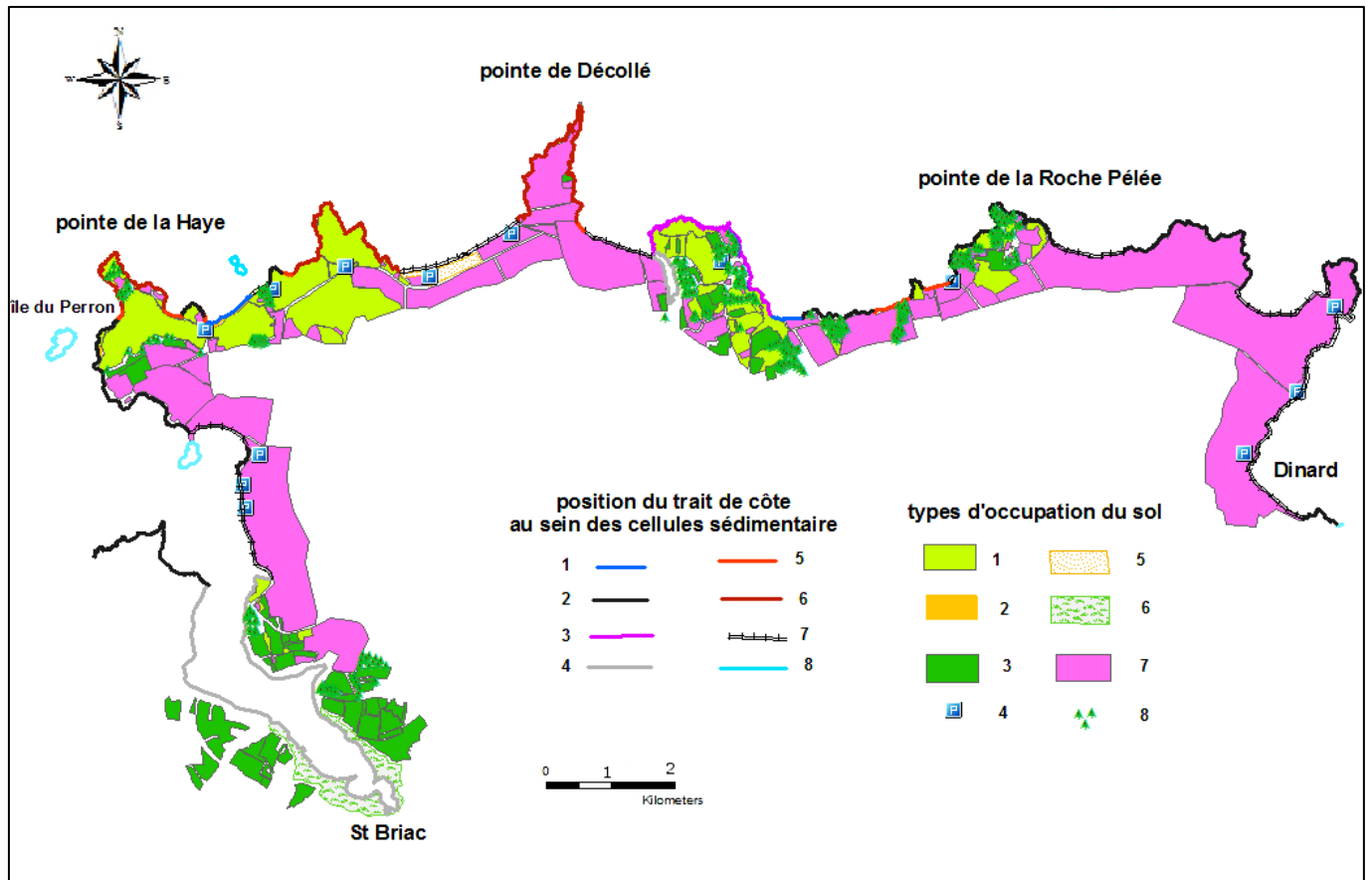


Figure 197 : relations entre le trait de côte et l'occupation du sol, secteur2

Position du trait de côte au sein des cellules sédimentaire, 1 : site puit exposé, 2 : site du transit, 3 : site de transit indéterminé, 4 : site puit protégé, 5 : site source, 6 : site du partage entre les cellules, 7 : site artificiel, 8 : trait de côte 2010

Types d'occupation du sol : 1 : lande/pelouse, 2 : dune, 3 : terre agricole, 4 : parking, 5 : dune fossile, 6 : schorre, 7 : développements urbains, 8 : bois

Au sein de secteur 3 les pointes rocheuses et les falaises dures sont facilement identifiées à des sites de site transit ou de partage entre les cellules. Les sites sources sont les falaises meubles mais il est relativement difficile d'individualiser des plages résolument situées dans des sites sources. Aujourd'hui la plage de la Mare a une dune grimpante en secteur puits qui progresse mais l'ensemble du secteur est en recul. L'échelle qui permettrait de cartographier cela n'est pas compatible avec la carte des figures 195 et 196.

Les petites plages qui présentent des secteurs d'accumulation temporaire comme par exemple sur la pointe de ST-Jacut-de-la-Mer et sur le tombolo de l'Anse des Sévigné jouent parfois comme des sites puits (avec une accumulation des matériaux), parfois comme des sites de transit et parfois comme des sites sources, marqués par un déficit sédimentaire. Les principales grandes plages, souvent bordées par des murs sont des sites puits et s'engraissent (ou du moins ne reculent pas).

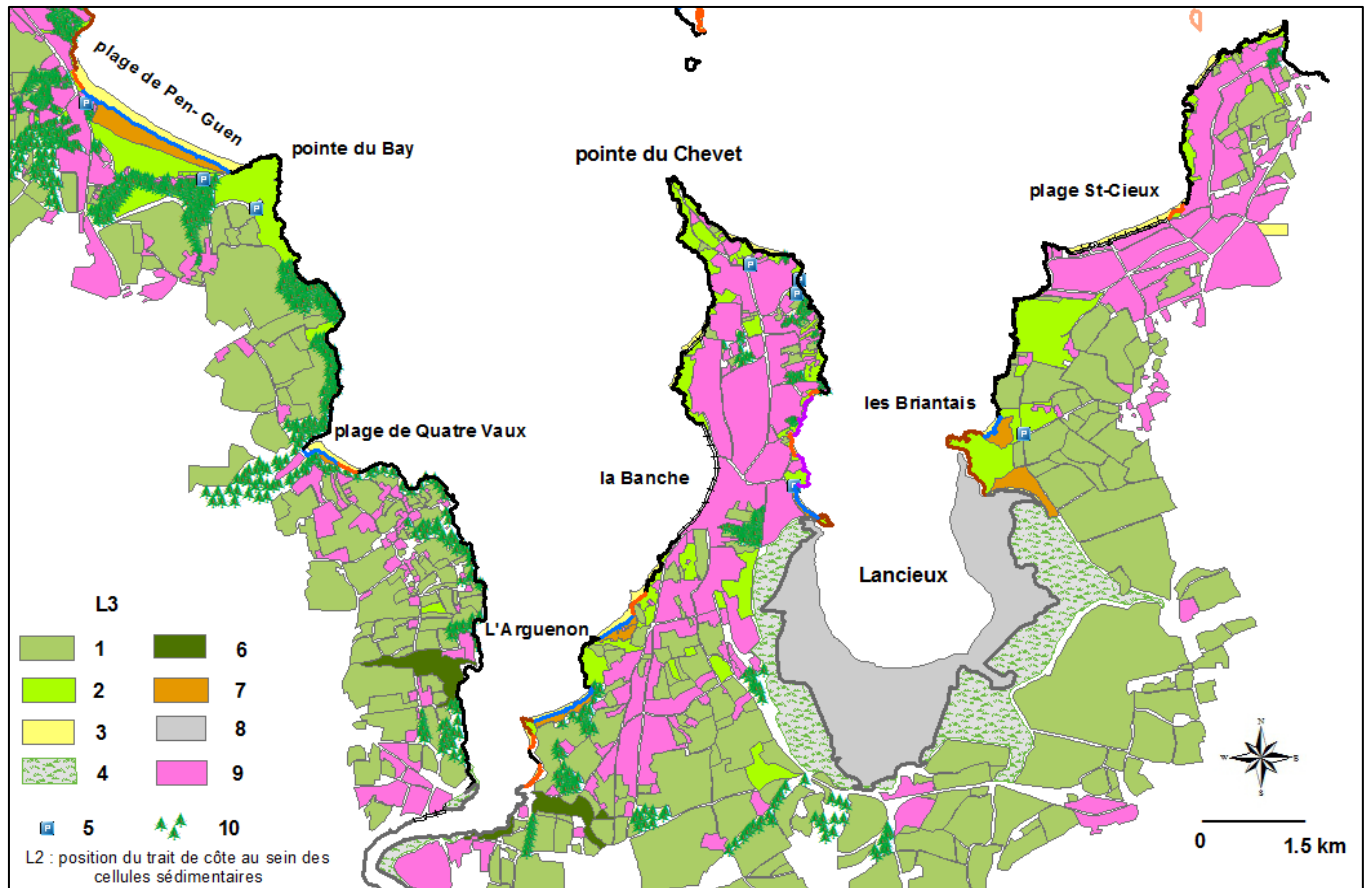


Figure 198 : relations entre le trait de côte et l'occupation du sol, secteur 3 (a)

1 : terre agricole ,2 : lande/pelouse ,3 : plages sableuse ,4 : schorre ,5 : parking, 6 : forêt ,7 : dune,
 8 : slikke, 9 : développements urbains, 10 : bois

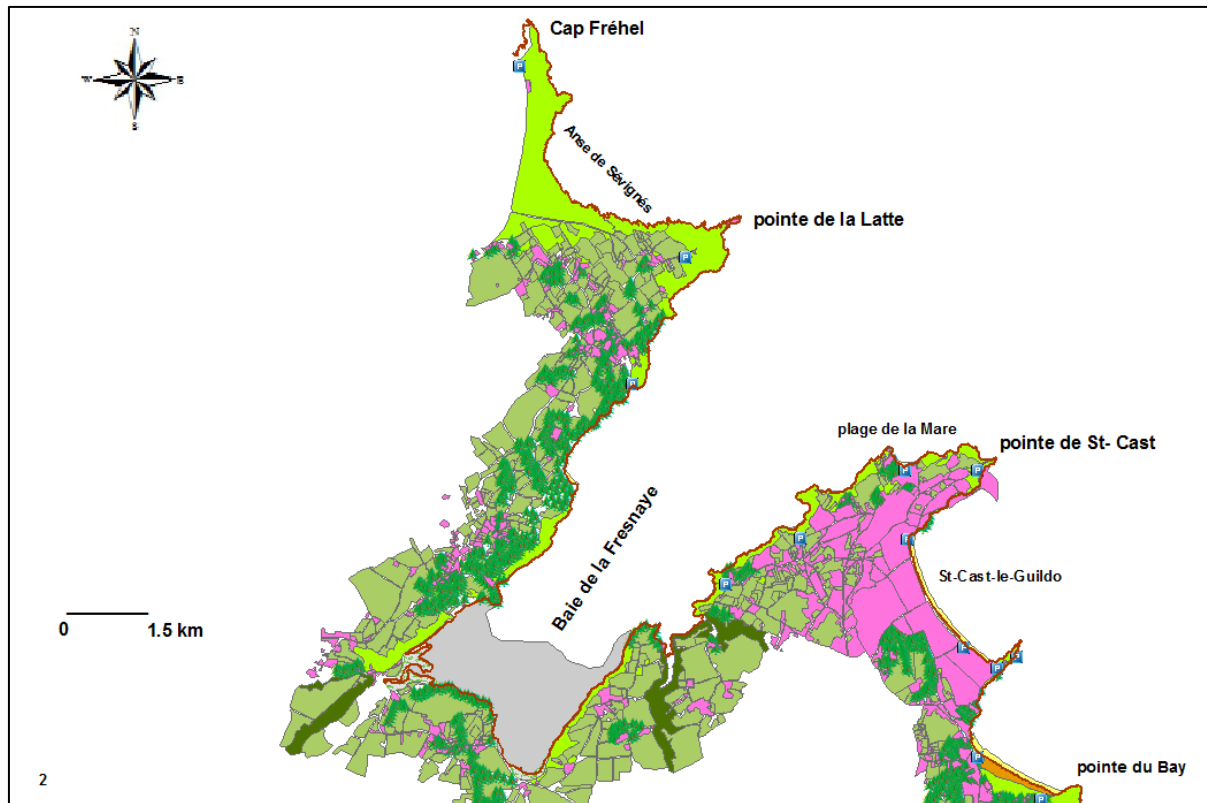


Figure 199 : relations entre le trait de côte et l'occupation du sol, secteur 3 (b)

1 : terre agricole ,2 : lande/pelouse ,3 : plages sableuse ,4 : schorre ,5 : parking, 6 : forêt ,7 : dune,
8 : slikke, 9 : développements urbains, 10 : bois

En général : l'occurrence des processus érosifs sur les sites sources est souvent associée à une forte concentration des pressions anthropiques, bien que cette relation ne soit pas systématique dans tous les sites. De même les sites puits artificialisés fonctionnent bien en accrétion ou en absence de recul.

	Sites de transit	Sites sources	Sites puits
Secteur 1 1952-2010	Alternance des surfaces en érosion et en accretion	Recul constant	Prédominance des processus d'érosion
Secteur 2 1952-2010	Alternance	Immobilisés pour la plus part	Prédominance des processus d'accrétion
Secteur 3 1952-2008	Alternance	Recul	Prédominance des processus d'accrétion avec poches de recul

Tableau 53 : synthèse de comportement du trait de côte au sein de cellule sédimentaire à long terme sur les trois secteurs d'étude

Synthèse :

Les impacts anthropiques apparaissent très contrastés. L'anthropisation des sites sources peut aussi bien réduire l'érosion et donc limiter les apports ou au contraire, accélérer l'érosion et augmenter les apports. L'anthropisation des sites puits peut, par prélèvement les conduire au recul, ou par protection permettre une accrétion. Il n'y a aucune règle pour ce qui concerne les sites de transits, pour les quels tout est possible.

La question qui se pose maintenant est de savoir si cette anthropisation permet (ou pas) au littoral de mieux résister aux tempêtes. Il s'agit bien de l'impact de la tempête sur le fonctionnement de la cellule, pas de son impact en termes d'inondation sur un parking... ou sur une route.

On considère qu'une tempête qui fait reculer un site source fonctionne de façon positive pour le système. Ce qui serait négatif serait qu'une tempête frappant un site puit anthropisé le fasse reculer au point qu'il ne puisse pas se reconstituer à l'identique. Le seul site dans ce cas est le Verger car le site source qui l'alimente (la falaise meuble) est entièrement consommé, ou presque. Dans tous les autres sites l'anthropisation a paradoxalement contribué à renforcer les sites puits.

Conclusion générale

Les travaux effectués au cours de ce doctorat se sont intéressés à l'évolution du trait de côte situés au nord de la Bretagne, dans la région de la côte d'Émeraude. Ils avaient pour objectif de déterminer les tendances et les rythmes d'évolution actuels et de les comparer avec l'évolution pluri séculaire telle qu'elle est connue à partir de données archéologiques et sédimentologiques. L'idée était aussi de déterminer l'efficacité relative des divers agents (naturels et anthropiques) qui contrôlent les processus morphogéniques.

Les principaux apports de notre travail seront détaillés dans les paragraphes suivants, en insistant également sur les incertitudes qui entachent nos résultats, sur la question de complémentarité des processus naturel/sociaux dans l'évolution du trait de côte.

- le rôle des forçages météo-marins et anthropiques dans l'évolution de la ligne de côte

Dans ce doctorat sont cartographiés les contraintes naturelles littorales (morphologie, contraintes hydrodynamiques, orientation du trait de côte, structure géologique, lithologie ...) et les contraintes anthropiques (surfaces bâties, artificialisation du trait de côte, chemins côtiers...) qui jouent sur le littoral étudié. Ces données ont été numérisées à partir des orthophotographies datées de 2010, pour le premier et deuxième secteurs et 2008 pour le troisième secteur. Ces données sont combinées à celles décrivant la bathymétrie et la climatologie des houles et des vents.

Au sein de chaque système côtier la variation du trait de côte a été analysée selon différents types de paramètres (vitesses moyennes sur des pas de temps différents, évolution sur quelques profils et non pas sur toute le site...). Cette analyse a permis d'identifier (localement) la relation entre les mouvements des formes littorales et les différentes contraintes, naturelles et anthropiques, susceptibles de contrôler ces évolutions. Elle a surtout mis en évidence que l'évolution est extrêmement irrégulière dans le temps et dans l'espace et que les notions habituelles de « tendance » ou de « moyenne » ne rendent absolument pas compte de la complexité des processus.

D'une manière générale le recul est contrôlé par un ensemble de contraintes à la fois naturelles et à la fois anthropiques. Par exemple au sein de systèmes de falaises, les vitesses de recul du sommet sont contrôlées par le type de roche, l'orientation de la côte par rapport aux houles et vent dominantes à l'échelle régionale ainsi que à l'échelle locale. Le positionnement (abrité ou exposé) joue son rôle. Toutes aussi fondamentales sont les contraintes anthropiques exercées sur le sommet des falaises (chemins côtier, surface érodée ou bâtie) qui contribuent à accélérer, localement, les vitesses de recul.

- La tendance générale au recul et ses implications

Les variations du trait de côte sont marquées par de fortes variabilités de comportement mais la tendance générale des massifs dunaires est au recul dans le secteur 1 et le secteur 3 tandis

que l'envasement progresse. Ces comportements sont parfois en rupture avec les comportements historiquement précédents durant lesquels les dunes se construisaient, parfois en continuité (**Barry 2015**). En fait il semble que les années 60 marquent une première césure radicale dans la région avec la construction du barrage et une phase anthropique d'érosion, puis que les années 80 marquent une seconde césure avec une reconstitution des massifs (anthropique elle aussi). Il s'agit donc bien d'un littoral en grande partie reconstruit et contrôlé par les politiques d'aménagement.

L'ensemble des contraintes anthropiques actuelles exercées sur la frange littorale interfère donc avec les dynamiques littorales naturelles, en favorisant à une échelle plus locale les processus d'enlèvement ou d'accumulation sédimentaire. Les tempêtes récentes sont les événements morphogènes les plus actifs mais il est difficile de déterminer si elles peuvent expliquer la tendance de recul constaté à l'échelle régionale et si elles manifestent le début d'une nouvelle césure. Il est peut être possible d'impliquer une certaine tendance au renforcement des fréquences de storm groups sur une période précise (2013-2015) pour expliquer le recul de la plupart plages ou des falaises meubles sur l'ensemble de la zone d'étude, mais il est aussi possible de dire qu' à une échelle très locale, les interactions entre contraintes naturelles et contraintes anthropiques sont le moteur principal de la morphogenèse.

La côte étudiée est en effet divisée en plusieurs cellules sédimentaires, certaines d'entre elles alimentées localement par le recul des petites falaises meubles (Verger, la Mare, la Touesse, plage de Perron...). Au sein de ces cellules, la circulation sédimentaire est contrôlée par la bathymétrie, l'orientation, la morphologie de la côte et de l'avant côte et l'importance de la zone d'approvisionnement. Cela explique l'engraissement irrégulier des profils de plages et interroge les possibilités de transports longitudinaux entre les plages adjacentes. En effet dans l'ensemble des trois secteurs les échanges sédimentaires entre les plages sont compliqués en raison de la présence des pointes rocheuse qui séparent les plages et de platiers affleurants en bas des versants. Ces contraintes contribuent à diviser le système côtier en sous ou sub-cellules sédimentaires avec des limites pas très claires entre elles et variables selon le type de temps et de la marée.

Aussi, ne peut-on pas préciser si la crise sédimentaire dont souffrent la majorité des formes d'accumulation étudiées semble liée à une diminution progressive des apports en source des falaises ou si c'est à cause de l'irrégularité du rivage, accentuée par les aménagements, particulièrement dans le secteur 2, qui contribue à la segmentation du transit.

La plage de la Mare peut être prise comme exemple pour résumer rapidement les points essentiels au sujet de l'évolution du littoral dans notre zone d'étude. Il s'agit d'une plage de poche près de Saint Cast, accessible par une route en cul de sac et localisant un petit camping, avec des mobil homes.

Il s'agit initialement d'une petite anse, taillée dans les roches migmatiques nappée de matériaux périglaciaires sur lesquels s'était développée une dune grimpante alimentée par la

déflation éolienne sur une plage en pente relativement forte. L'Anse est exposée à l'Ouest (donc fort ventée) mais elle ouvre sur la Baie de La Fresnaye donc elle est très abritée des houles.

On ne dispose pas de données précises sur la chronologie de l'occupation touristique, tant les pratiques de camping sauvage ont été diverses et variées mais il apparaît clairement que la dune grimpante a été presque totalement piétinée et a quasi disparu. Le camping actuel (légal celui-là) est installé sur le périglaciaire subsistant. Une bonne partie de la falaise périglaciaire a en effet disparu et ne subsiste que sous forme de plaquages résiduels sur la roche mère.

La falaise de roche dure elle-même est en cours de retrait. Cela est dû en partie à une construction placée à son sommet et disposant d'un parking canalisant les eaux de pluies sur un seul endroit, en partie au fait que par appel au vide, la falaise dure qui n'est plus protégée par le nappage périglaciaire s'effondre par petits fragments et en partie aux chablis des pins maritimes plantés autour de la villa et s'abattant avec les tempêtes. De ce fait la municipalité a construit un petit mur à la base de la falaise pour contenir les produits éboulés.



Figure 200 : reste de matériel de falaise meuble quasi totalement érodé



Figure 201 : plage de la Mare mur de protection

Tout fonctionne donc ici comme sur nombre de plages de ces régions : un système complexe avec des matériaux d'âge et de résistances différentes, un impact touristique fort et une modification radicale du paysage et de son fonctionnement géomorpho-dynamique.

Cependant le vent dominant, et le vent le plus fort (statistiquement) est toujours d'Ouest. Il en résulte que la plage actuelle continue à fournir du sable pour que se construise une nouvelle dune grimpante, qui, de façon originale grimpe sur le parking.



Figure 202 : (système plage- dune) la dune grimpante plage de la Mare

Toutes les imbrications de processus naturels et d'enjeux culturels sont présentes. Il y a l'image, changeante dans le temps de ce qu'un littoral touristique devrait être. Ou pas. Il y a l'impact matériel de ce tourisme qui selon les moments a été en recherche de pittoresque, de sauvagerie, d'espaces favorisant les pratiques dites aujourd'hui dérobées, d'écologie (avec les multiples sens que ce mot peut évoquer). Il y a surtout, du point de vue géomorphologique, une destruction non récupérable d'une falaise périglaciaire. Il y a enfin une construction, « naturelle » car simplement due au vent actuel, qui fait grimper une dune sur un parking. C'est alors une nuisance.

L'enjeu épistémologique est de comprendre que sur ce type de littoral deux grands types de dualismes tombent. Il y a des critères stricts pour différencier des processus morphogéniques naturels et des processus anthropiques mais il n'y a pas de critères stricts pour discerner la part de chacun d'entre eux dans la création du littoral actuel. L'imbrication est compliquée, fine, précise et encore mal définie. Le dualisme nature/social n'est donc pas légitime dans ce cas et sur ce type de sites. Le second dualisme qui tombe concerne la notion de paysage et tous les implicites théoriques qui en sous-tendent la dimension esthétique. Ici le littoral a – apparemment- deux auteurs au moins : le social, le naturel. Mais puisqu'entre les deux on ne sait pas exactement faire la différence la question change. Il ne s'agit plus de parler de paysage naturel anthropisé il s'agit d'interroger la notion même de paysage. Ce qui fait un paysage littoral attirant est-il de l'ordre du technique, de l'historique, de la naïveté, de l'écologique ? Un paysage aurait-il alors un auteur ? Les auteurs du paysage seraient-ils les touristes pour lesquels on le construit ? Ou les écologistes pour lesquels on le restaure ?

Table des matières

Chapitre 1 : contexte général	5
<i>I. Introduction</i>	5
<i>II. Positionnement et échelles d'observation</i>	6
<i>III. Problématique et objectifs</i>	12
<i>IV. Basse des données hydrodynamique et météorologiques</i>	13
<i>V. Organisation de la thèse:</i>	13
Chapitre 2 : Caractéristiques environnementales générales	15
<i>I - le cadre général géologique</i>	15
<i>II. Les contrôles météorologiques et marégraphiques</i>	21
<i>II. 1. Le régime climatique général</i>	21
<i>III. les principaux types géomorphologiques de côtes</i>	30
III.1. Les côtes à falaises rocheuses	31
III.2. cotes sableuses.....	33
III.3. Vasières	34
<i>IV. L'urbanisation et l'artificialisation du littoral</i>	35
Chapitre 3 : Présentations des principaux sites étudiés	39
<i>I. Secteur 1 (Pointe du Grouin – St Malo)</i>	39
II. Secteur 2 : (Dinard- Saint Briac)	49
III. Secteur 3 : Saint Briac – Cap Fréhel	53
<i>Synthèse:</i>	64
Chapitre 4 : approche méthodologique et données	65
<i>I. Rectification géométrique des données disponibles</i>	65
I.1-outils et données	65
<i>II. Modélisation et extraction de la ligne de référence</i>	67
<i>II.1. Choix d'une ligne de référence :</i>	67
II.2. Extraction de marge d'erreur	74
II.3. Production de la couche d'information.....	76
<i>Synthèse:</i>	76
Chapitre 5 : l'analyse locale de la cinématique littorale : évolution significative du linéaire côtier particulièrement des plages	78
<i>I. Cinématique locale du trait de côte au sien du secteur 1 sur chaque système côtier</i>	78

<i>I.1 système plage dune secteur 1:</i>	78
I.2. Cinématique du trait de côte au sein du secteur 2 sur chaque système côtier.....	91
I.3. Cinématique du trait de côte au sein du secteur 3 sur chaque système côtier.....	93
<i>Synthèse</i>	124
<i>Chapitre 6 : Analyse spatiale de la mobilité du trait de côte et identification des schémas de circulation hydro-sédimentaire</i>	125
<i>I. La mobilité du trait de côte aux fronts dunaires de secteur 1</i>	126
<i>II. La mobilité au sein des plages de secteur 2</i>	139
<i>III. La mobilité au sein des plages de secteur3</i>	144
<i>IV. identifier les schémas de circulation hydro- sédimentaire</i>	151
<i>Synthèse</i>	164
<i>Chapitre 7 : Présentation des contraintes relative au recul du trait de côte en zone d'étude (1952 – 2010)</i>	167
<i>I. Effets de tempête et forme de recul</i>	168
<i>II. Effets des actions anthropiques sur la ligne côtière</i>	174
<i>III. Quel effet à l'anthropisation sur le fonctionnement sédimentaire</i>	188
<i>Synthèse :</i>	194
<i>Conclusion générale</i>	195
<i>Table des figures : (certaines photos proviennent de la base de données de cartes postales Cartolis)</i>	202
<i>Liste des Tableaux</i>	208
<i>Bibliographies</i>	211

Table des figures : (certaines photos proviennent de la base de données de cartes postales Cartolis)

Figure 1 : Synthèse des paramètres influençant l'évolution morphologique des côtes (Thornton, Dalrymple et al. 2000)	6
Figure 2: localisation générale de la zone d'étude sources IGN et Prévimer	8
Figure 3: les échelles Les échelles d'observation d'un système littoral. (Inspirée de Cowell P.J. et Thom B.G, 1994). La géomorphologie englobe toutes ces échelles.....	10
Figure 4: Carte géologique marine et terrestre de Cap Fréhel à la pointe du Grouin (d'après les travaux de (Kerrien 1972 ; Lefort 1975 ; Augris C. et P. 1966)	16
Figure 5: carte géologique de Saint-Malo, échelle 1/50000 (BRGM, 2010)	17
Figure 6: Coupe de l'Anse Du Guesclin (Regnauld, Mauz et al. 2003)	18
Figure 7 : Coupe levée en 2000, Anse Du Guesclin, aujourd'hui disparue à cause du recul (publiée dans Regnauld et al, 2003).....	19
Figure 8 : Evolution du littoral, par projection latérale de l'information donnée en 2D par les coupes..	20
Figure 9 : direction de houle moyenne en 2012	Figure 10 : direction de houle maxi +3m en 2012
.....	23
Figure 11 : Rose de direction des houles Saint Malo 2012 (hiver)	24
Figure 12 : Rose de direction des houles Saint Malo 2012(automne)	24
Figure 13 : carte de l'orientation de la côte par rapport aux houles dominantes (secteur 3)	25
Figure 14 : Carte de l'orientation de la côte par rapport aux houles dominantes secteur2.....	26
Figure 15 : photo, effet de l'orientation de la cote et micro falaise dans le sable au Verger. Mars 2015	27
Figure 16 : Carte de l'orientation de la côte par rapport aux houles dominantes secteur1.....	27
Figure 17 : direction annuelle du vent toutes intensités confondues	Figure 18 : direction annuelle du vent maxi +6bft
.....	28
Figure 19 : rose de vent (toutes vitesses confondues) saisonnière (en printemps) données statistiques de Wisuki 2012.....	29
Figure 20 : direction du vent maxi +6 B en Hiver données statistiques de Wisuki 2012.....	29
Figure 21 : Carte des types de côtes, secteur1 pointe de Grouin- St Malo	31
Figure 22 : Carte des types de côtes secteur 2 Dinard- Saint Briac sur Mer.....	33
Figure 23 : Carte des types de côtes secteur3 Lancieux - Cap Fréhel.	35
Figure 24 : Variation de la densité de population entre 1901 et 1999	36
Figure 25 : Densité de population en Bretagne par commune, en 2006 in http://www.bretagne-environnement.org	37
Figure 26 : Anse de Verger 1970 avant l'aménagement, la plage est très accessible, le cordon est érodé	40
Figure 27 : falaise meuble (<2m) Anse de Verger (3 octobre 2014).....	42
Figure 28 : plage du Verger Avril, 2010 types de contact plage – dune.....	43
Figure 29 : plage du Verger octobre 2014, secteur de falaise meuble.....	43
Figure 30 : Anse du Guesclin 1950	Figure 31 : Anse du Guesclin 1952.....
.....	44
Figure 32 : type de contact plage – dune (falaise dunaire), anse de la Touesse, plage du Port, le 4 Juin, 2015	46
Figure 33 : type de contact plage- dune, plage des Chevrets Octobre 2014	47
Figure 34 : passage côtier aménagé dans les massifs dunaire des Chevrets (Octobre 2014)	47

Figure 35 : Photo aérienne 1952 pour la plage des Chevrets	Figure 36 : Photo aérienne 2010 (les Chevrets)	48
Figure 37 : le schorre du Havre du Lupin, 2014.....		48
Figure 38 : mur de défense. Saint Briac (Plage de Nessay Avril 2012)		50
Figure 39 : mur de défense. Saint Briac plage de longchamp, plage totalement artificielle Avril 2012..		50
Figure 40 : plage de Port Hue (aménagement doux avec installation des ganivelles), août 2015.....		51
Figure 41 : Falaise meuble artificialisée près des dunes des Perron		52
Figure 42: falaise meuble hauteur >80cm	Figure 43 : falaise meuble « aménagée » par un pylône.	52
Figure 44 : falaise meuble > 1m, partie ouest de plage de Port Hue, 2015.....		53
Figure 45 : Pointe de chevet et ses plages de poche (plage du Rougeret et plage de Haas)		54
Figure 46 : chemin aménagé dans le massif dunaire (Plage des Briantais Avril 2012)		55
Figure 47 : plage de Briantais, hauteur de végétations entre 70cm – 90 cm		55
Figure 48 : <i>le trait de côte 1952-2008 plage de Briantais</i>		56
Figure 49 : sable grossier plage des Briantais		56
Figure 50 : type de contact plage – dune, plage des Briantais 2014.....		57
Figure 51 : Un effondrement actuel (Septembre 2015) sur la rive nord de la Baie de la Fresnaye.		
D'autres, plus anciens, sont re-colonisés par la végétation.		58
Figure 52 : falaise meuble au sein de plage de la Mare.....		59
Figure 53 : enrochement de falaise meuble de la plage de la Mare partie Est, falaise meuble <10 m de hauteur végétations basses (pelouses) , 2015.		59
Figure 54 : falaise meuble (hauteur 2m), couverte par une végétation arborée, plage de la Fosse		60
Figure 55 : baie de Lancieux (2012) marée basse		61
Figure 56 : baie de la Fresnaye, plage de Fosse, marée basse	Figure 57 : baie de la Fresnaye marée haute, 2015	61
Figure 58 : le Tombolo de la justice et la plage de la Manchette bien protégée, baie de Lancieux.....		62
Figure 59 : élevage des huitres et moules dans la baie de l'Arguenon.....		63
Figure 60 : Anse du Verger 2010.....		68
Figure 61 : Anse du Verger après la tempête de 2008		69
Figure 62 : baie de Lancieux (réalisation Haya Mahmoud 2014)		70
Figure 63 : Ouvrage dur sur le haut de la plage (côte artificielle Saint Briac 1 Octobre 2012)		70
Figure 64 : Erreurs RMS liées au géoréférencement des photos aériennes utilisées pour l'analyse de l'évolution du trait de côte		72
Figure 65 : Schéma synthétisant les différentes étapes effectuées pour cartographier la mobilité de traite de côte		73
Figure 66 : Schéma synthétisant les différentes erreurs dans la zone d'étude.		75
Figure 67 : Diagramme de synthèse des traitements des données.....		77
Figure 68 : cinématique du trait de côte, Anse du Verger		79
Figure 69 : photo et table d'attributs de la surface érodée entre 1952-1977 Anse du Verger (L'unité d'Area : m ²).....		81
Figure 70 : position de trait de côte 1952-2010 Anse du Verger.....		81
Figure 71 : graphique de bilan surfacique de l'Anse du Verger		82
Figure 72 : Carte, position de traite de côte Anse de Guesclin		82
Figure 73 : Superficie perdue du massif dunaire de l'Anse du Guesclin entre 1952-2010		84
Figure 74 : graphique de bilan surfacique pour les massifs dunaires de l'Anse du Guesclin		84
Figure 75 : Position du trait de côte 1952-1998-2010 et des surfaces perdues, plage des Chevrets		86
Figure 76 : Table d'attribut pour les surfaces dunaires en recul 1952-1998 dunes des Chevrets.....		87
Figure 77 : Table d'attribut pour les surfaces dunaires en recul 1952-2010 dunes des Chevrets.....		87

Figure 78: graphique de bilan surfacique pour les massifs dunaires.....	87
Figure 79 : blocs de roche autour des dunes, plage de la Varde, 2015.....	88
Figure 80 : Plage de la Varde et ses dunes grimpantes	89
Figure 81 : l'évolution du trait de côte, pour le système falaise dure entre 1952-2010 S1 (pointe des Grands Nez et pointe de Meinga).....	90
Figure 82 : Port Hue en 1960	Figure 83 : Port Hue 2010
Figure 84: graphique bilan surfacique pour les massifs dunaires de la plage Port Hue.....	92
Figure 85 : Carte, l'évolution du trait de côte, pour le système falaise dure entre 1952-2010 S2.....	93
Figure 86 : évolution de trait de côte de la plage des Briantais.	94
Figure 87 : évolution du trait de côte de la plage des Briantais entre 1952-2008.....	94
Figure 88 : bilan surfacique pour les massifs dunaires pour la plage des Briantais.....	95
Figure 89 : l'évolution du trait de côte, pour le système des falaises (dure et meuble) 1952-2008	96
Figure 90: graphique de bilan surfacique pour les massifs dunaires du secteur 1	97
Figure 91 : mouvements du trait de côte au sein du secteur 1 (pointe du Grouin – St Malo) entre 1952-2010	98
Figure 92 : mouvements du trait de côte au sein du secteur 1 (pointe du Grouin – St Malo) entre 1952-1961	100
Figure 93 : Carte, mouvements du trait de côte au sein de secteur 1 (pointe du Grouin – St Malo) entre 1961-1977	102
Figure 94 : Carte, mouvements du trait de côte au sein de secteur 1 (pointe du Grouin – St Malo) entre 1977-1982.....	103
Figure 95 : Carte, mouvements du trait de côte au sein de secteur 1 (pointe du Grouin – St Malo) entre 1982-1998.....	105
Figure 96 : Carte, mouvements du trait de côte au sein de secteur 1 (pointe du Grouin – St Malo) entre -1998- 2010.....	107
Figure 97 : graphique bilan surfacique pour les massifs dunaires dans le secteur 2	108
Figure 98 : photo, front côtier très bâti, plage de l'Ecluse secteur 2	108
Figure 99 : Carte, mouvements du trait de côte au sein de secteur 2 (1952-2010).....	110
Figure 100 : Carte, mouvements du trait de côte au sein de secteur 2, 1952-1961.....	111
Figure 101 : Carte, mouvements du trait de côte au sein du secteur 2, 1961-1977.....	113
Figure 102 : Carte, mouvement du trait de côte au sein de secteur 2 1977-1982	114
Figure 103 : Carte, mouvement du trait de côte au sein de secteur 2 1982-1998	115
Figure 104 : Carte, mouvements du trait de côte au sein de secteur 2 1998-2010.....	117
Figure 105 : Carte, mouvements du trait de côte au sein du secteur 3 1952-2008	119
Figure 106 : Carte, mouvements du trait de côte au sein de secteur 3, 1952-1961.....	120
Figure 107 : Carte, mouvements du trait de côte au sein de secteur 3, 1977-1982.....	122
Figure 108 : Carte, mouvements du trait de côte au sein de secteur 3 ,1982-1998.....	124
Figure 109: cinématique du trait de côte au sien d'Anse du Verger sur l'ensemble de ses secteurs (plage- dune, falaise meuble).....	128
Figure 110 : (B), cinématique du trait de côte par rapport à sa potion en 1952(état initial)	129
Figure 111 : (c), Evolution de mobilité moyenne sur le secteur A système plage –dune (Anse du Verger)	129
Figure 112 : (D), Evolution de vitesse moyenne de recul sur le secteur A système plage –dune	129
Figure 113 : (E), Evolution de vitesse moyenne d'avancement de front de végétation sur le secteur A système plage –dune.....	129
Figure 114 : les profils les plus touchés par le recul 1961-1977 Anse du Verger	130
Figure 115 : Anse du Verger, 14 mars 2015	Figure 116 : Verger falaise meuble, 3 octobre2014
.....	132

Figure 117 : Anse du Verger falaise meuble octobre	132
Figure 118 : Anse du Verger, 14 mars 2015	132
Figure 119 : Trait de côte 82-98 : profils et tendances (non représentatives)	133
Figure 120 : (B) Evolution de vitesse moyenne de recul sur le secteur B falaise meuble	133
Figure 121 : (c) Evolution de la mobilité moyenne pour les profils 75 à 80 secteurs de falaise meuble, valeurs moyennes (non significatives)	133
Figure 122 : cinématique du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)	135
Figure 123 : (B) Evolution de la mobilité moyenne (Anse du Guesclin)	135
Figure 124 : (c) Evolution de la vitesse moyenne de recul de l'Anse du Guesclin	135
Figure 125 : cinématique du trait de côte par rapport à sa position en 1952 (état initial)	136
Figure 126 : (B) Evolution de mobilité moyenne, les Chevret	137
Figure 127 : (c) Evolution de vitesse moyenne de recul, les Chevret	137
Figure 128 : cinématique du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)	138
Figure 129 : (B) Evolution de la mobilité moyenne (Pointe de la Varde)	138
Figure 130 : (c) Evolution de la vitesse moyenne de recul de la Pointe de la Varde	138
Figure 131 : Plage de Port Blanc en 1963 (recul de trait de côte A)	139
Figure 132: Plage de Port Blanc en 1972 trait de côte aménagé	140
Figure 133 : cinématique du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)	140
Figure 134 : (B) Evolution de la mobilité moyenne (plage de Port Blanc)	141
Figure 135 : (c) Evolution de la vitesse moyenne de recul (plage de Port Blanc)	141
Figure 136 : plage de Port Hue 1960 reculs de végétation dunaire et absence d'aménagement	142
Figure 137 : cinématique du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)	143
Figure 138 : (B) Evolution de la mobilité moyenne sur le secteur A système plage-dune (Port Hue) ..	143
Figure 139 : (C) Evolution de la vitesse moyenne de recul sur le secteur A système plage-dune	143
Figure 140 : (D) Evolution de la vitesse moyenne d'avancement de front de végétation sur le secteur A système plage-dune	143
Figure 141 : cinématique du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)	145
Figure 142 : (c) Evolution de la mobilité moyenne de la plage des Briantais	145
Figure 143 : (D) Evolution de la vitesse moyenne de recul, plage des Briantais.	145
Figure 144 : les profils les plus touchés par le recul 1952-1977 plage des Briantais	146
Figure 145 : les profils les plus touchés par le recul 1952- 2008, les Briantais	147
Figure 146 : plage Pen Guen 1950	148
Figure 147 : plage Pen Guen 1960	148
Figure 148 : plage Pen Guen 1978	148
Figure 149 : cinématique du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)	149
Figure 150 : (B) Evolution de la mobilité moyenne, plage de Pen Guen	149
Figure 151 : (C) Evolution de la vitesse moyenne de recul, plage de Pen Gue	149
Figure 152 : (D) Evolution de la vitesse moyenne d'avancement de front de végétation dunaire	149
Figure 153 : cellule sédimentaires lors des épisodes de houles dominantes, Anse du Verger	153
Figure 154 : cellule sédimentaires durant les épisodes de tempêtes suivi de houles de NE	154
Figure 155 : la route ensablée, sur la plage Du Guesclin après un épisode de vent de mer fort, 4 septembre 2015	155
Figure 156 : cellule sédimentaire d'Anse du Guesclin et de la Touesse	156
Figure 157 : cellule puit d'Anse de la Touesse, juin 2015	156
Figure 158 : cellules sédimentaires de Chevrets et de Rothéneuf	158
Figure 159 : photo aérienne pour la plage de Port Hue et les dunes des Perron	159
Figure 160 : plage de Tertre-Pelé plage de poche 2015	160
Figure 161 : Carte des schémas de circulation et des cellules sédimentaires entre la pointe de la Grand Guérin et la plage du Béchay	161

Figure 162 : plage du Perron, type plage de poche entre des pointes rocheuses	162
Figure 163 : Le sens de transit et les cellules sédimentaires, les Hébiens, St –Jacut –de-la-Mer	163
Figure 164 : Position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires entre Pointe du Grouin et St-Malo	164
Figure 165 : Position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires secteur 2.....	165
Figure 166 : Position du trait de côte au sein des cellules sédimentaires secteur 3.....	166
Figure 167: Visualisation des tempêtes	170
Figure 168: Houles et surcote durant la tempête de mars 2008 (données Prévimer).....	171
Figure 169 : Carte, évolution du trait de côte entre 1952 et 1996.....	171
Figure 170 : (A) Anse de verger L'ensemble de la coupe (B) Même lieu, Mars 2014.....	173
Figure 171 : Impact possible d'aménagement sur le trait de côte	175
Figure 172 : graphique de pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques dans l'anse du Verger (1952-2010).....	177
Figure 173 : graphique de pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques dans l'Anse du Guesclin (1952-2010)	178
Figure 174 : graphique de pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques dans la plage de chevret (1952-2010)	178
Figure 175 : photo pour Les Chevret 1952 Figure 176 : photo pour les Chevret 1964 ..	179
Figure 177 : Dunes de Chevret 1971	179
Figure 178 : graphique de pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques dans la plage de la Varde (1952-2010).....	179
Figure 179 : graphique de pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques dans la plage de la Touesse (1952-2010).....	180
Figure 180 : cartographie de l'extension urbaine au sein de secteur 1 pour l'année 1952.....	180
Figure 181 : cartographie de l'extension urbaine au sein du secteur 1 pour l'année 2010.....	181
Figure 182 : plage de Port Hue, aménagement « doux » de reprofilage et de rechargement sédimentaire.....	182
Figure 183 : pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques dans la plage de port Hue.....	182
Figure 184 : cartographie de l'extension urbaine au sein du secteur 2 pour l'année 1952.....	183
Figure 185 : Carte de l'extension urbaine au sein du secteur 2 pour l'année 2010	183
Figure 186 : pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques (plage de ST Cast).....	184
Figure 187 : pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques sur la plage de Pen Guen	184
Figure 188 : Carte de la morphologie et de l'occupation du sol de la plage de Pen Guen, secteur3 ,1952	185
Figure 189 : Carte de la morphologie et de l'occupation du sol de la plage de Pen Guen secteur 3 ,2008	185
Figure 190 : pourcentage d'augmentation des pressions anthropiques dans la plage de la Mare.....	186
Figure 191 : Carte de la morphologie et de l'occupation du sol de la plage de la Mare secteur 3 ,1952	186
Figure 192 : Carte de la morphologie et de l'occupation du sol de la plage de la Mare secteur 3 ,2008	187
Figure 193 : Carte de l'extension urbaine au sein du secteur 3 pour l'année 1952.....	187
Figure 194 : Carte de l'extension urbaine au sein du secteur 3 pour l'année 2008	188
Figure 195 : relations entre le trait de côte et l'occupation du sol, secteur 1 (a).....	189
Figure 196 : relations entre le trait de côte et l'occupation du sol, secteur 1 (b).....	190
Figure 197 : relations entre le trait de côte et l'occupation du sol, secteur2.....	191
Figure 198 : relations entre le trait de côte et l'occupation du sol, secteur 3 (a).....	192
Figure 199 : relations entre le trait de côte et l'occupation du sol, secteur 3 (b).....	193

Figure 200 : reste de matériel de falaise meuble quasi totalement érodé 197
Figure 201 : plage de la Mare mur de protection 198
Figure 202 : (système plage- dune) la dune grimpante plage de la Mare..... 198

Liste des Tableaux

Tableau 1: Caractéristiques des photographies aériennes utilisées.	66
Tableau 2 : Estimation des marges d'erreurs	75
Tableau 3: synthèse des évolutions du trait de côte au sein de l'Anse du Verger	80
Tableau 4 : synthèse des évolutions du trait de côte au sein du Anse du Guesclin	83
Tableau 5 : synthèse des évolutions du trait de côte au sein de la plage de la Touesse	85
Tableau 6 : synthèse des évolutions du trait de côte au sein des dunes de Chevret	86
Tableau 7 : synthèse des évolutions du trait de côte au sein de plage de la Varde	89
Tableau 8 : l'évolution du trait de côte, pour le système falaise dure entre 1952-2010 S1 (pointe des Grands Nez et pointe du Meinga)	90
Tableau 9 : synthèse des évolutions du trait de côte au sein de plage de Port Hue	92
Tableau 10 : synthèse des évolutions du trait de côte au sein de la plage de Briantais.....	95
Tableau 11 : l'évolution du trait de côte, pour le système falaise dure entre 1952-2008 S3....	96
Tableau 12 : évolution du trait de côte dans des massifs dunaires secteur 1. Le bilan est appelé surfacique sédimentaire car on ne connaît pas l'épaisseur de la couche de sable concernée.	97
Tableau 13 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur 1. La période 1952-2010 est marquée par une prédominance des processus d'érosion et par une pénurie sédimentaire.	99
Tableau 14 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur1, période 1952-1961	100
Tableau 15 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur1, période 1961-1977	101
Tableau 16 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur1, période 1977-1982	103
Tableau 17 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur1, période 1982-1998	104
Tableau 18 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur1, période 1998-2010	106
Tableau 19 : évolution du trait de côte dans des massifs dunaires secteur2 (bilan sédimentaires surfacique) entre 1952-2010 S2.....	107
Tableau 20 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littoral au secteur2, période 1952-2010	109
Tableau 21 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur2, période 1952-1961 S2.....	111
Tableau 22 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur2, période 1961-1977 S2.....	112

Tableau 23 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur2, période 1977-1982 S2.....	113
Tableau 24 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur2, période 1982-1998 S2.....	115
Tableau 25 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur2, période 1998-2010 S2.....	116
Tableau 26 : évolution du trait de côte dans des massifs dunaires secteur3 (bilan sédimentaires surfacique) entre 1952-2010 S3.....	118
Tableau 27 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur3, période 1952-2008	118
Tableau 28 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littoral au secteur3, période1952-1961	120
Tableau 29 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur3, période 1977-1982	121
Tableau 30 : synthétise l'évolution du trait de côte, pour chaque type de forme littorale du secteur1, période 1982-1998	123
Tableau 31 : Les surfaces perdues et les Vitesses de recul par traitement numérique de photographies aériennes	126
Tableau 32 : Evolution du trait de côte sur l'ensemble des secteurs au sein de l'Anse du Verger par traitement numérique de photographies aériennes.....	127
Tableau 33 : <i>évolution de la vitesse de recul sur le système plage –dune mesurée le long des profils entre 1952 et 2010</i>	130
Tableau 34 : <i>évolution de la vitesse d'avancement sur le système plage –dune mesurée le long des profils entre 1952 et 2010 Anse du Verger</i>	130
Tableau 35 : <i>évolution de la vitesse de recul sur le système falaise meuble mesurée le long des profils entre 1952 et 2010 Anse du Verger</i>	131
Tableau 36 : évolution du mouvement du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)	134
Tableau 37 : évolution du trait de côte, Anse du Guesclin entre 1952-2010.....	134
Tableau 38 : <i>évolution du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)</i>	136
Tableau 39 : <i>évolution du trait de côte dans les dunes de Chevret entre 1952-2010</i>	136
Tableau 40 : évolution du trait de côte, plage de la Varde entre 1952-2010.....	137
Tableau 41 : <i>évolution du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)</i>	138
Tableau 42 : <i>évolution du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)</i>	141
Tableau 43 : <i>évolution du trait de côte, plage de Port Blanc entre 1952-2010</i>	141
Tableau 44 : évolution du trait de côte, plage de Port Hue <i>par rapport à sa position en 1952(état initial)</i>	142
Tableau 45 : évolution du trait de côte, plage de Port Hue entre 1952-2010.....	144
Tableau 46 : <i>évolution du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)</i>	144
Tableau 47 : évolution du trait de côte, plage des Briantais entre 1952-2010	145
Tableau 48 : évolution de la vitesse de recul sur le système plage-dune mesurée le long des profils entre 1952 et 2008 plage des Briantais	146
Tableau 49 : <i>évolution du trait de côte par rapport à sa position en 1952(état initial)</i>	147
Tableau 50 : évolution du trait de côte plage de Pen Guen 1952-2008.....	148

Tableau 51 : (tirée de Musereau et Regnauld, 2014) : principales tempêtes et impact sur le site du Verger.....172

Tableau 52 : pourcentage d'augmentation de pression anthropique au sein de l'anse du Verger (1952-2010).....176

Tableau 53 : synthèse de comportement du trait de côte au sein de cellule sédimentaire à long terme sur les trois secteurs d'étude193

Bibliographies

Aagaard, T., R. Davidson-Arnott, B. Greenwood and J. Nielsen (2004). "Sediment supply from shoreface to dunes: linking sediment transport measurements and long-term morphological evolution." Geomorphology **60** (1): 205-224.

Aagaard, T., M. Hughes and B. Greenwodd (2011). "Sediment transfer from bar to beach? Measurements using a pulse-coherent acoustic Doppler profiler." Journal of coastal Research, Special(64): 2002-2006.

Allen , H. (1982). "Mesures de houle en différents sites du littoral français. EDF/LNH, édition nOS, 18 p., 4 Fig., 424 planches."

Anthony, E. J. (2013). "Storms, shoreface morphodynamics, sand supply, and the accretion and erosion of coastal dune barriers in the southern North Sea." Geomorphology **199**: 8-21.

Augris C., H. D., Maze J.-P., Bonnot-Courtois, Ch., Garreau and G. P. P., Guenole A. et Houlgatte ,E. (1966). "Atlas thématique de l'environnement marin en baie de Saint-Brieuc. Edition IFREMER, 65 pages, 21 cartes. ."

Ba, A. and N. Senechal (2013). "Extreme winter storm versus Summer storm: morphological impact on a sandy beach." J Coast Res SI65: 648-653.

Barry , A. (2015). " Evolution de la dynamique des marais de l'estuaire de l'Arguenon de 1952 à 2012 et propositions d'actions pour répondre au contexte d'envasement. Mémoire de Master, Rennes 2 1-30."

Bonnot Y. (1995). " Pour une politique globale et cohérente du littoral en France, Rapport au Gouvernement": 168 pages.

Boorman, L. and R. Fuller (1977). "Studies on the impact of paths on the dune vegetation at Winterton, Norfolk, England." Biological Conservation **12**(3): 203-216.

Bousquet, B. (1967). Contribution à l'étude du golfe normand breton: morphologie littorale de trois baies la Frenaye Arguenon beaussais, Université de Rennes 1967.

Bray, M. J., D. J. Carter and J. M. Hooke (1995). "Littoral cell definition and budgets for central southern England." Journal of Coastal Research: 381-400.

Bruzzi, C. (1998). Les tempêtes et l'évolution morphosédimentaire des plages orientales du delta du Rhône, Doctoral dissertation Aix-Marseille 1.

Carter, R. W. G. (1988). Coastal environments: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines, Access Online via Elsevier.

Castelle, B., P. Bonneton, H. Dupuis and N. Sénéchal (2007). "Double bar beach dynamics on the high-energy meso-macrotidal French Aquitanian Coast: a review." Marine geology **245**(1): 141-159.

Chaibi, M. and M. Sedrati (2009). "Coastal erosion induced by human activities: the case of two embayed beaches on the Moroccan coast." Journal of Coastal Research: 1184-1188.

Chamley, H. (2002). Environnements géologiques et activités humaines, Vuibert.

Claude, C. (2000). "Yvette Veyret, 1999, Géo-environnement. Paris, SEDES." Revue Géographique de l'Est **40**(1-2).

Clayton, K. M. (1980). "Beach sediment budgets and coastal modification." Progress in Physical Geography **4**(4): 471-486.

Cocaign, J.-Y., C. Bizien-Jaglin and H. Regnaud (1996). "Les sites protohistoriques de l'anse du verger en Cancale (35) dans leur cadre archéologique et environnemental." Les Dossiers du Centre régional archéologique d'Alet(24): 71-84.

Cooper NJ , P. (2006). "Appraisal and evolution of the littoral 'sediment cell' concept in applied coastal management: Experiences from England and Wales. Ocean and Coastal Management, 49: 498-510."

Cooper, N. J. and J. S. Pethick (2005). "Sediment budget approach to addressing coastal erosion problems in St. Ouen's Bay, Jersey, Channel Islands." Journal of Coastal Research: 112-122.

Costa, S. (2005). "Falaises à recul rapide et plages de galets: de la quantification des dynamiques d'un système complexe à la caractérisation des risques induits." Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Bretagne Occidentale, Brest. Tome 1: 330.

Costa, S. and R. Davidson (2004). "Ouvrages transversaux portuaires et impacts hydrosédimentaires: le cas du port de Dieppe (Haute Normandie)(Impact of the harbour management at Dieppe, Norther Normandy, France)." Bulletin de l'Association de géographes français **81**(3): 321-333.

Costa, S., F. Gourmelon, C. Augris, P. Clabaut and B. Latteux (2005). "Apport de l'approche systémique et pluridisciplinaire dans l'étude du domaine littoral et marin de la Seine-Maritime (France)." Norois. Environnement, aménagement, société(196): 91-108.

Costa S., S. S., Anthony E., Hequette A., Goslin J., Morhange C., Regnaud H., Ruz M.H., Sabatier F., Stéphan P (2013). "Les littoraux et l'élévation du niveau des mers. In Mercier D. editeur " Geomorphologie de la France, Dunod, 1-271.

Cowell, P. and B. Thom (1994). Morphodynamics of coastal evolution, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Crowell, M., S. P. Leatherman and M. K. Buckley (1993). "Shore-line change rate analysis: long term versus short term data." Shore and Beach **61**(2): 13-20.

Dehouck, A. (2006). Morphodynamique des plages sableuses de la mer d'Iroise (Finistère), Université de Bretagne occidentale-Brest.

Del Río, L., T. A. Plomaritis, J. Benavente, M. Valladares and P. Ribera (2012). "Establishing storm thresholds for the Spanish Gulf of Cádiz coast." Geomorphology **143**: 13-23.

Dolan , R. (1970). "Sand waves: Cape Hatteras, North Carolina."

Douglas, B. C. and M. Crowell (2000). "Long-term shoreline position prediction and error propagation." Journal of Coastal Research: 145-152.

Dubois, R. N. (1988). "Seasonal changes in beach topography and beach volume in Delaware." Marine Geology **81**(1): 79-96.

Durand, P. (2000). "Approche méthodologique pour l'analyse de l'évolution des littoraux sableux par photointerprétation. Photo-Interprétation, n°2000/1-2, p. 3 - 18." p. 3 - 18.

Evans, A. W. (1992). "The application of geomorphology in coastal management studies." Ocean & coastal management **17**(1): 47-55.

Faye, I. B. N. (2010). Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest): Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes, Université de Bretagne occidentale-Brest.

Fench , P. W. (2001). "Coastal Defenses: Processes, problems and solutions ,Routledge, London, 366 pages."

Fenster, M. S., R. Dolan and R. A. Morton (2001). "Coastal storms and shoreline change: signal or noise?" Journal of Coastal Research: 714-720.

Fichaut, B., Suanez, S. (2007) - Plage fuyante à Trielen, Penn ar Bed, 199/200, 2-12 (2007). " Plage fuyante à Trielen, Penn ar Bed, 199/200, 2-12."

- Finkl, C. (2013). Coastal hazards. Coastal Research Library 6, Springer, Dordrecht.
- Fletcher, C., J. Rooney, M. Barbee, S.-C. Lim and B. Richmond (2003). "Mapping shoreline change using digital orthophotogrammetry on Maui, Hawaii." Journal of Coastal Research: 106-124.
- Forbes, D. L., G. S. Parkes, G. K. Manson and L. A. Ketch (2004). "Storms and shoreline retreat in the southern Gulf of St. Lawrence." Marine Geology **210**(1): 169-204.
- Fouqué C (1996). " L'importance des formes héritées dans la réponse géomorphologique des plages aux conditions climatiques moyennes et aux événements extrêmes : des exemples en Bretagne nord. mémoire de maîtrise, Université Rennes 2 1-65 plus annexes."
- Fournier, J. and H. Regnauld (1991). "Les falaises de Bretagne: enjeux scientifiques, enjeux sociaux. Un état des lieux." Norois **152**(1): 439-448.
- French, P. W. (2001). Coastal defences: processes, problems and solutions, Psychology Press.
- Gallet, S. and F. ROZÉ (2001). "Resistance of Atlantic Heathlands to trampling in Brittany (France): influence of vegetation type, season and weather conditions." Biological Conservation **97**(2): 189-198.
- Garreau, P. (1993). "Conditions hydrodynamiques sur la côte Nord-Bretagne."
- Garreau, P. (1993). "Hydrodynamics of the north brittany coast-a synoptic study." Oceanologica Acta **16**(5-6): 469-477.
- Gervais, M., Y. Balouin and R. Belon (2012). "Morphological response and coastal dynamics associated with major storm events along the Gulf of Lions Coastline, France." Geomorphology **143**: 69-80.
- Grenier, A. and J. Dubois (1990). "Évolution littorale récente par télédétection: synthèse méthodologique." Photo interprétation **29**(6): 3-7.
- Haslett , S. K. (2000). " Coastal systems,Routledge, London -218 pag."
- Hénaff, A. and O. Jegu (1995). "Conséquences des aménagements portuaires sur la sédimentation dans l'avant-port d'Audierne." Norois **165**(1): 119-129.
- Hylgaard, T. and M. Liddle (1981). "The effect of human trampling on a sand dune ecosystem dominated by *Empetrum nigrum*." Journal of Applied Ecology: 559-569.

Johnson, J. (1959). "The supply and loss of sand to the coast." Journal of the Waterways and Harbors Division **85**(3): 227-252.

Kasser M. and Egels Y. (2001,). "Photogrammétrie numérique, Hermès Science Publications, Lavoisier, Paris."

Kerrien, Y. (1972). "Carte géologique de la France à 1/320 000. Rennes-Cherbourg. BRGM, feuille 7–12. 2e édition."

Komar, P. D. (1996). "The budget of littoral sediments-Concepts and Applications." Shore and Beach **64**: 18-25.

Leatherman, S. P. (2003). "Shoreline change mapping and management along the US East Coast." Journal of Coastal Research: 5-13.

Lee, H. J. and S. O. Ryu (2008). "Changes in topography and surface sediments by the Saemangeum dyke in an estuarine complex, west coast of Korea." Continental Shelf Research **28**(9): 1177-1189.

Lefort, J. (1975). "Le socle péri-armoricain. Etude géologique et géophysique du socle submergé à l'Ouest de la France." Thesis University of Rennes: 217.

Liddle, M. and P. Grieg-Smith (1975). "A survey of tracks and paths in a sand dune ecosystem. II. Vegetation." Journal of Applied Ecology: 909-930.

Masselink, G., A. Kroon and R. Davidson-Arnott (2006). "Morphodynamics of intertidal bars in wave-dominated coastal settings—a review." Geomorphology **73**(1): 33-49.

May, J. P. and W. F. Tanner (1973). "The littoral power gradient and shoreline changes."

Meur-Férec, C. (1993). Géomorphologie, protection et gestion des dunes de Bretagne septentrionale: éléments de comparaison avec d'autres régions de la Manche occidentale: Cotentin, Devon et Cornwall (RU), Brest.

Michel, D. and H. Howa (1999). "Short-term morphodynamic response of a ridge and runnel system on a mesotidal sandy beach." Journal of Coastal research: 428-437.

Monnier, J.-L. (1973). "Contribution à l'étude des dépôts quaternaires de la région de Saint-Brieuc. Stratigraphie et sédimentologie des limons, des plages et des sols anciens." Travaux du Laboratoire Anthropologie-Préhistoire-Protohistoire-Quaternaire Armoricains Rennes.

Moore, L. J. (2000). "Shoreline mapping techniques." Journal of Coastal Research: 111-124.

Moore, L. J., B. T. Benumof and G. B. Griggs (1999). "Coastal erosion hazards in Santa Cruz and San Diego Counties, California." Journal of Coastal Research: 121-139.

Morel, V. (1997). De la géomorphologie à la gestion des cordons de galets littoraux du bassin de la Manche et de ses abords: études de cas (Bretagne, Haute-Normandie, Picardie, Sud Angleterre) et réflexions générales, Université de Bretagne occidentale.

Morton, R. A. and F. M. Speed (1998). "Evaluation of shorelines and legal boundaries controlled by water levels on sandy beaches." Journal of Coastal Research: 1373-1384.

Musereau, J. and H. Regnauld (2014). "Storms impact on morphodynamics of human controlled coastal features in western France: the prevailing role of local management practices." Journal of Coastal Conservation: 1-12.

Musereau, J., H. Regnauld and O. Planchon (2007). "Vulnérabilité aux tempêtes des dunes littorales: développement d'un modèle de prédiction du dommage à travers l'exemple de Saint-Trojan (Ile d'Oléron, France)." Annales de l'Association Internationale de Climatologie(4): 145-166.

Nonn, H. (1953). "Morphologie du littoral breton entre Saint-Cast et Dinard. Bull. Inf. C.O.E.C., n° 6, 29-46."

Nordstrom, K. F. (2000). "Beaches and Dunes of Developed Coasts, Cambridge University Press, Cambridge - 338 pages."

Norris, R. M. (1963). "Dams and beach-sand supply in Southern California, dans Shepard Commemorative Volume, Miller R.L. (Eds), Marine Geology, p. 154-171." Marine Geology: p. 154-171

Paskoff, R. (1998). "La crise des plages: pénurie de sédiments." Mappemonde **52**(4): 11-15.

Paskoff, R. and C. Clus-Auby (2007). L'érosion des plages: les causes, les remèdes, Institut océanographique.

Pian, S. (2010). Analyse multiscalaire et multifactorielle de l'évolution et du comportement géomorphologique des systèmes côtiers sud bretons, Université Rennes 2; Université Européenne de Bretagne.

Pinot, J.-P. (1998b). "La gestion du littoral, Tome II, Littoraux tempérés : littoraux vaseux et embouchures, Ed. Institut océanographique, Paris, 400 p."

Pirazzoli, P. A. (1996). "Sea level changes, Wiley 1-211."

Planchon, o. (1997). "Les climats maritimes dans le monde." 233.

Proust, J. N., Guennoc, P., Thinon, I. Menier, D. (2008). " Carte Géologique de la France à 1/250 000 de la marge continentale - Lorient - Bretagne Sud".

Puleo, J. A., R. V. Johnson, T. Butt, T. N. Kooney and K. T. Holland (2006). "The effect of air bubbles on optical backscatter sensors." Marine geology **230**(1): 87-97.

Regnauld, H., J.-Y. Cocaign, J.-F. Saliège and J. Fournier (1995). "Mise en évidence d'une continuité temporelle dans la constitution de massifs dunaires du Sud-Boréal (3600 BP) à l'Actuel sur le littoral septentrional de la Bretagne: un exemple dans l'Anse du Verger (Ille-et-Vilaine)." Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2. Sciences de la terre et des planètes **321**(4): 303-310.

Regnauld, H., S. Jennings, C. Delaney and L. Lemasson (1996). "Holocene sea-level variations and geomorphological response: an example from northern Brittany (France)." Quaternary science reviews **15**(8): 781-787.

Regnauld, H., H. Mahmoud, J. Oswald, O. Planchon and J. Musereau (2010). "Tempêtes, rythme de fonctionnement d'une cellule sédimentaire et «espace d'accueil»: exemple sur l'Anse du Verger, Bretagne Nord." Noréis(2): 133-146.

Regnauld, H., B. Mauz and M. Morzadec-Kerfourn (2003). "Shorelines of the last interglacial in western France: some preliminary results with OSL datings." Marine Geology **194**(1-2): 65-77.

Robin, M. (2002). Étude des risques côtiers sous l'angle de la géomatique. Annales de géographie, Société de géographie.

Robin, M. (2002). "Télédétection et modélisation du trait de côte et de sa cinématique." Baron-Yelles N. et al., Le littoral, regards, pratiques et savoirs, Edit. Rue d'Ulm: 95-115.

Rosati, J. D. (2005). "Concepts in sediment budgets." Journal of Coastal Research: 307-322.

Ruggiero, P., G. M. Kaminsky and G. Gelfenbaum (2003). "Linking proxy-based and datum-based shorelines on a high-energy coastline: implications for shoreline change analyses." Journal of Coastal Research: 57-82.

Russell, P. and D. Huntley (1999). "A cross-shore transport" shape function" for high energy beaches." Journal of Coastal Research: 198-205.

Saum (1977). " Schéma d'Aptitude et d'Utilisation de la Mer, étude analytique et méthodologique, Département du Finistère, DDE, 169 p."

Schoonees, J., A. Theron and D. Bevis (2006). "Shoreline accretion and sand transport at groynes inside the Port of Richards Bay." Coastal Engineering **53**(12): 1045-1058.

Shuisky, Y. D. and M. L. Schwartz (1983). "Basic principles of sediment budget study in the coastal zone." Shore and Beach **51**(1).

Stafford, D. and J. Langfelder (1971). "Air photo survey of coastal erosion." Photogrammetric Engineering.

Thornton, E., T. Dalrymple, T. Drake, E. Gallagher, B. Guza, A. Hay, R. Holman, J. Kaihatu, T. Lippmann and T. Ozkan-Haller (2000). "NEARSHORE PROCESSES RESEARCH." US Geological Survey.

Thornton, E. B., A. Sallenger, J. C. Sesto, L. Egley, T. McGee and R. Parsons (2006). "Sand mining impacts on long-term dune erosion in southern Monterey Bay." Marine Geology **229**(1): 45-58.

Vousdoukas, M. I., Ó. Ferreira, L. P. Almeida and A. Pacheco (2012). "Toward reliable storm-hazard forecasts: XBeach calibration and its potential application in an operational early-warning system." Ocean Dynamics **62**(7): 1001-1015.

Whitehouse, R., N. Cooper, J. Pethick, J. Spearman, I. Townend and D. Fox (2005). "Dealing with geomorphological concepts and broad scale approaches for estuaries."

Résumé

Cette thèse traite du comportement géomorphologique des littoraux situés entre la pointe du Grouin et Cap Fréhel. Ce littoral est composé de quatre systèmes côtiers : des côtes basses (système vaseux et système plage dune), et des côtes rocheuses (système falaise dure et système falaise meuble). La dynamique de ces systèmes est régie par des transferts depuis des sites sources vers des sites puits. La variation de ces transferts, dans le temps et l'espace conditionne le rythme d'évolution du littoral. Les systèmes plages –dunes et falaises meubles (qui sont souvent associés au sein d'une seule cellule sédimentaire en tant que puit et source) sont particulièrement sensibles à ces variations et aux processus d'érosion. De plus, l'augmentation des pressions anthropiques depuis les années 60 a mené à une artificialisation de zones côtières et à une modification profonde des flux sédimentaires. Dans ce contexte, nous retraçons la mobilité récente du trait de côte et nous tentons de reconnaître les principaux types de fonctionnements morphodynamiques à long et à moyen terme. Nous essayons aussi de déterminer le rôle respectif des forçages naturels et anthropiques. L'analyse est fondée sur le traitement numérique de photographies aériennes pour retracer la cinématique du trait de côte et pour quantifier les tendances et les rythmes d'évolution. L'analyse met en relation les variations du trait de côte avec une base de données SIG décrivant les facteurs contrôlant l'évolution. La combinaison des résultats obtenus a permis de noter que le recul du trait de côte est contrôlé par des processus d'érosion accélérée lors d'événements intenses (tempêtes) et par des processus d'érosion anthropique. Le déficit sédimentaire de certaines plages est peut être aussi lié à une pénurie des apports livrés par les falaises meubles. Les rôles respectifs de ces deux forçages (tempêtes et anthropisation) sont hautement variables suivant les sites et aucune règle générale ne peut être établie sur la région. IL n'y a que des cas particuliers.

This PhD deals with the geomorphologic behavior of the Northern coast of Brittany between the Pointe du Grouin and Cap Fréhel. The coastline is comprised of four coastal systems: low coasts (marsh system, and dune system) and rocky coasts (hard rock cliffs, soft rocks cliffs). The dynamics of these systems is controlled by transfers of energy and sediment (from source sites to sink sites). The variation of these transfers in time and space modifies the sedimentary stock and therefore the rate of morphological evolution of the coastline. The dunes / soft cliffs association (puits sites and source sites) are especially sensitive to these variations and show many erosion processes and features. Moreover the increase in anthropogenic pressures since the 60s has led to increasing artificial coastal areas. In this context, we trace the recent mobility of the coastline and we try to identify the main types of morphodynamics behavior in the evolution of coastal forms. The analysis is based on the digital processing aerial photography in order to quantify the trends of the evolution. The analysis links the changes with a GIS database describing the factors controlling the evolution of the coastline. Results show that retreat is controlled by accelerated erosion process during storms and by anthropogenic processes. The sediment deficit of some beaches may be related to a shortage of inputs from the soft cliffs. The respective roles of storms and anthropic forcing are highly variable from one site to another and no general rule may be constructed for the entire region.

Résumé

Cette thèse traite du comportement géomorphologique des littoraux situés entre la pointe du Grouin et Cap Fréhel. Ce littoral est composé de quatre systèmes côtiers : des côtes basses (système vaseux et système plage dune), et des côtes rocheuses (système falaise dure et système falaise meuble). La dynamique de ces systèmes est régie par des transferts depuis des sites sources vers des sites puits. La variation de ces transferts, dans le temps et l'espace conditionne le rythme d'évolution du littoral. Les systèmes plages –dunes et falaises meubles (qui sont souvent associés au sein d'une seule cellule sédimentaire en tant que puit et source) sont particulièrement sensibles à ces variations et aux processus d'érosion. De plus, l'augmentation des pressions anthropiques depuis les années 60 a mené à une artificialisation de zones côtières et à une modification profonde des flux sédimentaires. Dans ce contexte, nous retraçons la mobilité récente du trait de côte et nous tentons de reconnaître les principaux types de fonctionnements morphodynamiques à long et à moyen terme. Nous essayons aussi de déterminer le rôle respectif des forçages naturels et anthropiques. L'analyse est fondée sur le traitement numérique de photographies aériennes pour retracer la cinématique du trait de côte et pour quantifier les tendances et les rythmes d'évolution. L'analyse met en relation les variations du trait de côte avec une base de données SIG décrivant les facteurs contrôlant l'évolution. La combinaison des résultats obtenus a permis de noter que le recul du trait de côte est contrôlé par des processus d'érosion accélérée lors d'événements intenses (tempêtes) et par des processus d'érosion anthropique. Le déficit sédimentaire de certaines plages est peut être aussi lié à une pénurie des apports livrés par les falaises meubles. Les rôles respectifs de ces deux forçages (tempêtes et anthropisation) sont hautement variables suivant les sites et aucune règle générale ne peut être établie sur la région. IL n'y a que des cas particuliers.

This PhD deals with the geomorphologic behavior of the Northern coast of Brittany between the Pointe du Grouin and Cap Frehel. The coastline is comprised of four coastal systems: low coasts (marsh system, and dune system) and rocky coasts (hard rock cliffs, soft rocks cliffs). The dynamics of these systems is controlled by transfers of energy and sediment (from source sites to sink sites). The variation of these transfers in time and space modifies the sedimentary stock and therefore the rate of morphological evolution of the coastline. The dunes / soft cliffs association (sink sites and source sites) are especially sensitive to these variations and show many erosion processes and features. Moreover the increase in anthropogenic pressures since the 60s has led to increasing artificial coastal areas. In this context, we trace the recent mobility of the coastline and we try to identify the main types of morphodynamics behavior in the evolution of coastal forms. The analysis is based on the digital processing aerial photography in order to quantify the trends of the evolution. The analysis links the changes with a GIS database describing the factors controlling the evolution of the coastline. Results show that retreat is controlled by accelerated erosion process during storms and by anthropogenic processes. The sediment deficit of some beaches may be related to a shortage of inputs from the soft cliffs. The respective roles of storms and anthropic forcing are highly variable from one site to another and no general rule may be constructed for the entire region.