



UNIVERSITÉ D'ÉTAT D'HAÏTI

(UEH)

FACULTÉ D'AGRONOMIE ET DE MÉDECINE VÉTÉRINAIRE

(FAMV)

**DÉPARTEMENT DES RESSOURCES NATURELLES ET
ENVIRONNEMENT**

(DRNE)

Mémoire de fin d'études

Préparé par : Jerry BRUMAIRE

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur –Agronome

Option : Ressources Naturelles et Environnement

Décembre 2022

**Mémoire intitulé : Etude de l'évolution du trait de côte sur le tronçon Port-salut
Roche- à-Bateau : enjeux et prospective**

A été approuvé par le jury composé de:

Jocelyn LOUISSAINT

Date : _____

Président



Jacques Philémon MONDESIR, Ing-Arg, MSc

Date : 01/06/2023

Conseiller scientifique

Eric Junior VILMONT, Ing-Arg, MSc

Date: _____

Membre

Neudy JEAN-BAPTISTE, PhD

Date : _____

Conseiller scientifique

DEDICACES

Je dédie ce mémoire à :

- Mon père, Ovide BRUMAIRE et à ma mère Attha-Marie ADRIEN pour leur soutien et leur amour manifesté à mon égard.
- Mon grand frère Ophny BRUMAIRE
- Mes petits frères ; Gregory et Jn Jimmy BRUMAIRE
- Ma petite sœur Dyna BRUMAIRE
- Ma très chère Loudwine MICHEL qui m'a grandement accompagné et supporté tout au long du cycle d'étude.
- Tous mes anciens camarades de la promotion PEGASUS
- Et à tous les professeurs de la Faculté Agronomie et de Médecine Vétérinaire pour leur courage et leur motivation dans l'enseignement de cette génération.

A Jésus seul soit toute la gloire

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier le Seigneur Jésus pour ces multiples bienfaits envers moi.

Au terme de celui-ci, mes remerciements spéciaux vont à :

- ✦ Mes conseillers scientifiques en l'occurrence **Dr JEAN BAPTISTE Neudy** et **M. Jacques Philémon MONDESIR** pour leur encadrement et leur disponibilité à mon égard.
- ✦ Mes remerciements les plus sincères au corps professoral de la faculté d'Agronomie et de Médecine vétérinaire pour leur disponibilité.

Mes remerciements vont aussi à :

- ✦ **M. Boby PIARD** directeur général du Centre National de l'Information Géospatiale (CNIGS) qui m'a facilité l'obtention du stage de mémoire.
- ✦ **M. David TELCY** pour ses conseils.
- ✦ Au corps professoral de la FAMV en particulier ceux du département de Ressources Naturelles et Environnement.
- ✦ **M. St-phar JEAN** pour ses conseils.
- ✦ **Aux employés du CNIGS** pour leur sens de coopération au cours du stage.
- ✦ A mes collègues et camarades de stage : **Sandra CASIMIR, JEAN-PERRE Jhon-kely et Azilien W. Standy** pour leurs multiples supports au cours de la période de stage
- ✦ Enfin je présente également mes sincères remerciements à tous ceux et celles qui d'une façon ou d'une autre ont contribué à la réussite de ce travail.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les différents indicateurs utilisés pour les études de la dynamique du trait de côte.....	6
Tableau 2: Le matériel et les logiciels à utiliser	15
Tableau 3: Typologie et caractérisation des données Géospatiales collectées.....	16
Tableau 4: Les indicateurs les plus pertinents de la zone d'étude	19
Tableau 5: Statistique de l'occupation du sol de la bande côtière (2014/2021)	31
Tableau 6: Occupation du littoral déjà détruite par l'érosion côtière	38
Tableau 7: Quantité de superficie d'occupation du sol à risque d'érosion côtière.....	42

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation des communes de Port-salut et de Roche-a-Bateau	12
Figure 2: Répartition de la pluviométrie moyenne mensuelle (données obtenues sur la période allant de 2010 à 2018, UNITE HYDROMETEOROLOGIQUE (UHM))12	
Figure 3: Climat des communes de Port-Salut et de Roche-a-Bateau	14
Figure 4: Géologie des communes de Port-Salut et du Roche-a-Bateau	15
Figure 5: Exécution de la segmentation dans l'ecognition	17
Figure 6: Quelques échantillons correspondant a chaque classe des elements du littoral	18
Figure 7: Classification de l'image en fonction des caractéristiques de chaque polygones (object-image)	19
Figure 8: Extrait de l'orthophoto de 2010, numérisation à partir de la ligne instantanée20	
Figure 9: Extrait de l'orthophoto de 2010, numérisation a partir de la limite sable mouille/ sable sec	21
Figure 10: Extrait de l'orthophoto de 2010, numérisation à partir de la limite falaise 21	
Figure 11: Extrait de l'orthophoto de 2010, numérisation à partir de la limite de végétation	22
Figure 12: présentation de la ligne de base (baseline), les shorelines et les transects. 23	
Figure 13: Positions du trait de côte durant la période d'étude (2002-2021)	26
Figure 14: Occupation du sol (2014) du littoral de Port-Salut et de Roche-à-Bateau. 28	
Figure 15: Occupation du sol (2021) du littoral de Port-Salut et de Roche-à-Bateau. 29	
Figure 16: Représentations des classes d'occupation du sol du littoral.....	30
Figure 17: Proportion de chaque situation au niveau du trait de côte 2002-2010.....	32
Figure 18: Disparition d'un tombolo au cours de la période de 2002 à 2010 par une forte érosion	33
Figure 19: Evolution du trait de côte sur le troncon Port-Salut_Roche-à-Bateau (2002-2010)	325
Figure 20: Proportion de chaque situation au niveau du trait de côte de 2010-2021 ..	35
Figure 21: Evolution du trait de côte sur le troncon Port-Salut_Roche-à-Bateau (2010-2021)	36
Figure 22: superficie de claque classe occupation du sol détruite par érosion côtière38	
Figure 23: Comparaison des tendances avant et apre2010.....	40
Figure 24: Prévision de la position du trait de côte de 2040	41
Figure 25: Risque des pertes occupation du sol 2021 à 2040	42

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ABE : Agence Béninoise pour l'Environnement

CCG : Comité ZIP Côte-Nord du Golfe.

CNIGS : Centre National de l'Information Géo-Spatiale

CIAT : Comité Interministériel d'Aménagement du Territoire

DGPS : Differential Global Positioning System)

DSAS : Digital Shoreline Analysis System

EPR : Taux de point final

EID : Entente Interdépartementale pour la Démoustication du littoral méditerranéen

GIEC : Groupe Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

IHSI: Institut Haitien de Statistique et d'Informatique

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière (France)

MDT : Ministère du tourisme

MEDDTL : Ministère de l'écologie du Développement durable, des transports et du logement (France)

OCS : Occupation du Sol

UHM : Unité Hydrométéorologique d'Haïti

SIG : Système d'Information Géo-Spatiale

RESUME

La bande côtière Port-Salut_Roche-à-Bateau a une importance environnementale et touristique considérable au niveau du département du Sud. En dépit de tout ce potentiel socio-économique, certains points du tronçon côtier semblent fortement exposés à l'érosion côtière. Afin de mieux évaluer la gravité de la situation et de pouvoir géo-localiser les zones critiques nécessitant une intervention urgente, il est important d'établir une historicité de l'évolution côtière (grâce à la télédétection), depuis une date éloignée selon la disponibilité d'images (soit 2002) jusqu'à une date récente (2021). Cette analyse diachronique permet donc de mesurer le déplacement total ainsi que le déplacement annuel (cinétique) de la côte en différents points (appelés transects), de prévoir ensuite la position fictive du trait de côte à une date ultérieure (soit 2040) sur la base de cette même cinétique, et enfin de voir les enjeux actuels et futurs de cette dynamique littorale.

Pour atteindre les objectifs fixés, des tracés côtiers sont numérisés aux différentes dates selon la disponibilité en images (2002, 2010 et 2021) et en se basant sur des indicateurs dûment choisis. Le logiciel DSAS (*plug-in* de ArcGis) a permis de produire des statistiques sur la cinétique du trait de côte en se basant sur la variation de la position de la ligne de côte d'une année à l'autre.

Les résultats obtenus montrent que globalement (contrairement à ce à quoi on s'attendait) ce phénomène d'érosion côtière a connu un ralentissement dans la deuxième décennie de l'étude (2010-2021) par rapport à la première (2002-2010). En effet, au cours de la première période, 71 % du trait de côte a été en érosion avec un taux moyen de déplacement de 5 m/ an ; par contre pour la deuxième période seulement 47 % du tronçon a été en érosion (pour un même taux moyen de 5 m/an). Par ailleurs plus de 7 ha de terres ayant un intérêt humain, économique ou touristique (*zones urbaines, cultures & pâturages, couverts arborés et plage*) ont disparu lors de l'avancée de la mer sur la terre entre 2014 et 2021. On prévoit que d'ici 2040, certaines positions de la côte risque de reculer encore de 19 m, entraînant une perte de 11 ha de littoral terrestre si rien n'est fait pour inverser la tendance érosive.

Table des matières

DEDICACES.....	iii
REMERCIEMENTS	iv
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	vii
RESUME.....	viii
1-INTRODUCTION	1
1.1-Problématique	1
1.2- Objectif de l'étude.....	2
Objectif général.....	2
Objectifs spécifiques.....	3
1.3-Hypothèse.....	3
1.4-Intérêt de l'étude.....	3
1.5- Limitation de l'étude	3
2-REVUE DE LITTERATURE.....	5
2.1-Le littoral	5
2.2- Définition du trait de côte.....	5
2.3- Les indicateurs du trait de côte.....	6
2.4- Dynamique du trait de côte	7
2.5- Les causes de la dynamique du trait de côte	7
2.5.1-Les processus naturels de la dynamique du trait de côte.....	7
2.5.2-Les interventions humaines	9
2.6- Mesure des variations de la position du trait de côte	9
2.6.1- Les méthodes directes.....	10
2.6.2- Les méthodes indirectes.....	10
2.7-Les systèmes d'information géographique (SIG) dans l'analyse du trait de côte	10

2.7.1- Méthodes statistique de calcul de la mobilité du trait de côte	11
3- METHODOLOGIE.....	12
3.1-Presentation de la zone d'étude	12
3.1.2-Localisation géographique.....	12
3.1.3- Situation démographique	13
3.1.4- Condition climatique	13
3.1.5- Géologie des communes de Port-Salut et de Roches-à-Bateau	14
3.2-Matériel	15
3.3- Méthode de travail.....	16
3.3.1-Recherche bibliographique	16
3.3.2-Collecte des données à l'entrée (Inputs) : Images	16
3.3.3- Production de couches de données	17
a) Les statistiques d'évolution du trait de côte.....	22
3.4- SCHEMA RECAPITULATIF DE LA METHODOLOGIE DE L'ETUDE...	25
4-Résultats et discussions.....	26
4.1-Cartographie multirates des positions du trait de côte.....	26
4.2- Cartographie diachronique de l'occupation du sol sur le littoral Port-Salut_ Roche-A-Bateau (2014 /2021).....	27
4.3-Mesure de la cinétique du trait de côte durant les deux dernières décennies (2000 -2020) ;	31
4.3.1-Variation spatio-temporelle du trait de côte pour la période de 2002-2010	31
4.3.2-Variation spatio-temporelle du trait de côte de 2010-2021	35
4.3.3-Analyse d'impacts et évolution du phénomène d'érosion sur le tronçon d'étude.....	37
4.4- Prévision et enjeux de l'évolution du trait de côte de la commune de Port-salut et du Roche-A-Bateau (horizon 2040)	39
4.5- Considération sur l'hypothèse	43
5- Conclusion et recommandations	44

5.1- Conclusion.....	44
5.2- Recommandations	45
6- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	46

1-INTRODUCTION

1.1-Problématique

Les zones côtières, malgré leur niveau de fragilité, sont connues comme de zones importantes du point de vue économique et environnemental. Elles constituent la zone de transition (écotone) entre les écosystèmes marins et terrestres, et fournissent à ce titre des services écosystémiques fondamentaux (ASSOGBA, 2018). Pourtant, ces zones sont en général sujettes au risque d'érosion côtière qui est un phénomène naturel que l'on observe partout dans le monde (PASCOFF, 1998). Toutefois, il est toujours plus accentué là où il y a une plus forte vulnérabilité liée à une mauvaise utilisation de l'espace littoral.

Ce phénomène d'érosion est à l'origine de la dynamique du trait de côte et induit donc une perte de terrain au profit de la mer (PALVADEAU, 2000). En effet, plus de 70 % des côtes du monde connaissent des problèmes d'érosion côtière, 20% sont stables et 10 % en situation d'accrétion (PALVADEAU, 2000). D'après BORLOO (2009), ce phénomène entraîne déjà des dommages considérables sur les activités humaines, en matière de développement économique, d'urbanisation du littoral, de tourisme et de protection de la biodiversité. Cette évolution (négative) du trait de côte s'accélère avec l'augmentation de l'intensité (ainsi que la fréquence) des tempêtes et la montée du niveau de la mer sous l'effet du réchauffement climatique (LA CROIX, 2002). Ainsi, les plages, les complexes touristiques, les centres urbains, les activités économiques au niveau des zones côtières deviennent de plus en plus exposés face au recul du trait des côtes (GIEC, 2007).

A l'instar des zones côtières du monde, les littoraux d'Haïti sont également exposés à l'érosion côtière. En effet, presque tous les 1500 kilomètres de rivages s'étalant sur 77 communes du pays sont menacés par cette érosion, surtout la bande Cayes-Dame Marie (CIAT, 2012). Au niveau de cette bande côtière, particulièrement sur le tronçon Port-Salut_ Roche- à-Bateau, la situation se détériore graduellement (MDT, 2007).

La bande littorale « Port-Salut - Roche-à-Bateau » est considérée malgré tout comme l'atout majeur du développement touristique du département du Sud (MDT, 2007). Par ses complexes touristiques, son paysage et ses services écosystémiques, elle accueille chaque année des centaines de visiteurs à l'occasion des fêtes patronales, lors des vacances de fin d'année, de Carnaval, de Pâques ou d'été (MPCE ,2013). Elle s'est imposée comme une destination touristique pour une clientèle locale comme pour plusieurs membres de la diaspora haïtienne (MPCE ,2013).

Durant la période de 2004 à 2007 des successions de vagues exceptionnelles ont provoqué la déstabilisation de ce tronçon côtier (CREOCEAN, 2015). De plus, cette déstabilisation s'intensifie par les activités anthropiques des riverains (*Extraction de sable pour la construction et la réalisation d'aménagements privés, la destruction de la végétation servant à fixer les sédiments sableux du littoral...*) qui accélèrent davantage l'érosion côtière (CREOCEAN, 2015).

Malgré sa valeur appréciable du point de vue touristique et environnemental, cet espace côtier, aujourd'hui très fréquenté et pourtant fragilisé, pourrait ne plus être en mesure de résister aux « agressions habituelles » des vagues et des impacts anthropiques (CREOCEAN, 2015). Ainsi, il convient de se demander (dans une perspective d'un éventuel plan d'anticipation, de renforcement et de réhabilitation côtière) quelle est l'ampleur réelle du phénomène (en termes de taux d'évolution) et surtout quels sont les points les plus menacés sur le tronçon nécessitant une intervention urgente. Dans ce contexte, cette étude se propose de faire un état des lieux précis de la situation du tronçon côtier « Port-Salut – Roche-à-Bateau », basé sur la mesure du déplacement du trait de côte au cours de ces vingt dernières années ainsi que le ciblage des zones les plus critiques.

1.2- Objectif de l'étude

Objectif général

Contribuer à une meilleure connaissance (*actuelle et future*) de la dynamique du trait de côte du tronçon Port-Salut _Roche-à-Bateau afin de mieux évaluer et localiser les

impacts futurs y afférents sur un horizon de 20 ans et proposer des solutions appropriées.

Objectifs spécifiques

- ❖ Cartographier l'occupation du sol à une date antérieure (2014) et récente (2021) sur le littoral Port-Salut_ Roche-à-Bateau ;
- ❖ Cartographier les positions du trait de côte à différentes dates (2002-2010-2021) sur le tronçon d'étude ;
- ❖ Mesurer la cinétique du trait de côte durant les deux dernières décennies (2000 – 2020) ;
- ❖ Prévenir la position fictive du trait de côte et les pertes en occupation du sol (horizon 2040) ;

1.3-Hypothèse

On s'attend à une plus grande accélération de l'érosion côtière sur le trait de côte du tronçon Port-Salut_ Roche-à-Bateau dans la deuxième décennie (post-2010), par rapport à la première décennie (2000 - 2010).

1.4-Intérêt de l'étude

Ce mémoire (au-delà du fait que ce soit une étude de cas) illustre de manière générale la contribution de l'imagerie spatiale et des outils SIG dans le suivi du risque côtier et la gestion du littoral. Le fait de pouvoir quantifier et géolocaliser le recul du trait de côte (ainsi que les impacts futurs sur les diverses occupations côtières : agglomérations, espace cultivé, plages...) constituera un argument concret et pressant pour la mise en place d'un plan d'anticipation et de gestion rationnelle de ce tronçon de manière spécifique, et du littoral haïtien en général.

1.5- Limitation de l'étude

- ❖ Le concept « trait de côte » (et ses techniques d'extraction) n'est pas défini en Haïti.

- ❖ La vulnérabilité du terrain par rapport à la structure des sols (résistance due à la variation du matériau géologique et autres) ne sera pas prise en compte dans l'analyse prospective
- ❖ Hétérogénéité au niveau des images utilisées comme sources de données à l'entrée (résolution, types de capteurs, moment de la prise de vue...).

2-REVUE DE LITTERATURE

2.1-Le littoral

Au point de vue Géomorphologique, le littoral ou zone côtière, est la zone de contact entre l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère. Ce lieu de convergence et de compétition entre de nombreuses activités humaines constitue aussi un patrimoine biologique où les équilibres écologiques sont sans cesse fragilisés par les aléas et également par l'homme (EID, 2005).

En Haïti, il n'existe pas de limites juridiques clairement spécifiées pour la zone littorale, mais de manière générale, selon la taille du pays, le littoral peut aller de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres à partir du rivage (5 km en Nouvelle Calédonie qui fait presque la taille d'Haïti). Dans le cadre de ce travail, nous choisissons d'adopter le concept littoral tel que défini par l'IGN (France) dans le programme litto 3D, et précédemment utilisé par le CNIGS lors de travaux antérieurs sur le milieu côtier :

- en mer, jusqu'à la courbe bathymétrique continue de profondeur 10 m et au plus jusqu'à 6 miles (environ 3km) de la ligne côtière,
- sur terre jusqu'à l'altitude (+10m) et au plus 2 km depuis la ligne de côte.

2.2- Définition du trait de côte

Le trait de côte, un concept apparemment simple (frontière entre le domaine terrestre et maritime) paraît controversé pour les chercheurs en raison de la grande diversité des indicateurs qui rend difficile la tâche de localisation de la limite de la terre et la mer (IBRAHIMA, 2010). En effet, beaucoup d'études qui s'intéressent à la cinétique du littoral ont montré qu'il existe plus d'une douzaine de lignes de référence matérialisant la position du trait de côte (ROBIN, 2002).

Selon la remarque de BIRD (2007), dans la littérature anglo-saxonne et américaine en particulier, les concepts *shoreline* et *coastline* sont souvent considérés comme synonymes. Toutefois, il y a une démarcation dans la compréhension de ces concepts. En effet d'après cet auteur, l'expression *shoreline* indique la limite du plan d'eau en

fonction des fluctuations du jet de rive et de la marée, en d'autres mots la ligne instantanée de rivage, alors que *coastline* désigne la limite atteinte par les pleines mers de vives-eaux d'équinoxe et pouvant être matérialisée selon le type de côte par le pied de falaise, la limite de la végétation terrestre ou tous autres indicateurs.

Peu importe la définition considérée pour le trait de côte, ce dernier doit avoir la qualité de représenter schématiquement et correctement l'état global du littoral du point de vue de son évolution sédimentaire (MEDDTL, 2002)

2.3- Les indicateurs du trait de côte

Pour l'identification du trait de côte, plusieurs indicateurs peuvent être considérés. Certains s'appuient sur des éléments géomorphologiques ou sur des considérations altimétriques (niveau de référence de la mer), et d'autres sur la présence de végétation (débris laisse par la mer) ou sur une ligne de déferlement (indicateurs hydrodynamiques instantanés ou non) (tableau 1).

Tableau 1: Les différents indicateurs utilisés pour les études de la dynamique du trait de côte

Indicateurs de trait de côte fréquemment utilisés	Classe/type
Ligne correspondant à l'altitude d'une basse mer moyenne	Altimétrie
Ligne correspondant à l'altitude d'une pleine mer moyenne	Altimétrie
Ligne de débris	Hydrodynamique
Résurgence d'eau sur la plage	Hydrodynamique
La ligne instantanée de la mer	Hydrodynamique
Limite sable mouillé/sec	Hydrodynamique
Limite de végétation pionnière	Botanique
Limite côté mer de végétation pérenne dunaire	Botanique
Crête de dune	géomorphologique
Pied de dune	géomorphologique
Abrupt	géomorphologique
Berne	géomorphologique

2.4- Dynamique du trait de côte

Les zones côtières sont constamment sous l'effet des phénomènes qui entraînent leurs modifications. L'érosion et l'accrétion ne cessent de provoquer la dynamique de ces milieux. Pour une évaluation de cette dynamisation, on se réfère à un bilan sédimentaire. Ce dernier correspond à la quantité de sédiments qui entre dans le système par rapport à la quantité qui en sort (ADRIEN, 2015). Par exemple, une plage qui reçoit des sédiments provenant de ses multi sources, cette section de plage est donc en accumulation. Par contre, l'érosion peut emporter ses sédiments et les redistribuer sur d'autres secteurs de la plage, et ainsi de suite jusqu'il y ait dans le système des sections en accumulation, des sections en érosion et des sections en équilibre : d'où la dynamique permanente du trait de côte. (CCG, 2006).

2.5- Les causes de la dynamique du trait de côte

Cette dynamisation est causée surtout par des processus naturels et elle peut également être accentuée par des interventions humaines.

2.5.1-Les processus naturels de la dynamique du trait de côte

Les processus naturels de la dynamisation du trait de côte se représentent par :

- ❖ Les processus aérodynamique et hydrodynamique ;
- ❖ Les processus hydrogéologiques ;
- ❖ Les processus biologiques ;

2.5.1.1- Processus aérodynamique et hydrodynamique

Cette catégorie regroupe l'aérolisation ainsi que l'action des vagues, des courants de marée.

- Aérolisation

Selon WESTED (1960) l'activité éolienne affecte principalement les côtes sablonneuses. Bien qu'elle soit moins importante que les autres processus naturels, elle a tout de même un impact sur les plages exposées aux vents dominants. Sur les côtes sableuses, les vents peuvent éroder et transporter les particules de sables. WESTED (1960) a rapporté aussi que la destruction du couvert forestier par un

incendie dans la région Natashquan avait favorisé une accélération d'aérolisation sur un littoral non loin de cette forêt.

- Action des vagues et des courants de marée

L'érosion du littoral est principalement affectée par l'action des vagues, particulièrement lors des marées de vive eau et des tempêtes (DIONNE, 1961). Toutefois, il n'existe jusqu'à présent aucune étude basée sur des données de terrain permettant de préciser l'impact réel des vagues dans le recul de la ligne de côte. La majorité des taux de recul connus étaient obtenus par la comparaison des photographies aériennes multi dates

L'impact des vagues sur le littoral est intimement lié aux caractéristiques lithologiques des côtes. En effet, (MCCULLOCH et al, 2002) rapporte qu'en octobre 2000, après une forte tempête qui a frappé les côtes nord du Québec, le recul de falaises argileuses a été nul et faible (de 0 à 0,2 m) alors qu'il a varié de 0,9 m à 9,6 m pour les côtes sableuses.

Dans le contexte d'une hausse du niveau marin, l'érosion côtière devrait s'accélérer (BERNATCHEZ, 2004). Justement, à partir des données marégraphiques, DUBOIS et LESSARD (1986) ont mis en évidence le fait que certaines périodes de forte érosion enregistrées sur la côte nord du Québec coïncidaient avec des périodes de hauts niveaux de la mer au cours de période 1965-1970. A l'inverse, la période 1970-1976 a été caractérisée par une érosion modérée et une baisse des niveaux de la mer.

2.5.1.2-Processus hydrogéologiques

Les glissements de terrain contribuent de manière significative au recul des hautes falaises. Les fortes précipitations sont généralement la cause principale du déclenchement de ces types de mouvements de masse. Ces derniers se produisent souvent à la suite de la saturation, puis de la liquéfaction des couches de sables très fin (ABE, 2005). Il semblerait que le séisme du 14 août 2021 ait provoqué une modification importante de la ligne côtière au Sud du pays, suite à d'importants mouvements de terrain.

2.5.1.3-Processus biologiques

Les processus biologiques sont principalement liés aux activités de nidation et d'alimentation (picorage) de la faune. En creusant des milliers de trous à la recherche de rhizomes de plante, et pour la ponte, les animaux facilitent le transport des sédiments par les vagues (ABE,2005).

2.5.2-Les interventions humaines

La dynamique du trait de côte n'a pas que des causes naturelles. Les activités anthropiques peuvent accélérer ou ralentir le transport des sédiments. (MORTON, 1979). D'après HAYES, (1984), Cette accélération ou ralentissement peut se faire de deux manières :

- Soit en modifiant les apports sédimentaires par la construction de barrages sur les fleuves, les extractions de sable sur les plages ou au large, le durcissement de la ligne de rivage (construction d'habitations ou de structures de protection sur la plage), la destruction de la végétation littorale ;
- Soit en interférant avec le transport littoral, essentiellement par la construction de structures perpendiculaires au rivage (digues, jetées, épis, brise-lames, etc.) qui peuvent interrompre ou stopper une partie du transport sédimentaire effectué par la dérive littorale.

2.6- Mesure des variations de la position du trait de côte

L'analyse de l'évolution du trait de côte d'un littoral exige d'abord le choix d'un indicateur. En raison de la diversité de ligne de référence matérialisant la position du trait de côte, plusieurs méthodes sont adoptées pour détecter, extraire, et suivre la dynamique du trait de côte (MOORE, 2000). Mais, ces différentes approches méthodologiques reposent sur la compilation et la comparaison de données acquises, soit sur le terrain par des instruments de topométrie (niveau de chantier, théodolite, tachéomètre électronique, lidar, récepteur DGPS, etc.), soit en laboratoire par le traitement numérique d'images satellites ou aériennes (FAYE, 2010).

2.6.1- Les méthodes directes

Elles sont basées sur des mesures topographiques périodiques (hebdomadaires, bihebdomadaires, mensuelles, semestrielles, annuelles) à l'aide de matériels de levés allant des appareils à principe optique (niveau de chantier, théodolites, ...) aux appareils électroniques utilisant le laser (tachéomètre électronique, Lidar) ou le positionnement par satellites en mode différentiel (récepteur DGPS) (IBRAHIMA, 2010).

Les données fournies par les levés de terrain sont extrêmement précises pour la quantification de la mobilité du trait de côte mais leur acquisition réclame beaucoup de temps. Pour cette raison, elles sont limitées dans la plupart des cas à quelques sites spécifiques pour des études très avancées (DOLAN, 1978).

2.6.2- Les méthodes indirectes

Selon IBRAHIMA (2010), les méthodes d'observation indirecte s'appuient sur l'analyse de documents cartographiques et photographiques pour mesurer et cartographier les positions successives des indicateurs du trait de côte. Elles ont bénéficié des progrès technologiques réalisés au cours des deux dernières décennies dans le domaine du traitement numérique de l'information géographique. En effet, dans les années 1960-1970, les techniques reposaient exclusivement sur des méthodes manuelles (mesures directes sur des photographies aériennes ou des cartes, photo-interprétation analytique), les années 1980 ont vu l'introduction de techniques de photogrammétrie analytique dans les études de cinématique littorale. De nos jours, les méthodes de photogrammétrie numérique et surtout de photo-interprétation assistée par ordinateur couplée aux SIG s'imposent.

2.7-Les systèmes d'information géographique (SIG) dans l'analyse du trait de côte

Les SIG se sont imposés dans les années 2000 dans les études de cinématique littorale (LEATHERMAN, 2003). Ils permettent d'intégrer diverses sources de données sur la position du trait de côte (photographies aériennes, cartes, images satellitaires, levés DGPS, Lidar, etc.), de produire des informations, de les analyser et de les cartographier (BYRNES, 1994).

En effet, à partir des logiciels appropriés, on procède à la numérisation des lignes de référence des différentes données multi dates, puis ces dernières sont superposées afin d'identifier les changements qui ont été effectués sur les lieux. Les mesures peuvent être effectuées avec les outils de mesure proposés par le logiciel et par des programmes spéciaux comme le DSAS (THIELER et DANFORTH, 1994).

Le DSAS accouplé avec Arc-Gis permet d'effectuer les calculs des statistiques relatives à l'évolution du trait de côte. En effet, selon (THIELER et al., 2009) le <<Digital Shoreline Analysis System>> est une extension du logiciel Arc-Gis qui permet de faire des calculs sur les écarts des traits de côtes numérisés à partir des images retenues. Développé depuis les années 1990 par l'US Geological Survey, DSAS fournit une méthode normalisée qui peut être utilisée pour le calcul de l'évolution statistique du littoral tout en analysant les changements passés, présents et futurs du littoral.

2.7.1- Méthodes statistiques de calcul de la mobilité du trait de côte

Selon DOLAN et al (1991), la méthode des points extrêmes (*End point rates, EPR*) peut être employée pour effectuer les statistiques d'analyse quantitative de la mobilité du trait de côte. Cette méthode n'a besoin que deux positions connues de la ligne de référence (la position la plus ancienne et la plus récente). La distance mesurée entre ces deux emplacements extrêmes du trait de côte durant la période d'étude est divisée par le nombre d'années écoulées pour obtenir la vitesse d'évolution annuelle du littoral. L'avantage de cette méthode réside dans sa simplicité. Néanmoins, lorsqu'on dispose les positions intermédiaires entre les deux dates extrêmes de la période d'étude, les taux estimés par cette technique ne tiennent pas compte les éventuelles variations temporelles dans l'évolution du littoral (accélération, ralentissement ou inversion de tendance).

3- METHODOLOGIE

3.1-Presentation de la zone d'étude

La localisation géographique ainsi que les caractéristiques climatiques et géologiques de la zone d'étude renseignent sur son cadre physique.

3.1.2-Localisation géographique

L'étude s'étend globalement sur la bande côtière (2 kilomètres du rivage à partir du trait de côte) des communes de Port-salut et de Roche-à-Bateau du département du Sud. Ces deux communes sont limitées au Nord par la Commune de Chantal, Arniquet, et Torbeck, au Sud par la mer des Caraïbes, à l'Est par la commune de Saint-Jean du Sud et à l'Ouest par la commune de Coteaux (figure 1). Elles « Port-Salut_Roche-à-Bateau » occupent une superficie totale de 95 km² et la bande littoral, une superficie de 45 km².

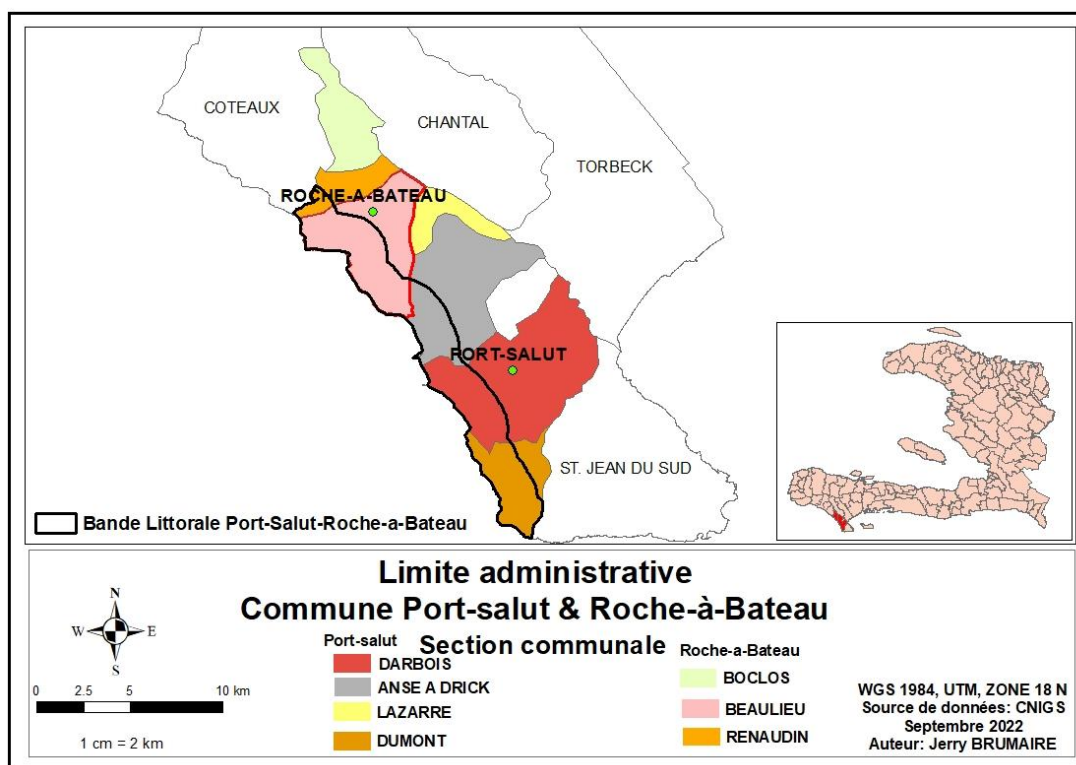


Figure 1: Localisation des communes de Port-salut et de Roche-à-Bateau

3.1.3- Situation démographique

Selon IHSI (2009) la population de la commune de Port-salut était estimée à 17 368 habitants avec une densité de 356 ha/km² quant à la commune de Roche-à-Bateau, la population a été évaluée à 16727 habitants avec une densité de 362 ha/km².

3.1.4- Condition climatique

Selon UHM (2018) le site d'étude (*littoral Port-salut_Roche-à-Bateau*) bénéficie un climat caractérisé ainsi ; une saison pluvieuse (*Avril à Octobre*) et une saison sèche (*mi-novembre jusqu'à mars*) (figure 2).

- ✓ Température : la température moyenne est de 29.1 °C
- ✓ Pluviométrie : La pluviométrie moyenne annuelle est de 786.2 mm.

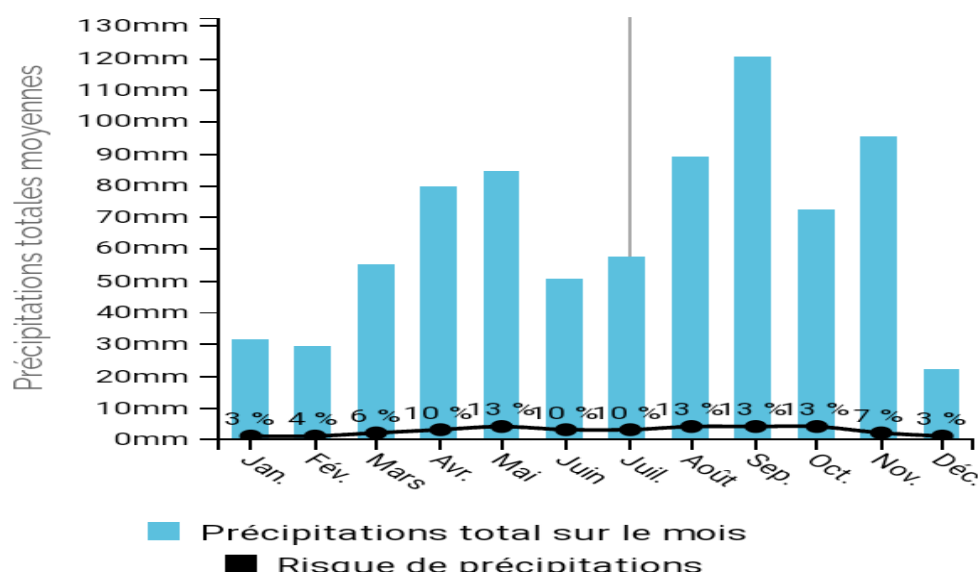


Figure 2 : Répartition de la pluviométrie moyenne mensuelle (données obtenues sur la période allant de 2010 à 2018, UNITE HYDROMETEOROLOGIQUE (UHM))

En examinant la source de donnée climatique du CNIGS, on constate que la commune présente un climat d'aridité moyenne » (figure 3).

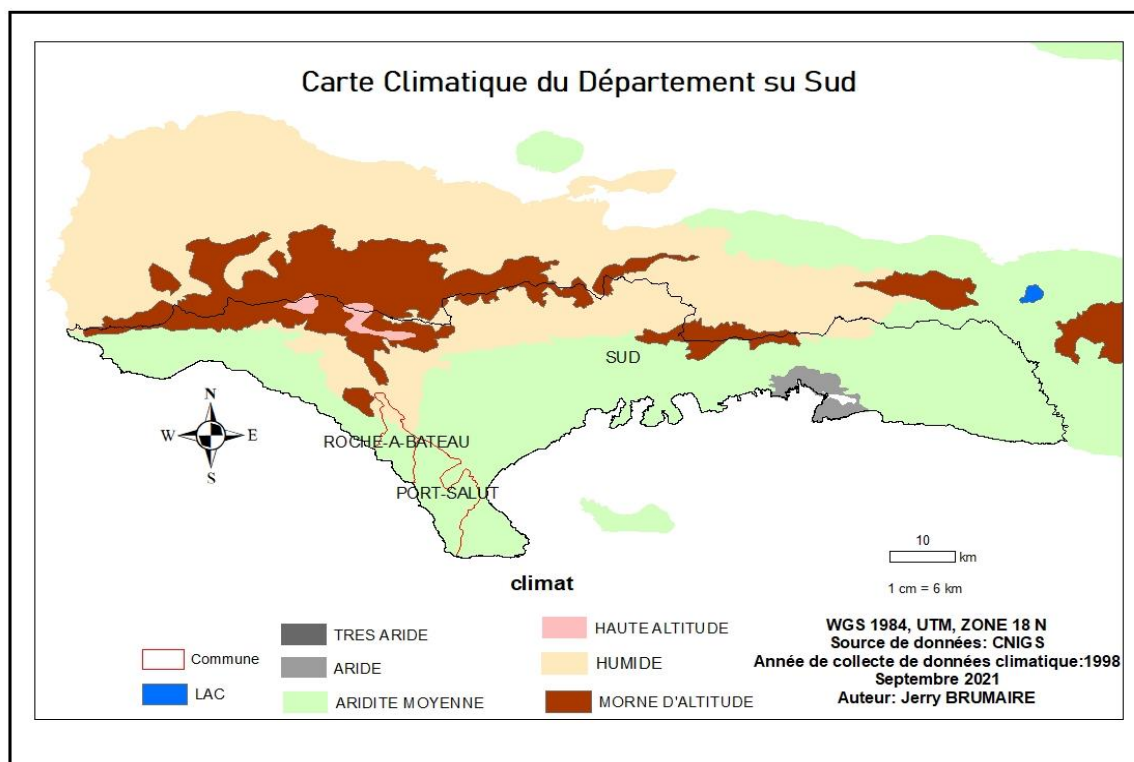


Figure 3: Climat des communes de Port-Salut et de Roche- à -Bateau

3.1.5- Géologie des communes de Port-Salut et de Roches-à-Bateau

Sur le plan de la géologie, l'observation des données du CNIGS montre que ces deux communes sont constituées principalement de roches volcano-sédimentaires, de marnes et calcaires marneux, de flysch, de calcaires durs et d'alluvions. La bande littorale quant à lui, du côté de Port-Salut, est dominée par du calcaire dur, d'alluvions, et de marnes. La partie du littoral au côté de Roche-à-Bateau est dominée de marnes, d'alluvions et de flysch (figure 4)

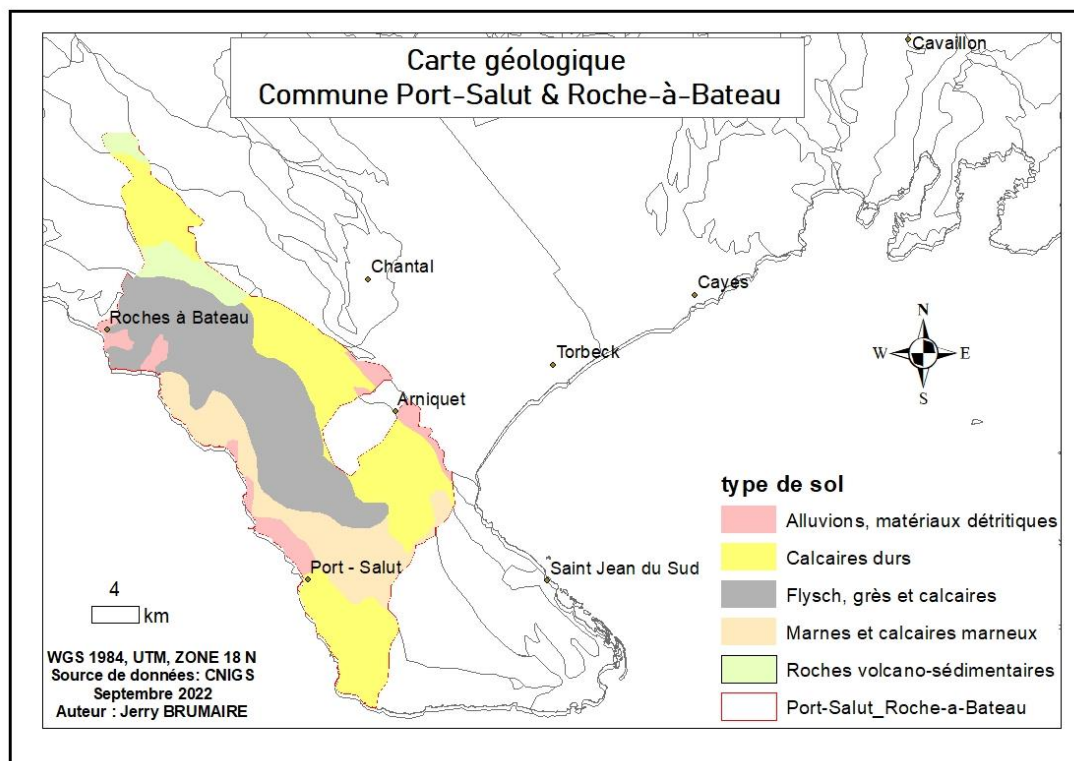


Figure 4: Géologie des communes de Port-Salut et de Roche- à -Bateau

3.2-Matériel

Pour la réalisation de ce travail, les matériels et les logiciels utilisés pour le traitement des données (tableau 2) sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2: Le matériel et les logiciels utilisés

LOGICIELS	UTILITÉ
Ordinateur	Pour le traitement des données et la rédaction du document.
Google Earth	Pour l'exploration la zone sous étude
Arc-Gis	Pour les réalisations cartographiques.
eCOGNITION	Pour cartographier l'occupation du littoral
DSAS	Pour mesurer la cinétique du trait de côte dans le temps et l'espace.
Microsoft Word	Pour la rédaction du document.
Excel	Pour le traitement de données

3.3- Méthode de travail

La méthodologie utilisée dans ce travail repose sur des techniques de traitement numérique de l'information géographique largement éprouvées en cinétique littorale. Dans cette partie, on a détaillé, présenté la démarche méthodologique qui a permis d'extraire les lignes de références à partir des documents photographiques pour observer et analyser l'évolution spatio-temporelle du trait de côte des communes de Port-Salut et de de Roche-à-Bateau. L'approche adoptée en fonction des données disponibles est basée sur les étapes suivantes :

- ❖ Recherche bibliographique et Consultation des personnes ressources et Institutions spécialisées dans la production des informations Géospaciales ;
- ❖ Collecte des données
- ❖ Production de données ;
- ❖ Traitement et analyse des données ;
- ❖ Présentation des résultats et discussions ;

3.3.1-Recherche bibliographique

Dans cette rubrique, des documents et des mémoires ont été consultés au centre de documentation de la FAMV et sur des sites d'internet traitant la thématique de l'érosion côtière. Toutes ces recherches s'inscrivaient dans le but de recueillir et de mettre en cohérence des informations pertinentes sur ce sujet très controversé (et négligé par la législation locale) qu'est le littoral, ainsi que le phénomène d'érosion côtière, sans oublier les méthodes d'analyse de l'évolution du trait de côte.

3.3.2-Collecte des données à l'entrée (Inputs) : Images

Une étape fondamentale de cette étude a été de récupérer les archives disponibles en termes d'imagerie spatiale permettant de retracer l'historicité du tracé côtier. Voici l'ensemble de données géospaciales utilisées pour atteindre les objectifs susmentionnés (tableau 3).

Tableau 3: Typologie et caractérisation des données Géospatiales collectées

Types de données	Résolution spatiale	Format	Source
Couche Administrative	-----	Shapefile	CNIGS
Couche climat	-----	Shapefile	CNIGS
Couche Géologique	-----	Shapefile	CNIGS
Ortho-photo 2002	1m	Géotif	CNIGS
Ortho-photo 2010	1m	Géotif	CNIGS
Image Pleiades 2021	2 m	Géotif	CNIGS

3.3.3- Production de couches de données

3.3.3.1.- Production des données de base

a) Cartographie de l'occupation du sol du littoral avec e-Cognition

La cartographie de l'occupation du sol du littoral a été réalisée dans le logiciel e-Cognition associé à Arc-Gis. Pour accomplir cette tâche, on a utilisé une méthodologie de classification dite « supervisée ». Cette dernière a été effectuée à partir d'un algorithme « déjà disponible dans e_Cognition » basé sur des échantillons de l'image. Cette méthode s'effectue en 2 étapes suivantes :

1) La segmentation de l'image

La segmentation permet de découper l'image en unité homogène. En effet, l'algorithme multi-résolution déjà disponible dans le logiciel a permis de découper l'image en unités homogènes créant ainsi des polygones ayant des caractéristiques identiques (images objets) (figure 5).

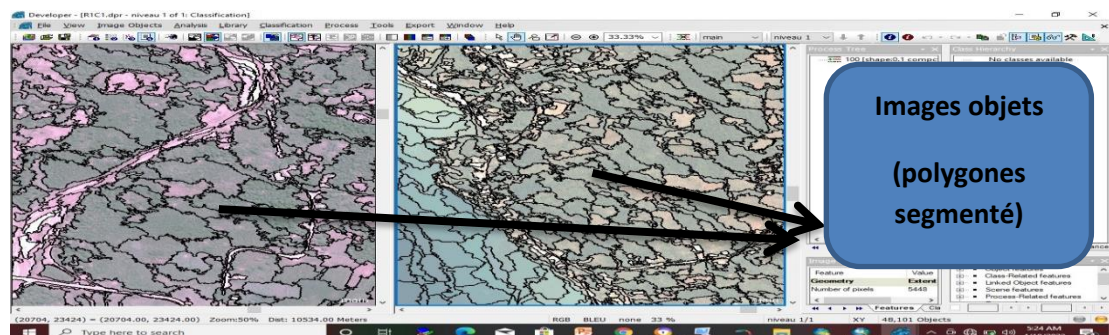


Figure 5: Exécution de la segmentation dans l'ecognition

2) Classification des polygones (les images objets)

La deuxième étape consiste à classer les polygones qui ont les mêmes caractéristiques (radiométriques, de forme et de texture). L'approche adoptée pour effectuer cette classification est «>> approche supervisée >>». Cette dernière est basée sur le choix des échantillons de chaque classe constituant les éléments du littoral. En effet, on a créé d'abord les classes d'occupation sol du littoral (*Couvert arboré, culture & pâturage, Plage, zone habitée & complexe touristique...*). Certaines classes regroupent des éléments qui ont presque des caractéristiques similaires, telles que ;

- La classe «>> couvert arboré >> qui regroupe (agroforesterie, végétation arbustive, arboriculture).
- La classe zones urbaines regroupe (les bâties, les complexes touristiques, les zones commerciales, les zones industrielles et les zones publiques).
- La classe Culture & pâturage regroupe (les végétations à dominances herbacée, cultures agricoles sans couvert arboré et les pâturages).

Puis, par photo-interprétation on a sélectionné quelques échantillons correspondant à chaque classe des éléments du littoral. (figure 6).

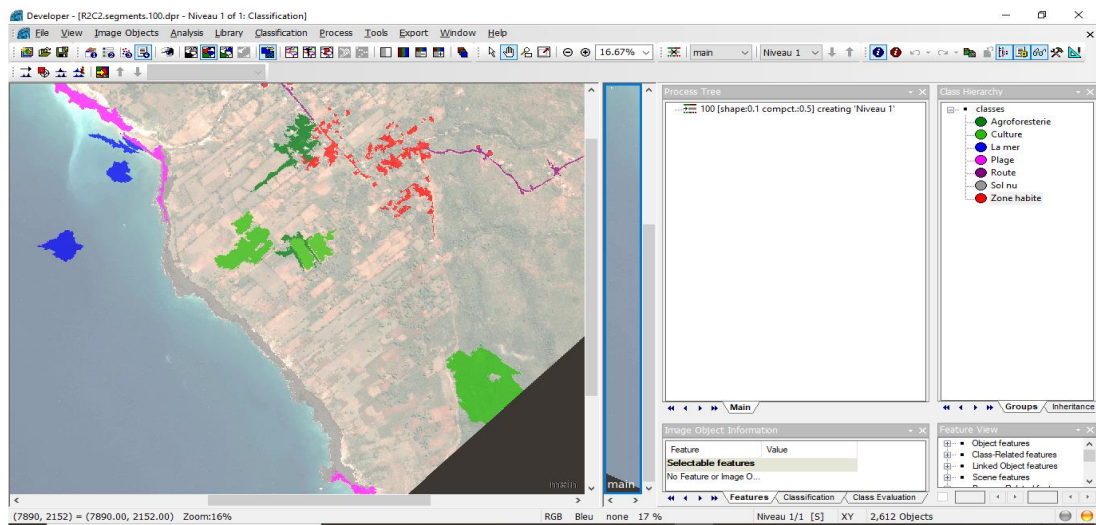


Figure 6: Quelques échantillons correspondant à chaque classe des éléments du littoral

À partir d'un algorithme déjà disponible dans le logiciel « plus proche voisin, nearest neighbor », chaque polygone segmenté de l'image a été comparé avec les échantillons des classes d'occupation du sol du littoral. Ainsi, la classification s'applique sur toute l'image (figure 7).

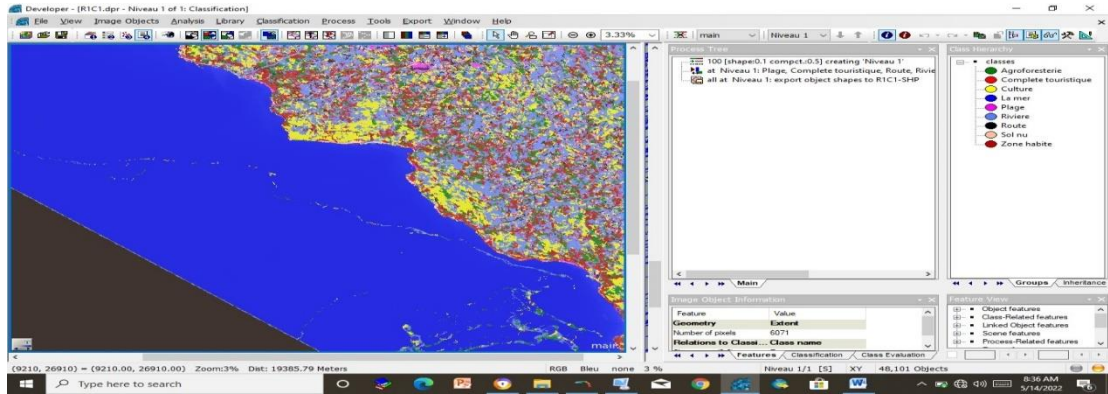


Figure 7: Classification de l'image en fonction des caractéristiques de chaque polygones (Object-image)

b) Cartographie des traits de côte à différentes dates

Compte tenu des nombreuses possibilités offertes par la littérature traitant les indicateurs du tracé côtier de référence (et par rapport à la structure physique assez complexe du littoral haïtien), on a identifié, sélectionné et hiérarchisé les indicateurs qu'on estimait les plus pertinents et les plus adaptés à la reconstitution du rivage. Il suffit que l'un ou l'autre soit visible dans l'image pour permette de localiser la ligne de côte (tableau 4).

Tableau 4: Les indicateurs les plus pertinents de la zone d'étude

Indicateurs du trait de côte	Classe/type
La ligne instantanée de la mer	Hydrodynamique
Limite sable mouillé/sec visible	hydrodynamique
Limite falaises	Géomorphologique
Limite de végétation	Botanique

Dans le tableau ci-dessus (tableau 4) on a mis les indicateurs par ordre de priorité. Pour ce travail la vraie limite terre/mer (*sauf si on est en situation de falaises avec pied dans l'eau*) est d'abord la ligne instantanée, c'est-à-dire la limite maximale du flux de la vague (sur la terre). Mais cet indicateur a été difficile à retenir de manière

absolue vu que toutes les images n'ont pas été prises au même moment et surtout pas forcément au moment où la vague atteint cette limite maximale. Par conséquent, un second indicateur pourrait plus ou moins aider à compléter la recherche de la ligne instantanée : la limite sable mouillé / sable sec qui peut être visible sur l'image grâce à la différence de texture. A défaut de ces deux indicateurs primordiaux (s'il n'y avait pas de limite visible mer/terre), on se referait à la limite botanique (*mer/végétation*).

Les images ont été numérisées manuellement à partir de l'indicateur qui a représenté le mieux la ligne de référence du rivage. La numérisation a été faite via le logiciel Arc-Gis de version 10.4 à travers l'interface Arc-map et on a veillé à garder la même échelle de numérisation sur toutes les images ($1/500$). Cette dernière, à cette valeur minimise au maximum l'erreur qui pourrait se produire lors de la numérisation.

La position de la ligne instantanée est inhérente du niveau atteint par les marées sur l'estran. Elles déterminent la limite du jet de rive à un moment donné en fonction des conditions météo marines. C'est une ligne très mobile, dont la position sur l'estran fluctue au rythme du jet de rive (figure 8).



Figure 8: Extrait de l'orthophoto de 2010, numérisation à partir de la ligne instantanée

La limite sable mouillé / sable sec correspond à l'extrémité du jet de rive à marée haute et durant la marée descendante. Elle migre vers la mer et marque la limite côté terre des sables assombris par le déferlement (figure 9).



Figure 9: Extrait de l'orthophoto de 2010, numérisation à partir de la limite sable mouillé/ sable sec

Dans les zones où il n'y a que de falaise, on a donc numérisé les limites de falaise comme trait de côte (Figure 10).



Figure 10: Extrait de l'orthophoto de 2010, numérisation à partir de la limite falaise

Ce sont des limites de végétation qui se rapportent à des indicateurs biologiques comme marqueurs de la position du trait de côte. Ainsi, sur les littoraux meubles, on a considéré la limite inférieure de la pelouse. Sinon, on a considéré la couverture végétale pérenne (*arbustes, arbres*) (figure 11).



Figure 11: Extrait de l'orthophoto de 2010, numérisation à partir de la limite de végétation

3.3.3.2- Analyse spatiale des données

a) Les statistiques d'évolution du trait de côte

Après les processus de numérisation des positions du trait de côte, celles-ci ont été comparées entre elles via l'extension DSAS version 5.0 afin d'apprécier leurs variations d'une période à une autre. Le calcul exige au préalable que toutes les positions de rivage soient d'abord fusionnées (shoreline) et associées à une ligne de base (Baseline). Cette dernière a été aussi numérisée et placée exclusivement à gauche à 500 m des traits fusionnés.

Les calculs statistiques

Cette étape s'est faite d'abord par la création de transects, puis par le calcul de l'indice (*EPR*) du tronçon côtier et par la représentation cartographique et graphique des tables attributaires de l'indice calculé.

Les transects

Les transects sont des lignes perpendiculaires à la ligne de base et sécantes aux shorelines. On les a générés à chaque 50 m sur la ligne côtière. Ils doivent impérativement couper les shorelines (les traits de côte fusionnés) afin que le DSAS puisse produire les taux de l'évolution de la ligne côtière (figure 12).

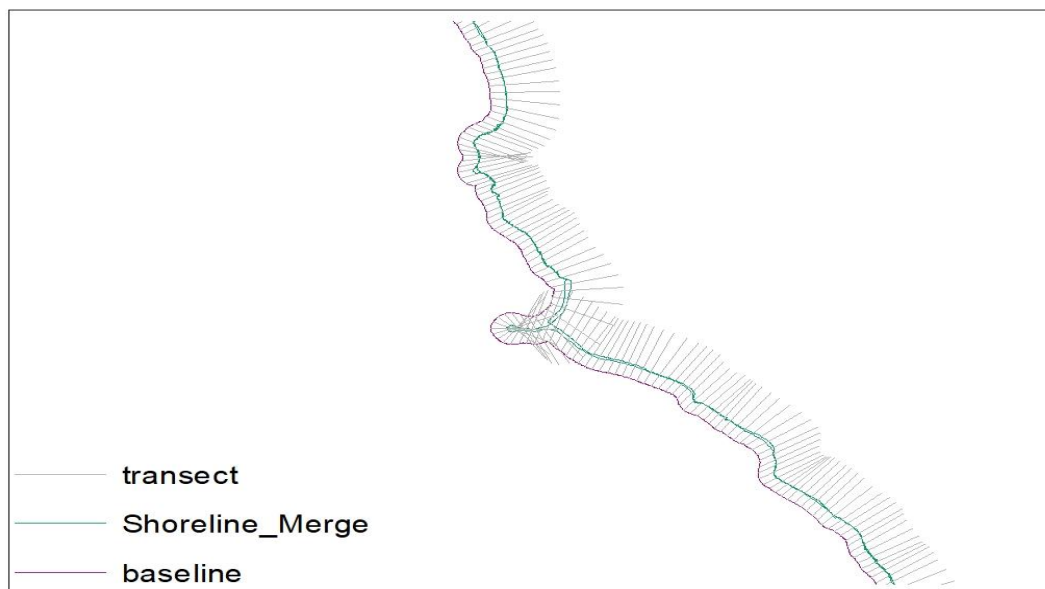


Figure 12: Présentation de la ligne de base (baseline), les shorelines et les transects

Calcul des indices

Le calcul des indices consiste à faire ressortir dans les tables attributaires les données des EPR calculées par DSAS. En effet, c'est l'analyse automatique des valeurs des transects qui a permis de définir les secteurs d'évolution et d'en calculer les valeurs moyennes.

➤ Taux de point final (EPR)

Le taux de point final (EPR) est calculé en divisant le déplacement du rivage par le temps écoulé entre le rivage le plus ancien et le plus récent. Il s'exprime en

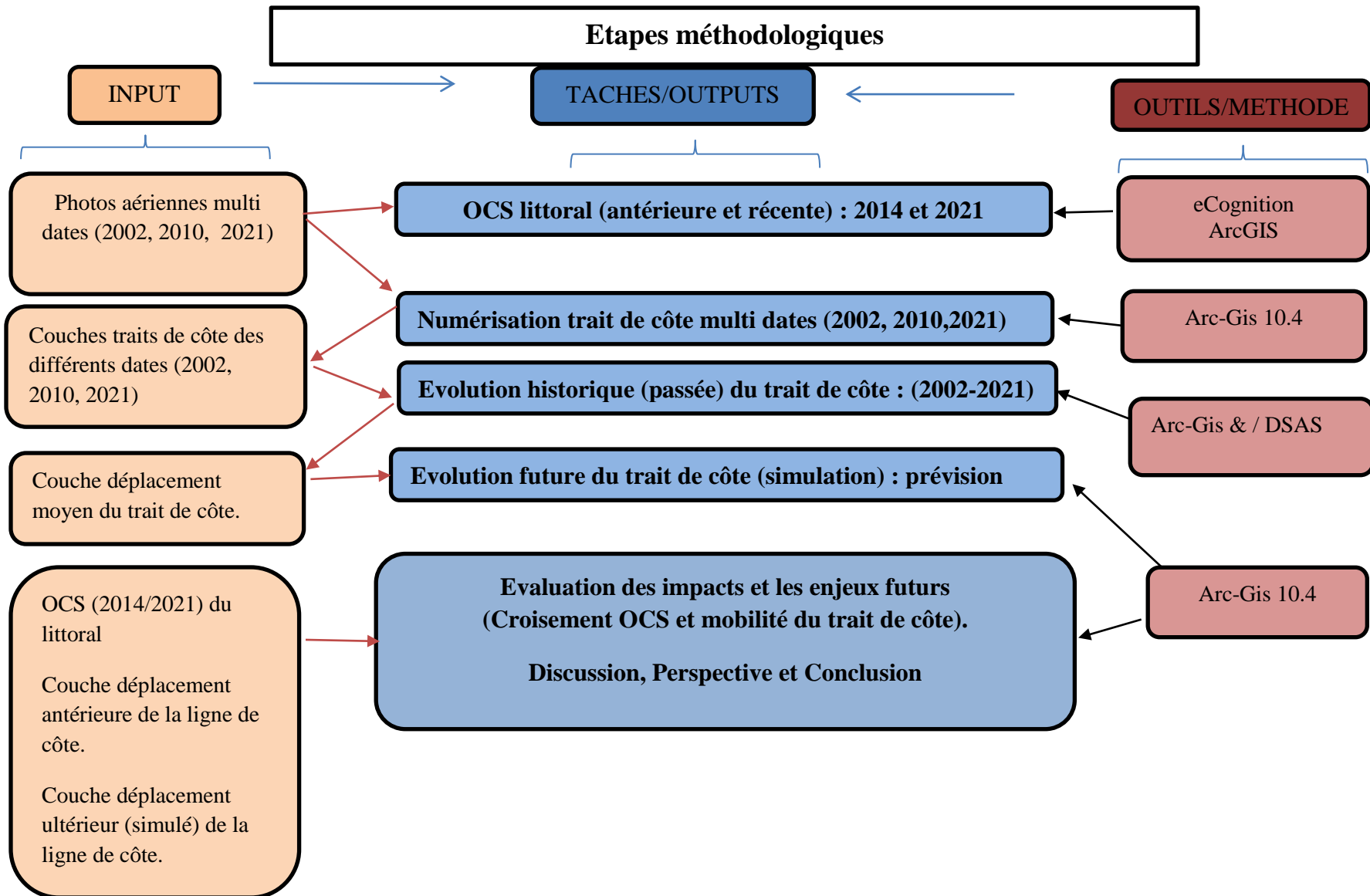
m/an. Les principaux avantages de l'EPR sont la facilité de calcul. L'inconvénient est qu'il ne tient pas compte des positions intermédiaires entre les deux dates considérées. Des changements de tendance (d'accrétion vers l'érosion, érosion vers accrétion ou autres), peuvent passer inaperçus (Dolan et al., 1991).

b) Prévision et enjeux de l'évolution du trait de côte de la commune de port-Salut et de Roche-a-Bateau (horizon 2040)

L'outil Buffer du logiciel Arc-Gis de version 10.4 a permis d'estimer la position du trait de côte. En effet, à partir du taux moyen de l'évolution du trait de côte des zones critiques, on serait en mesure de faire une estimation par anticipation au nouveau trait de côte fictif de ces zones pour les 2 prochaines décennies (2040).

Une analyse entre tous les déplacements antérieurs de la ligne de côte et l'occupation du sol de 2014 a permis d'évaluer les impacts réels de la cinétique côtière sur les différents éléments du littoral. Ensuite un croisement entre l'occupation actuelle (ou récente) et les évolutions prévues pour la ligne de côte (toutes choses étant égales par ailleurs) a aussi permis d'évaluer les enjeux pour le futur.

3.4- SCHEMA RECAPITULATIF DE LA METHODOLOGIE DE L'ETUDE



4-Résultats et discussions

4.1-Cartographie multitudes des positions du trait de côte

La figure 13 ci-dessous présente la cartographie des positions du trait de côte pour les années 2002 à 2021. Ces lignes de côte ont été numérisées directement sur les images préalablement géoréférencées correspondant à ces différentes dates, à partir des indicateurs jugés les plus pertinents (*la ligne instantanée de la mer, limite sable mouillé, limite falaise, limite de végétation*).

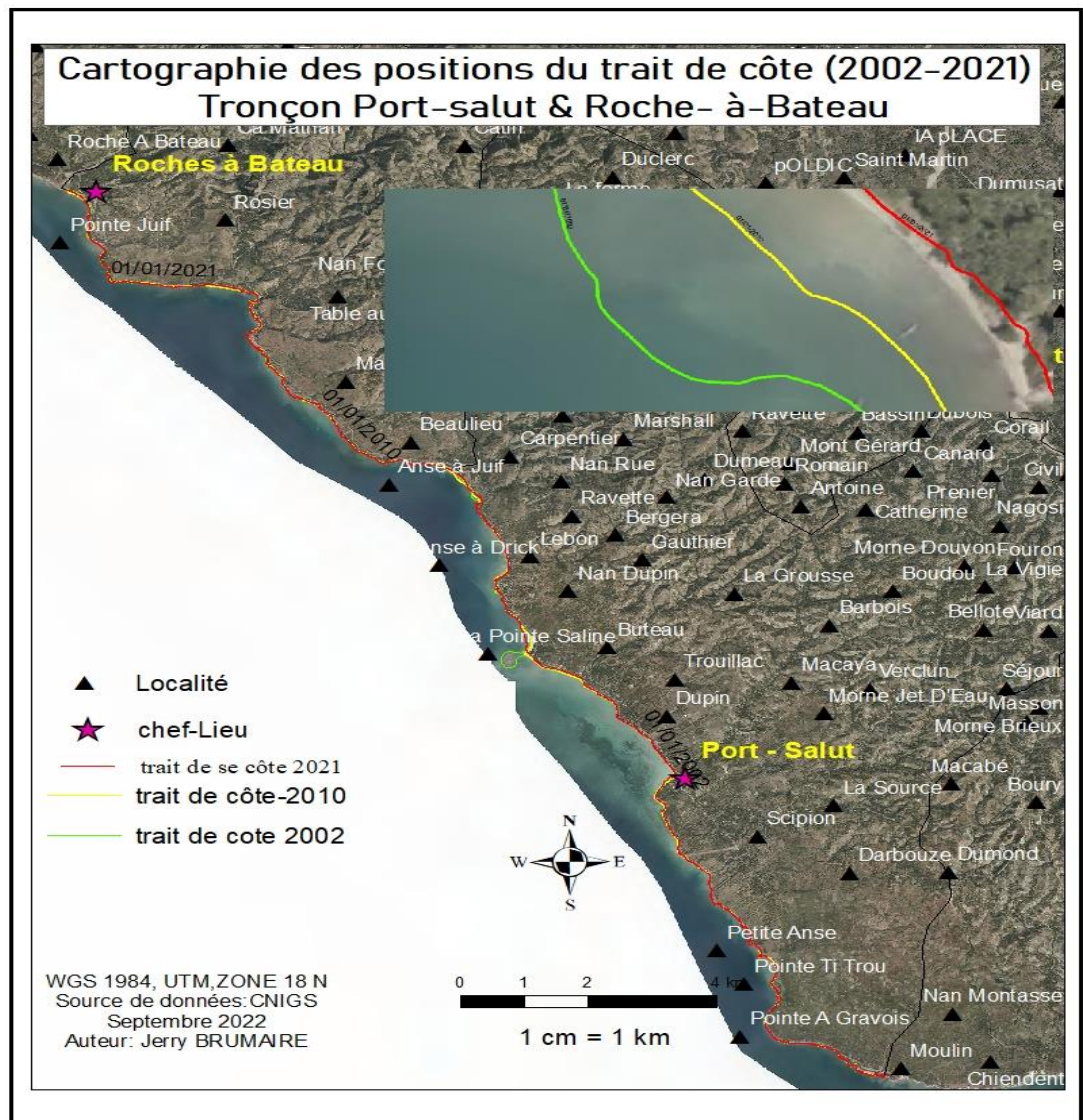


Figure 13: Positions du trait de côte durant la période d'étude (2002-2021)

On constate à vue d'œil un décalage évident entre le tracé de la ligne de côte de 2002, (ou de 2010) et celui de 2021 (plus important sur certaines zones que d'autres) indiquant une évolution allant globalement dans le sens de l'érosion côtière. La vitesse de cette évolution en différents points du tronçon a été mesurée à l'aide des outils géospatiaux et est présentée dans la section 4.3, ainsi que l'impact de cette évolution sur l'occupation du littoral dans la section 4.4.

4.2- Cartographie diachronique de l'occupation du sol sur le littoral Port-Salut_Roche- à-Bateau (2014 /2021)

Pour illustrer l'impact actuel du recul de la côte sur le littoral, pendant la période d'étude, il est important de connaître au préalable la situation d'occupation du sol de la zone d'étude. De ce fait, les données de l'occupation du sol de 2014 (*déjà disponible*) a permis de faire un état des lieux du littoral pour cette année (figure 14)

De même pour évaluer les enjeux liés à une évolution future de la ligne de côte fictive (*qu'on a simulée*) on a dû produire une occupation du sol récente «2021 » à partir d'une image satellite à très haute résolution (figure 15).

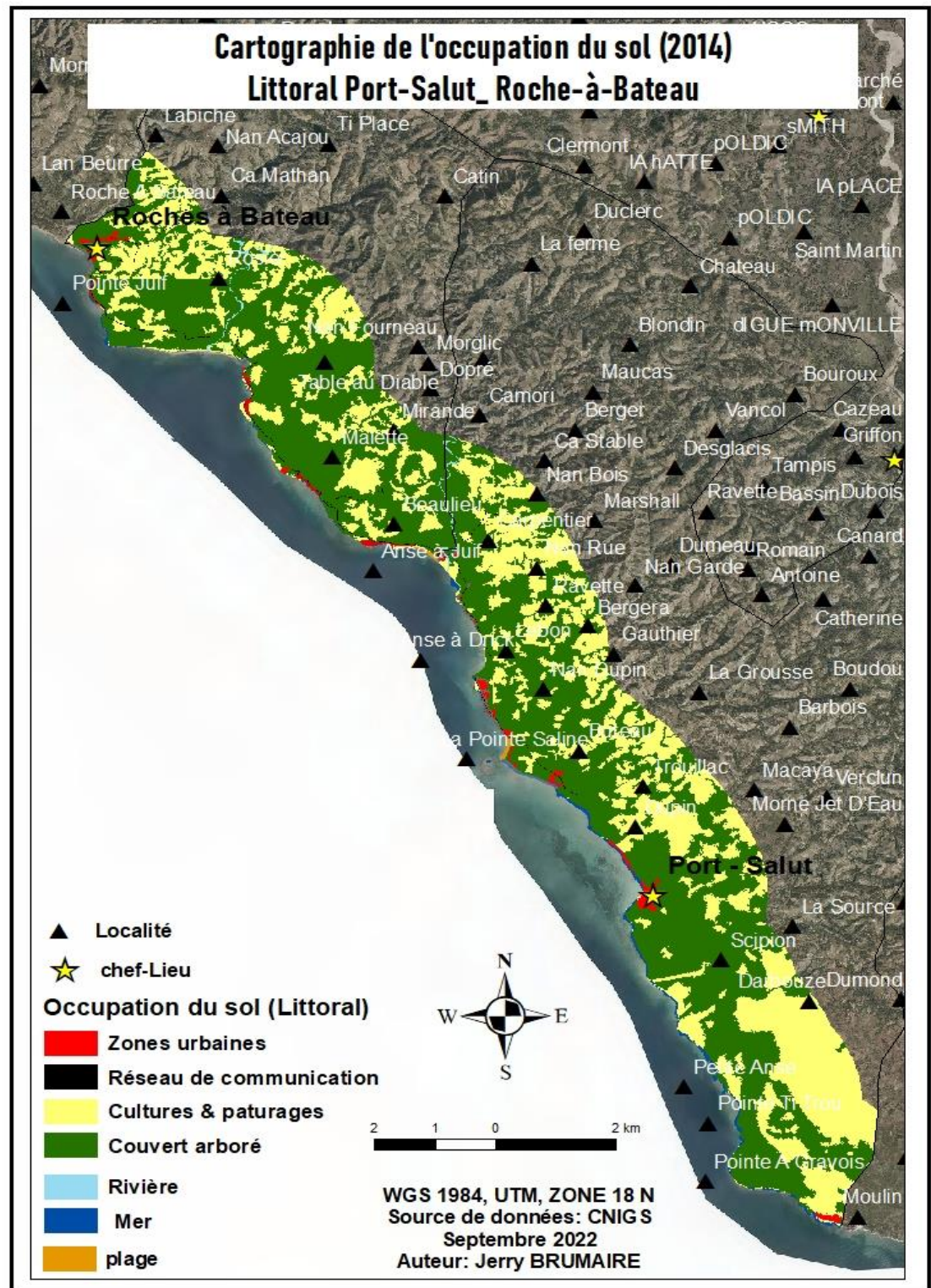


Figure 14: Occupation du sol (2014) du littoral de Port-Salut et de Roche-à-Bateau

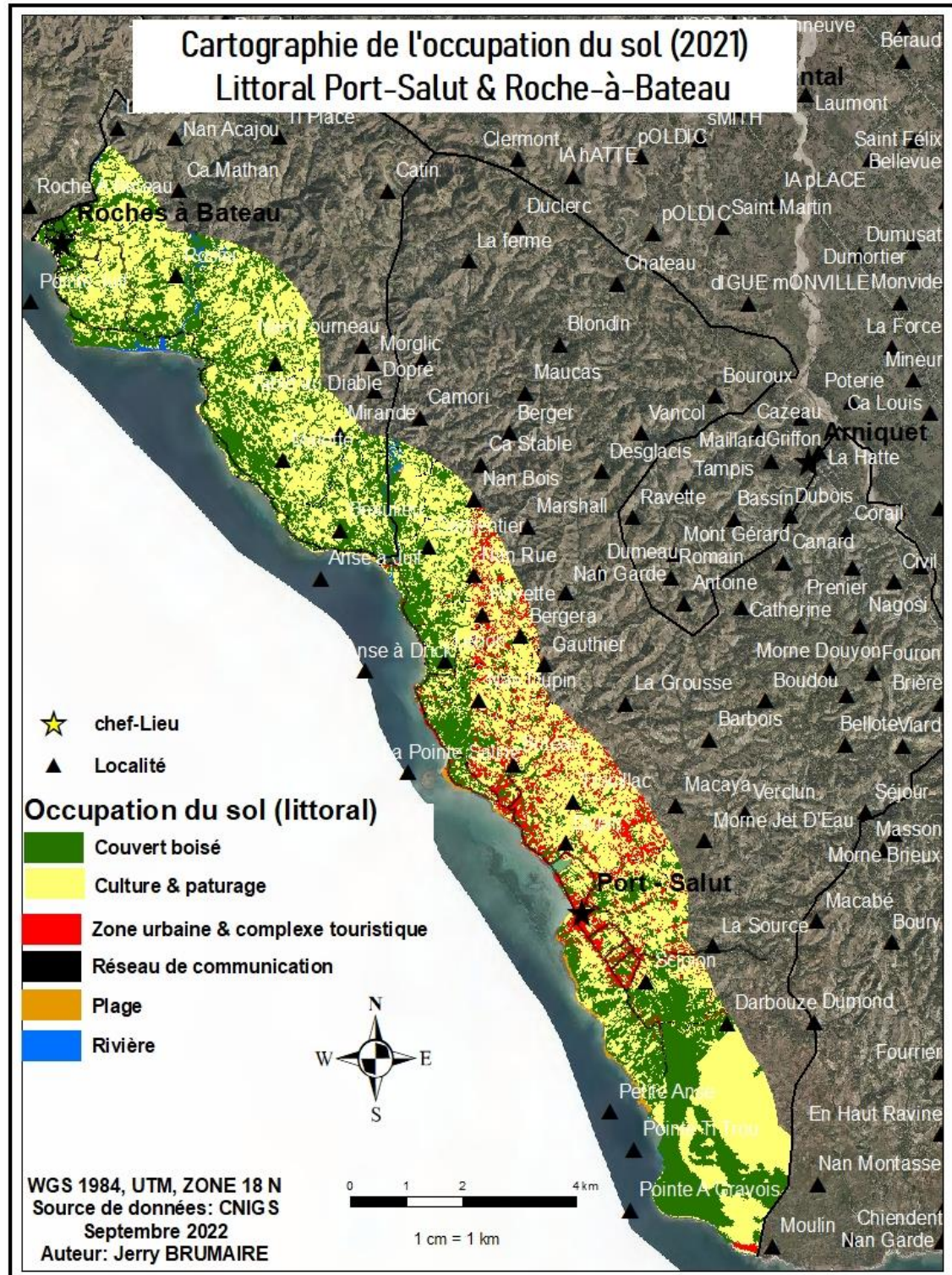


Figure 15: Occupation du sol (2021) du littoral de Port-Salut et de Roche-à-Bateau

L'analyse de la figure (16) et du tableau (5), montre qu'entre 2014 et 2021, il y a des évolutions de certaines classes d'occupation du sol au niveau du littoral de Port-Salut_Roche- à -Bateau. Ces évolutions sont tant progressives que régressives. Avec un littoral d'une superficie totale de 5388 ha, la classe « culture » et « pâturage » (regroupant *végétation à dominance herbacée, cultures agricoles sans couvert arboré et culture sous couvert*) est passée de 39.77 % de la superficie totale du littoral en 2014, à 66 % en 2021.

Quant à la classe « couvert arboré » qui regroupe (*agroforesterie, végétation arbustive et l'arboriculture*), elle passe de 57 % à 29 % entre 2014 et 2021

On observe également une augmentation de la superficie de la classe zone urbaine (regroupant *maisons, complexes touristiques*) démontrant que le littoral devient de plus en plus anthropisé. En effet, cette classe a évolué de 1.36 % à 3.64% de la superficie totale entre 2014 et 2021.

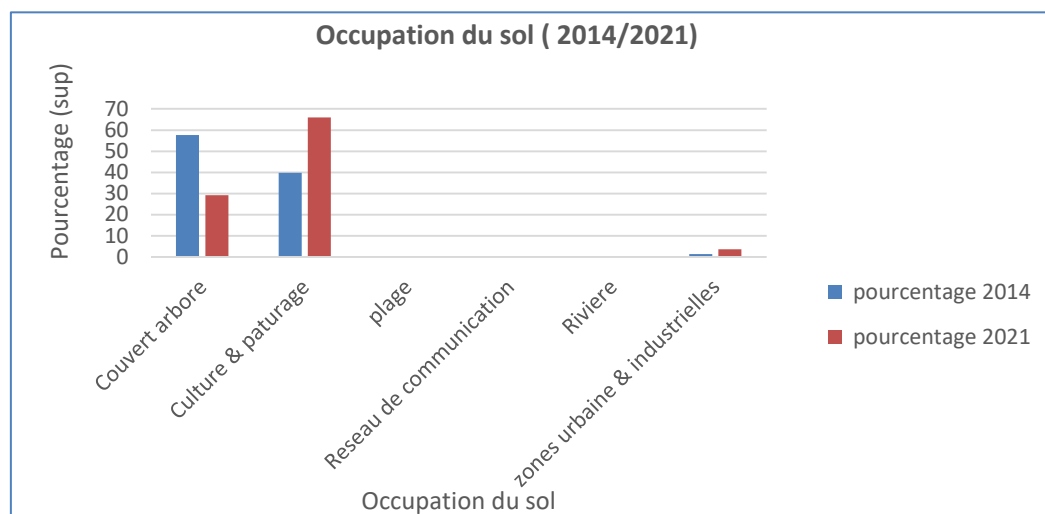


Figure 16: Représentation des classes d'occupation du sol du littoral

Tableau 5: Statistique de l'occupation du sol de la bande cotiere (2014/2021)

			<i>Classe d'occupation de sol</i>					
			<i>C₁</i>	<i>C₂</i>	<i>C₃</i>	<i>C₄</i>	<i>C₅</i>	<i>C₆</i>
<i>Superficie des classes d'occupation de sol</i>	2014	ha	72.29	2099.13	3044.02	17.75	16.93	27.13
		%	1.369	39.77	57.68	0.33	0.32	0.51
	2021	ha	196.44	3557.48	1573	17.75	16.93	27.11
		%	3.64	66	29.20	0,33	0.32	0.51

Légende : ha : hectare ; % : Pourcentage ; C1 : Zones urbaines & industrielles ; C2 : Culture & pâturage ; C3 : Couvert arboré ; C4 : Réseau de communication ; C5 : rivière ; C6 : plage ;

4.3-Mesure de la cinétique du trait de côte durant les deux dernières décennies (2000 -2020) ;

Pour une meilleure compréhension de la cinétique du tronçon côtier et des enjeux qui peuvent en découler, on a effectué la mesure du taux de déplacement en deux temps. La première mesure s'est faite pour la période de 2002 à 2010 et la seconde mesure correspond à la période de 2010 à 2021.

4.3.1-Variation spatio-temporelle du trait de côte pour la période de 2002-2010

Pour la période de 2002 à 2010 on a remarqué que 71 % du tronçon côtier ont été en situation d'érosion (figure 17). Cette érosion côtière évolue à une vitesse moyenne de 5 m/an, ce qui induit un déplacement maximal de 40 m dans certaines parties du littoral (figure 19). Toutefois 29 % du tronçon côtier ont été en accrétion et les dépôts de sédiments se sont étalés jusqu'à 16 m de distance dans la mer avec un taux d'évolution moyen de 2m/an (figure 19). Selon une étude menée par CREOCEAN (2015), le tronçon côtier Port-Salut_Rche-à-Bateau a été déstabilisé par des successions des houles au cours de la période de 2004 à 2007. Donc les déstabilisations causées par les vagues seraient à l'origine de cette érosion côtière.

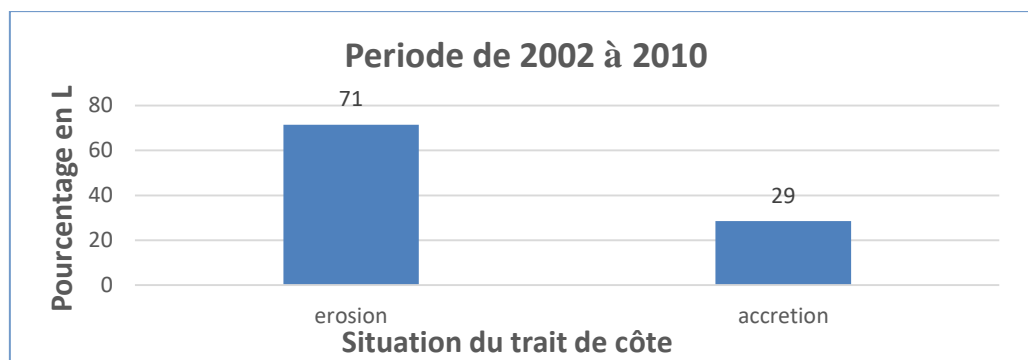


Figure 17: Proportion de chaque situation au niveau du trait de côte 2002-2010

Dans la localité Anse-a-Juif et Pointe-a-Juif, il y a eu une intensification remarquable de la sédimentation. Les dépôts de sédiments s'étendent jusqu'à 44 m vers la mer avec une vitesse de 5,57 m/an. (figure 19).

Durant cette même période, au niveau de la commune de Port-salut précisément dans la localité de Pointe Saline, on a constaté la disparition d'un tombolo. Ce cordon de sédiment qui s'étend dans la mer, qui mesurait plus de 330 m a été détruit par une forte érosion de vitesse moyenne de 41.68 m/an. (Figure 18)

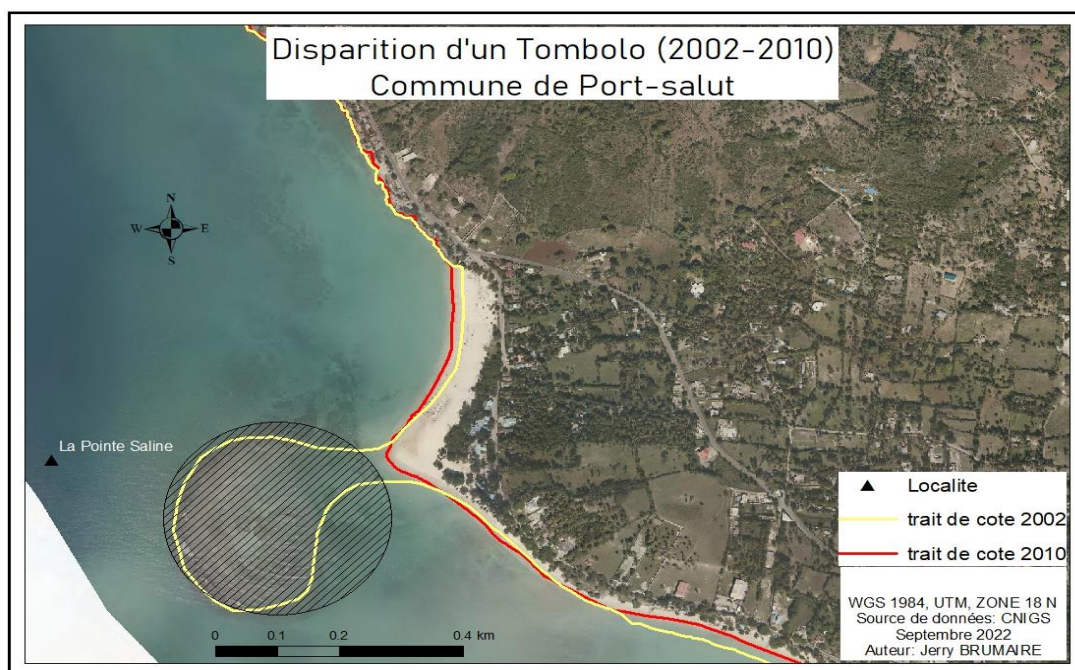


Figure 18: Disparition d'un tombolo au cours de la période de 2002 à 2010 par une forte érosion

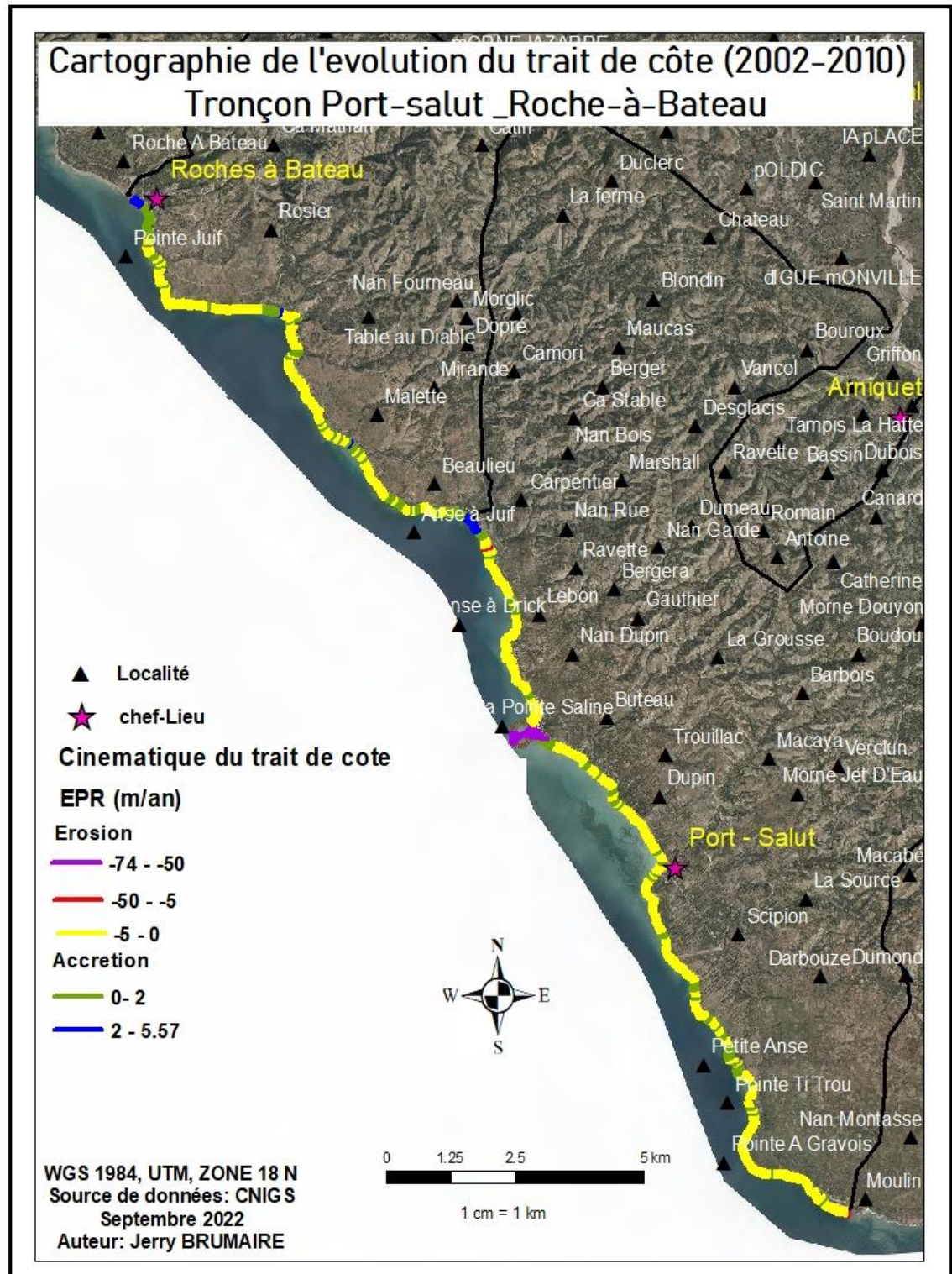


Figure 19: Evolution du trait de côte sur le tronçon Port-Salut_Roche-à-Bateau (2002-2010)

Le résultat de l'évolution du trait côte au cours de la première période de l'étude (2002-2010) est un peu similaire à la première période (1968-1986) d'une étude qui a été menée au Sénégal plus particulièrement sur le tronçon côtier de Casamance. Ils ont enregistré qu'une très grande partie de ce tronçon côtier a été en érosion et la distance érodée était environ 54 m, soit une perte de 3,02 m/an (MAMADOU, 2019)

Une autre étude sur la dynamique du trait de côte a été réalisée sur une portion de la côte Ouest du Cameroun et le résultat de la première période (2000-2005) était encore similaire à cette étude. En effet, ils ont enregistré que quasiment toute la ligne côtière a été en situation d'érosion à une vitesse de -2.52 m/an pour une distance de 38,2 m (ARNAUD, 2019).

Pourtant, au Bénin à Cotonou, une étude sur la dynamique du trait de côte a été aussi réalisée et le résultat pour la première période (1955-2002) était différent à ce travail et des deux autres. L'étude à Cotonou a montré une stabilité du trait de côte dans les 2 premiers kilomètres de l'Ouest vers l'Est. Par la suite, une accrétion a dominé le trait de côte jusqu'à la rencontre d'un épi d'arrêt de sable (*une structure de protection du littoral*). A l'autre bord de la structure, à l'est, il a y eu une érosion plus ou moins importante. Elle a été d'abord -3,97 m/an puis elle a intensifié avec une vitesse moyenne de -10,13 m/an. Donc la présence de la structure de protection a inversé la tendance érosive à l'ouest de ce tronçon côtier.

4.3.2-Variation spatio-temporelle du trait de côte de 2010-2021

Il était intéressant d'aller voir s'il y a amélioration ou aggravation de la situation dans la deuxième moitié de la période d'étude, afin de comprendre les éventuelles fluctuations de la dynamique côtière sur la zone d'étude

La tendance évolutive du trait de côte pendant la période de 2010 à 2021 était différente de celle de la période précédente. Contrairement à la situation d'érosion qui a dominé le littoral durant la période de 2002 à 2010, une diminution des zones érodées a été constatée ainsi qu'une augmentation des zones de sédimentation. En effet, on a remarqué que 53 % du tronçon était en accrétion alors que 47 % était en situation d'érosion. (Figure 20). Les zones sédimentées ont reçu des sédiments jusqu'à 22 m vers la mer pour un taux d'évolution de 2m/an alors que les parties en érosion s'érodent jusqu'à 55 m avec un taux d'évolution de 5 m/an vers le littoral (figure 21). La bande littorale Port-Salut_Roche- à-Bateau était caractérisée par une déforestation pour la culture du vétiver (CREOCEAN, 2015). En effet, la cartographie diachronique de l'occupation du sol du littoral Port-Salut_Roche- à-Bateau démontre que la superficie des zones en couvert arboré a régressé pour faire place aux zones de culture. De ce fait, cette déforestation qui entraîne la dégradation des versants serait l'une des causes de la sédimentation de certaines zones du tronçon côtier.

Dans la localité d'Anse- à-Juif, il y a eu une zone très instable. En effet le trait de côte a connu dans cette zone une érosion remarquable. Car le littoral s'est érodé jusqu'à 300 m avec une vitesse de 30 m/an. Alors que durant la période précédente, elle s'y trouvait en état d'accrétion. Dans la localité de Pointe Saline, il y a eu une déposition de sédiments qui s'étendent jusqu'à plus de 80 m vers la mer (figure 21).

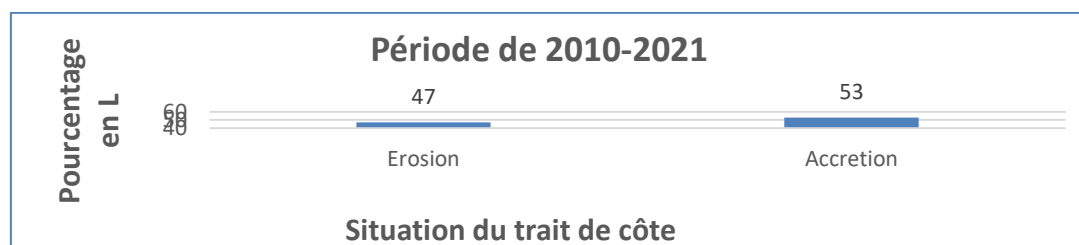


Figure 20: Proportion de chaque situation au niveau du trait de côte de 2010-2021

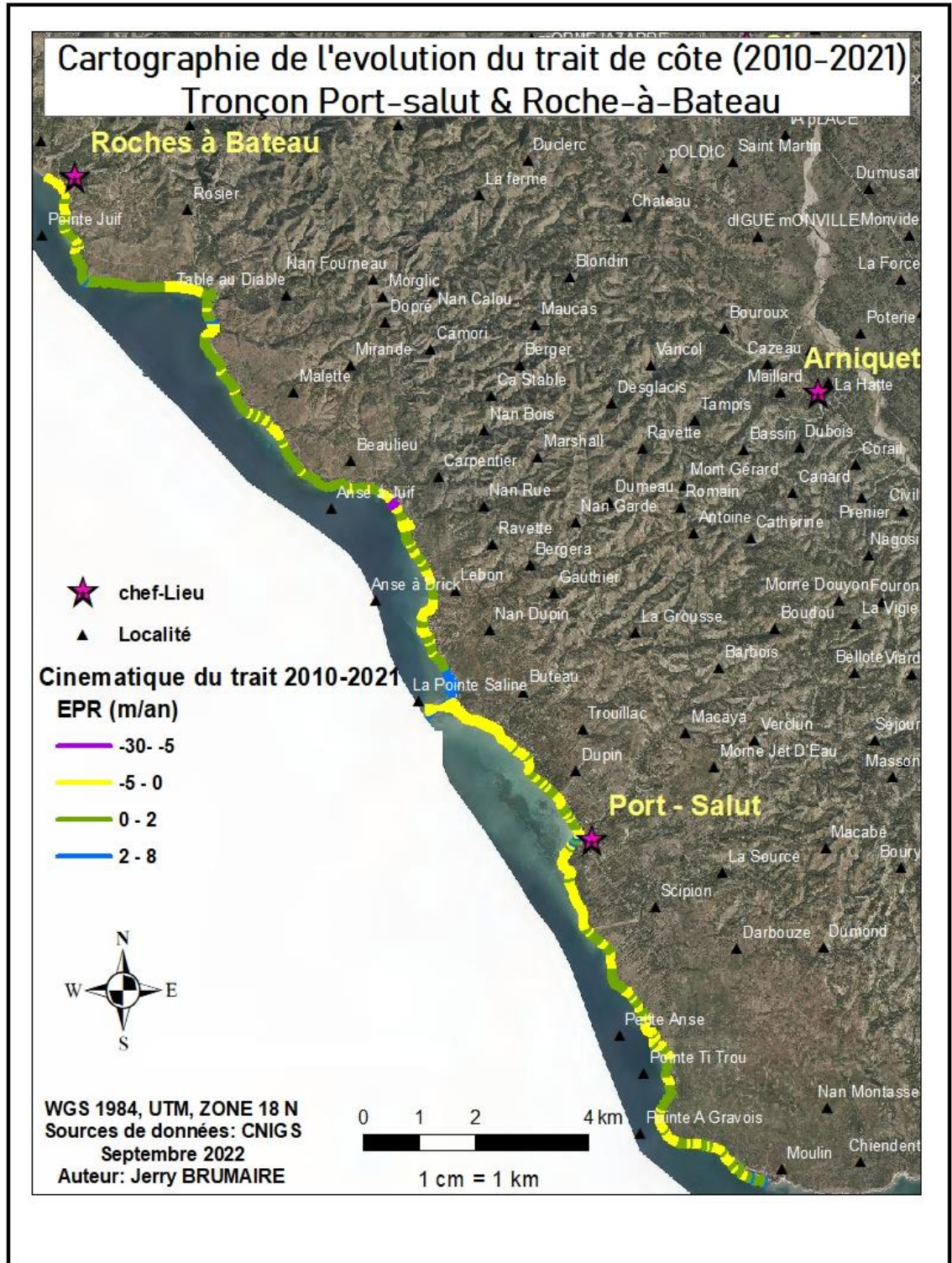


Figure 21: Evolution du trait de côte sur le tronçon Port-Salut_Roche-à-Bateau (2010-2021)

Comparativement à la deuxième période de cette étude au cours de laquelle le trait de côte dans sa plus grande proportion était en situation d'accrétion. Au niveau du tronçon côtier de Casamance au Sénégal durant la deuxième période allant de 1986 à 2004, une très grande partie de ce trait de côte a été toujours caractérisée par une situation d'érosion. Cette érosion a détruit plus de 47 m de ce littoral avec une vitesse de 2.66 m/an. (MAMADOU,2019)

Quant à la portion de la côte Ouest du Cameroun, au cours de sa deuxième période d'étude allant de 2005 à 2008, elle a aussi présenté une situation contraire à celle de la deuxième période de notre travail. En effet Ils ont enregistré une situation d'érosion sur presque toute la longueur de la ligne côtière. La vitesse moyenne était de 3.5m/an pour une distance d'érosion de 10.5 m (ARNAURD, 2019).

Cependant au Bénin à Cotonou, pour la deuxième période allant de 2002 à 2013, les résultats obtenus étaient encore différents à la deuxième période de cette étude et ceux des autres études. Car ils ont remarqué que la situation d'accrétion a persisté en amont de la structure de protection du littoral avec une vitesse variante entre 0,09 et 17 m/an. À l'est du tronçon, à l'autre bord de la structure il y a eu une forte érosion atteignant une vitesse moyenne de 9,6 m/an pour une distance d'érosion de 110 mètres vers le littoral (ASSOGBA. 2018).

4.3.3-Analyse d'impacts et évolution du phénomène d'érosion sur le tronçon d'étude

Le recul du trait de côte a entraîné des pertes assez considérables au niveau du littoral. Certaines zones d'occupation du sol d'intérêt économique (plages, zones cultivées) ainsi que des habitations humaines ont été détruites ou envahies par les eaux pendant les épisodes de marées de vives eaux. L'outil SIG a permis d'évaluer avec plus ou moins de précision l'ampleur de ces pertes pour la période allant de 2014 à 2021. En effet, en superposant le tracé côtier de 2021 sur la classification de 2014, on a été en mesure d'effectuer une statistique de ces pertes d'occupation du sol.

Ainsi environ 8 ha sur 5388 ha soit 0.15 % de la superficie du littoral a été submergée et passée dans le domaine maritime, incluant des parcelles agricoles, l'environnement naturel et même des maisons (Figure 22 et tableau 6).

Il est donc intéressant d'envisager les impacts futurs de cette dynamique si elle continue dans le sens de l'érosion et si rien n'est fait pour modifier l'occupation du littoral dans un souci de protection civile

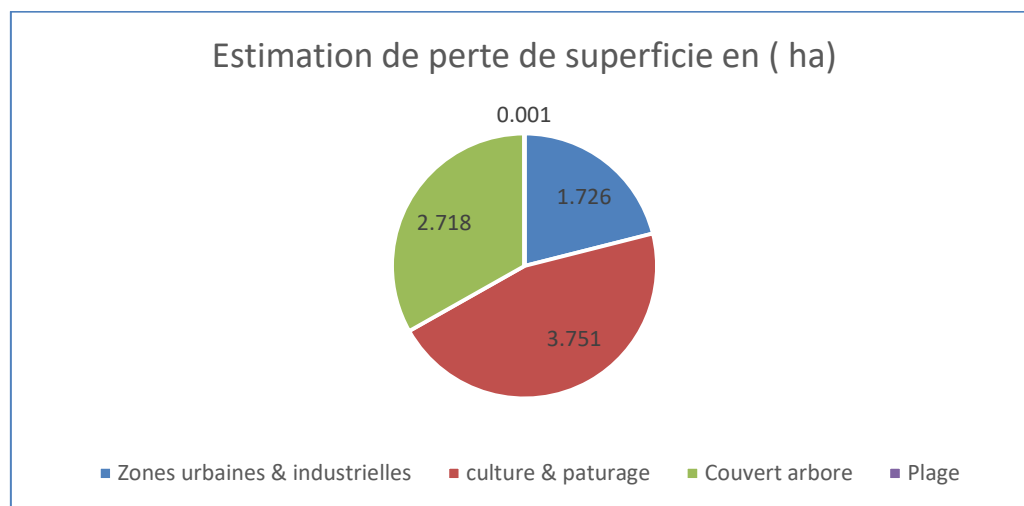


Figure 22 : superficie de chaque classe occupation du sol détruite par érosion côtière

Tableau 6: Occupation du littoral déjà détruite par l'érosion côtière

Occupation du sol déjà détruite par l'érosion côtière	Superficies (ha)
Zones urbaines	1.726
culture & pâturage	3.751
Couvert arbore	2.718
Plage	0.001
Superficie totale	8.20

4.4- Prévision et enjeux de l'évolution du trait de côte de la commune de Port-salut et du Roche- à-Bateau (horizon 2040)

Même si la situation semble meilleure après 2010 sur plusieurs secteurs du tronçon côtier Port-salut_Roche-à-Bateau. Au niveau de certaines localités de la commune de Port-Salut (*Point a Gravois, Point-Ti-Trou, Scipion, Dupin et Anse-a-Drick*) et de Roche- à-Bateau (*Point Juif, Nan fourneau et Beau Lieu*), une situation d'érosion accrue semble quand même persister ' «zones en érosion croissante» (figure 23). En se basant sur la vitesse moyenne de l'érosion de ces zones critiques (1 m/an) on peut plus ou moins prévoir quelle serait la position du trait de côte de ces zones en 2040 ainsi que les pertes en occupation du sol si celle-ci n'évolue pas beaucoup d'ici là et surtout si rien n'est fait pour inverser la tendance érosive (figure 24 et tableau 7).

La projection du trait de côte de 2040 a été réalisée sur arc-Gis en effectuant un buffer. On a donc considéré la moyenne « 1 m/an » des taux d'évolutions des zones critiques du trait côte (érosion croissante) ainsi que le nombre d'année qui s'écoulera jusqu'en 2040 « 19 ans » pour trouver la projection fictive du trait de côte. Donc la distance prévue (19 m) du trait de côte des zones critique a été déterminée par la formule de base de la vitesse ($vitesse = \frac{Distance}{Temps}$ $Distance = Vitesse * Temps$)

Cette même formule a été aussi utilisée sur la portion de la côte Ouest du Cameroun. Tout en considérant les mêmes critères précités. Avec une moyenne de vitesse de 1.09 m/an, ils ont enregistré qu'en 2028 le tronçon côtier de la côte Ouest du Cameroun reculerait de 10.90 m (ARNAURD, 2019).

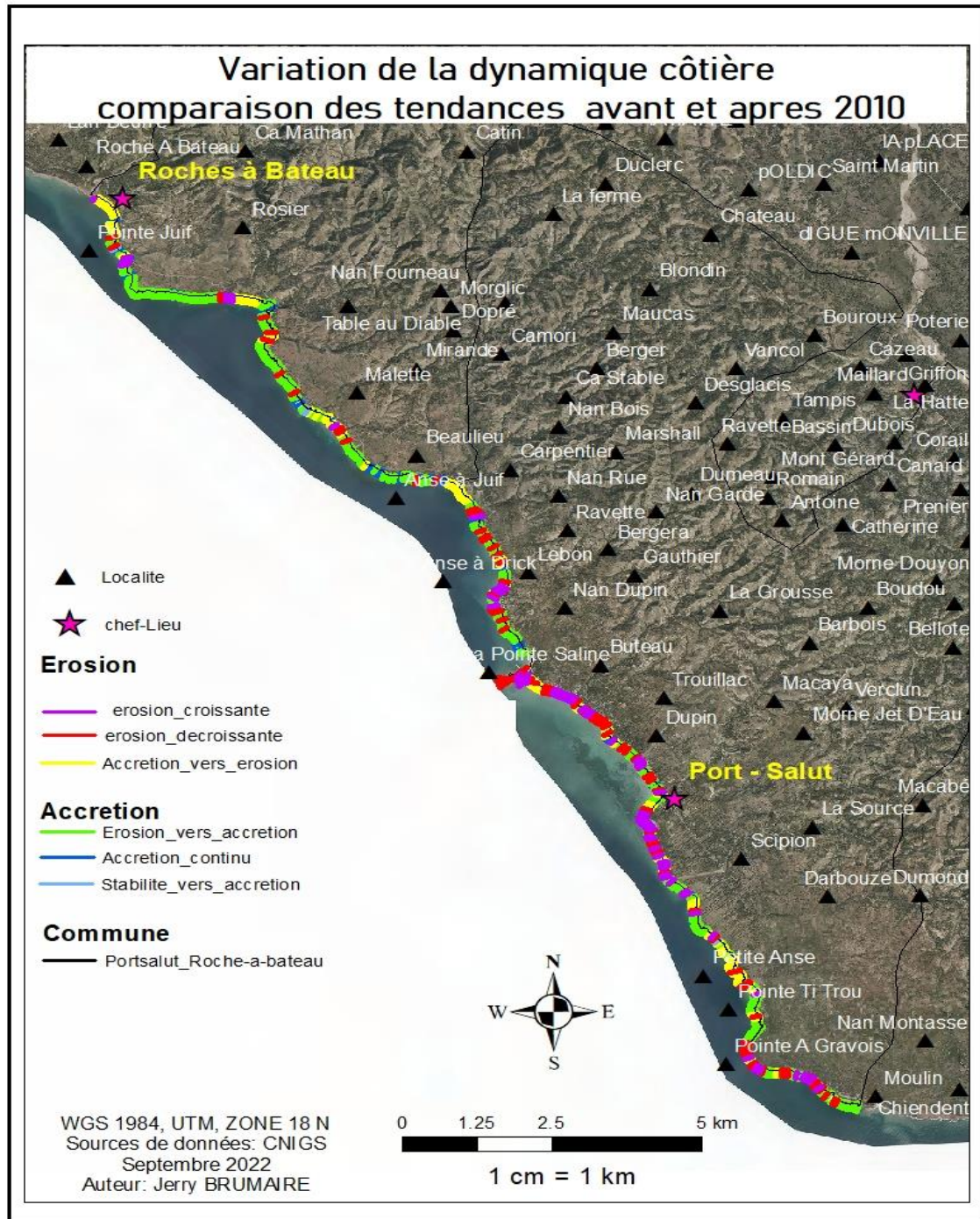


Figure 23 : Comparaison des tendances avant et après 2010

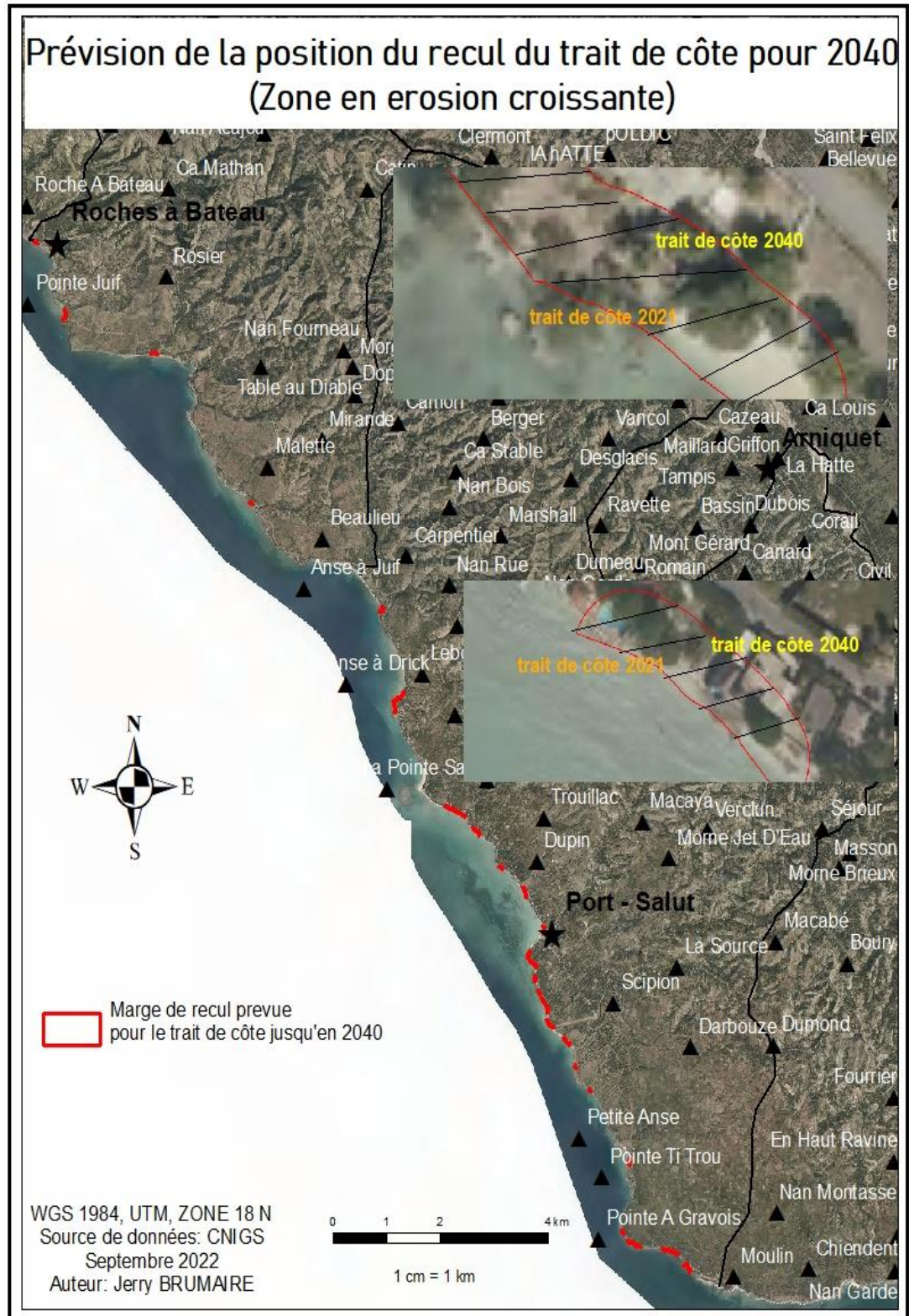


Figure24 : Prévision de la position du trait de côte de 2040

Selon cette projection sur 19 ans, on s'attend à un déplacement total de la ligne côtière de 19 m d'ici 2040. Cela correspond plus ou moins à une superficie totale de 11 ha qui pourraient être submergés. (figure 25, tableau 7).

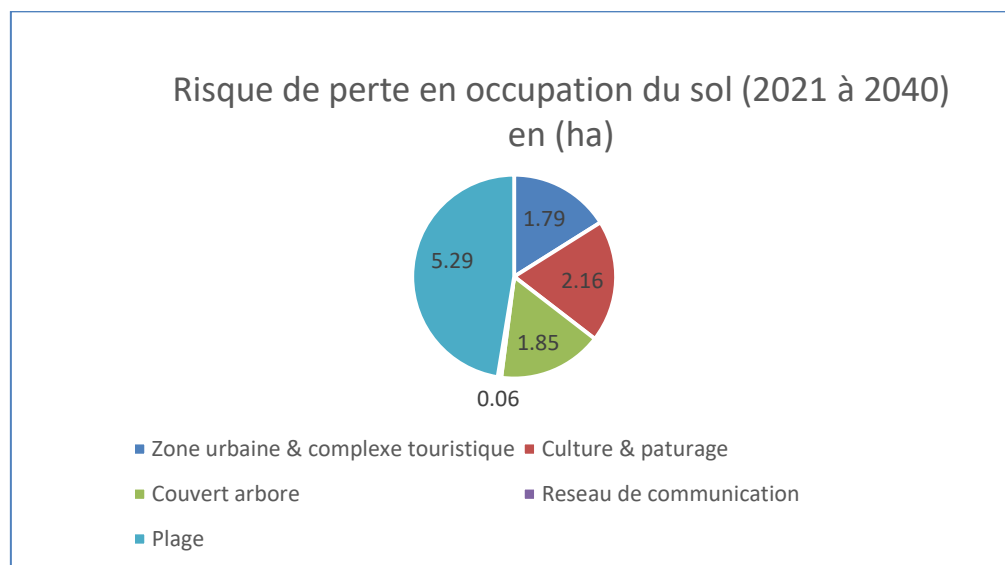


Figure25 : Risque en pertes occupation du sol 2021 à 2040

Tableau 7: Quantité de superficie d'occupation du sol à risque d'érosion côtière

Risque de perte d'occupation du sol	Superficie (ha)
Zone urbaine & complexe touristique	1.79
Culture & pâturage	2.16
Couvert arboré	1.85
Réseau de communication	0.06
Plage	5.29
Superficie totale	11.15

4.5- Considération sur l'hypothèse

Par rapport à la vulnérabilité du littoral haïtien, on avait présumé que le phénomène de l'érosion au niveau de la zone d'étude serait de plus en plus important avec le temps. Mais l'étude du comportement du littoral avant et après 2010 (a mis parcouru de l'intervalle d'étude) démontre que l'accélération de l'érosion côtière a diminué. En effet, les 71 % de points d'érosions (ou transects) identifiés dans la première période (2002-2010) sont passés à 47 %. Ainsi sur beaucoup de ces points qui étaient en cours d'érosion, la tendance s'est inversée vers une accrétion progressive. Il serait nécessaire de faire un diagnostic au niveau du Bassin Versant dans laquelle se trouve le site d'étude afin de mieux cerner la cause de cette sédimentation.

5- Conclusion et recommandations

5.1- Conclusion

L'étude de la dynamique évolutive du trait de côte de Port-salut à Roche-à-Bateau a été initiée dans le but de mesurer l'évolution de la ligne de rivage afin d'estimer les pertes d'occupation du sol et de prévoir les dégâts qui pourraient survenir dans les années à venir, et ce dans un souci d'encourager les autorités locales à mettre en place un plan de gestion durable pour cette bande côtière touristique.

Les données produites et traitées dans le cadre de cette étude montrent que cette bande côtière est fortement dynamique. En effet au cours de la première décennie, 71 % de ce tronçon côtier étaient sujets à l'érosion et 29 % avaient subi une sédimentation. Puis, en deuxième décennie, contrairement à ce que l'on a présupposé au début de l'étude (dans l'hypothèse de départ), il y a eu une inversion de tendance car 53 % du tronçon côtier se sont retrouvés exposés à la sédimentation contre seulement 47 % de points à tendance érosive (*l'hypothèse n'est pas confirmée*). Quoiqu'il en soit, pour cette deuxième période, les pertes d'occupation du sol de manière générale restent inquiétantes au niveau de ce littoral.

La projection du trait de côte sur certaines zones critiques a démontré qu'en 2040 que le trait de côte devrait reculer de 19 m vers la terre, et que sans aucune intervention de protection la perte de superficie de l'occupation du sol serait beaucoup plus considérable. Les infrastructures hôtelières, les plages, les zones urbaines et les campements des pêcheurs seraient détruits ou envahis lors des épisodes de marées de vives eaux. Pour éviter que cela devienne réalité et atténuer les risques d'érosion côtière, il serait opportun que les autorités locales (Asec, Casec, maires et les responsables du ministère du tourisme) prennent vraiment conscience de cette réalité et soient informées de l'existence de ces zones critiques du littoral.

Ce travail aura permis de disposer d'une première référence spatiale pour le suivi de l'évolution du trait de côte de Port-salut à Roche-A-Bateau ; toutefois, il mérite d'être complété par d'autres investigations de terrain, notamment : la perception des riverains sur l'érosion côtière, l'analyse des causes de la dynamique du trait de côte

(pour comprendre pourquoi il y a eu ralentissement de la tendance érosive après 2010 à certains endroits), et les poids de chaque facteur anthropique qui influence le plus cette dynamique côtière.

5.2- Recommandations

Pour réduire de manière considérable les risques liés au phénomène d'érosion côtière au niveau des zones côtières d'Haïti spécifiquement sur la bande littoral Port-salut_Roche-à-Bateau et de permettre la restauration de la dynamique naturelle des côtes. Il faut :

- ✦ Légiférer des lois relatives à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral d'Haïti.
- ✦ Instituer une cellule au sein du Ministère de l'Environnement qui participera dans l'élaboration et l'exécution des plans de gestion durable pour les zones côtières d'Haïti.
- ✦ Effectuer un suivi continu de l'état des côtes à travers des études régulières de la position du trait de côte et qu'un marégraphe soit installé au niveau des côtes pour surveiller l'évolution du niveau de la mer afin que les stratégies de gestion puissent tenir compte des variations qui surviendront avec le changement climatique
- ✦ Interdire certaines actions anthropiques (comme ; *l'extraction de sable pour la construction et d'aménagement privé, la destruction de la végétation servant à fixer les sédiments sableux du littoral et la circulation des véhicules au bord des plages*) qui accélèrent la dégradation du littoral.
- ✦ Entreprendre des travaux liés à la protection du littoral en mettant en place des structures de protection les mieux adaptées à la dynamique du territoire. On a mentionné quelques structures de protection dans l'annexe du document.

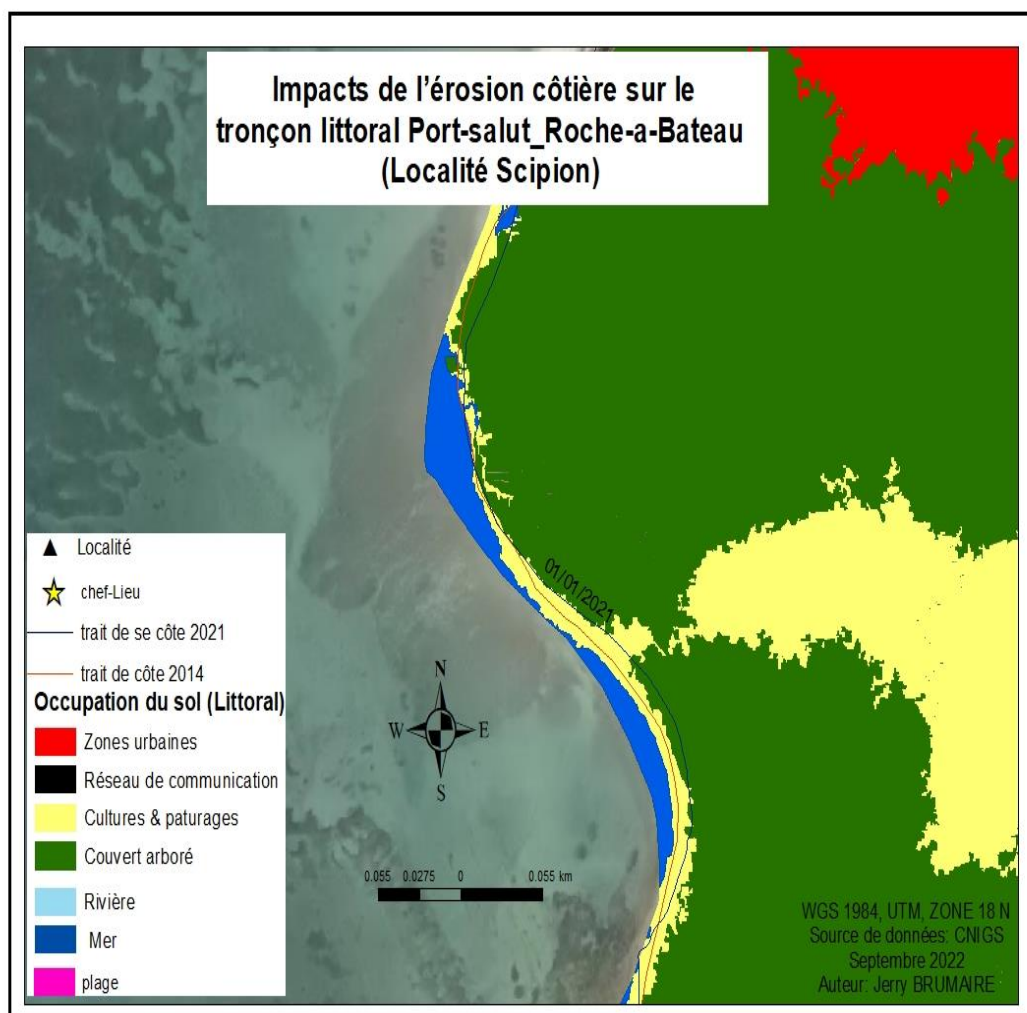
6- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

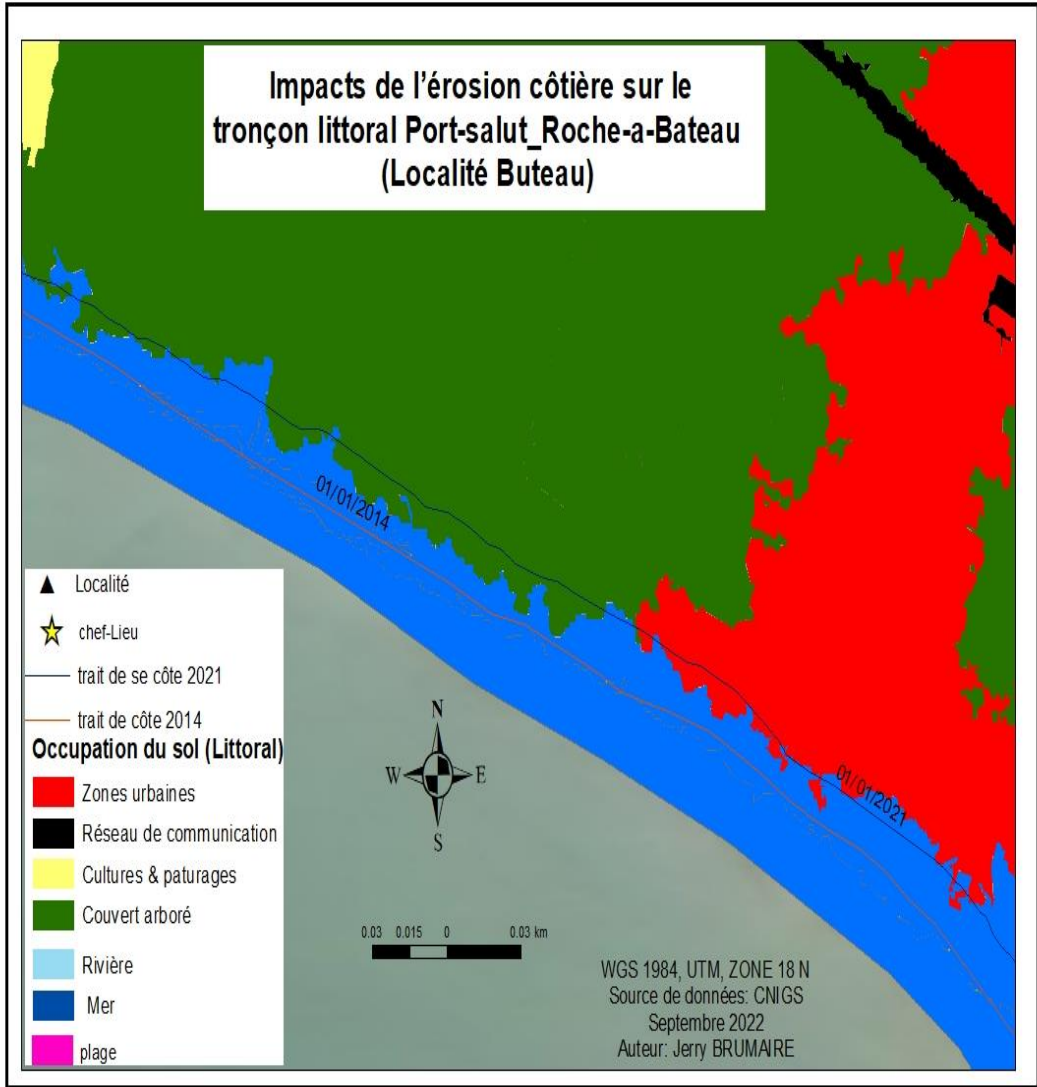
- 1- Agence Béninoise pour l'Environnement (ABE).2005. Cadre de Gestion des Risques Environnementaux Côtière et Marine du Bénin. 55 p
- 2- ARNAUD, K.K. 2019. Modelisation de la Dynamique du Trait de Côte sur une Portion de la Côte Ouest Cameroun Allant de Batoke à Seme Beach par Imagerie Landsat de 1979 à 2018
- 3- ASSOGBA, L. 2018. Etude de la dynamique du trait de côte et des stratégies de gestion du risque d'érosion côtière cas de Cotonou au Bénin de 1955 à 2018. mémoire université, science et gestion de l'environnement. Université de Liège, (Liège, Belgique), 70p.
- 4- BERNATCHEZ, P. 2004. Impacts et causes de l'érosion côtière du Québec maritime. Résumés : 1er symposium Ouranos sur les changements climatiques (Montréal, 9 et 10 juin 2004).
- 5- BORLOO, J. L. 2009. À l'interface entre terre et mer, la gestion du trait de côte, versailles cedex, p 32-40.
- 6- BIRD E. C. F. 2007. Coastal geomorphology. An introduction. John WILEY and Sons Ltd, Chichester, 411 p.
- 7- BYRNES M. R., HILAND M.W. 1994 Shoreline position and nearshore bathymetric change.In (KRAUS N.C., GORMAN L.T., POPE J., Eds) Kings Bay coastal and estuarine monitoring and evaluation program. Army Corps of Engineers Technical Report, CERC-94- 9, p. 61 - 143.
- 8- CREOCEAN, 2015. La plage de Port-Salut Etude de faisabilité et planification pour la restauration. 52 P
- 9- Comité interministériel d'aménagement du territoire, (CIAT), 2012. Le littoral en Haïti[en ligne] consulte le 03 janvier 2021.Adresse URL. <http://ciat.gouv.ht/articles/le-littoral-en-haiti>
- 10- Comité ZIP Côte-Nord du Golfe. (CCG) 2006.L'érosion côtière et les impacts des méthodes de stabilisation sur l'environnement. sept île (quebec).42P
- 11- DOLAN, R., FENSTER, MS et HOLME, SJ, 1991, Analyse temporelle de la récession et de l'accrétion du littoral : Journal of Coastal Recherche, v. 7, p. 723–744

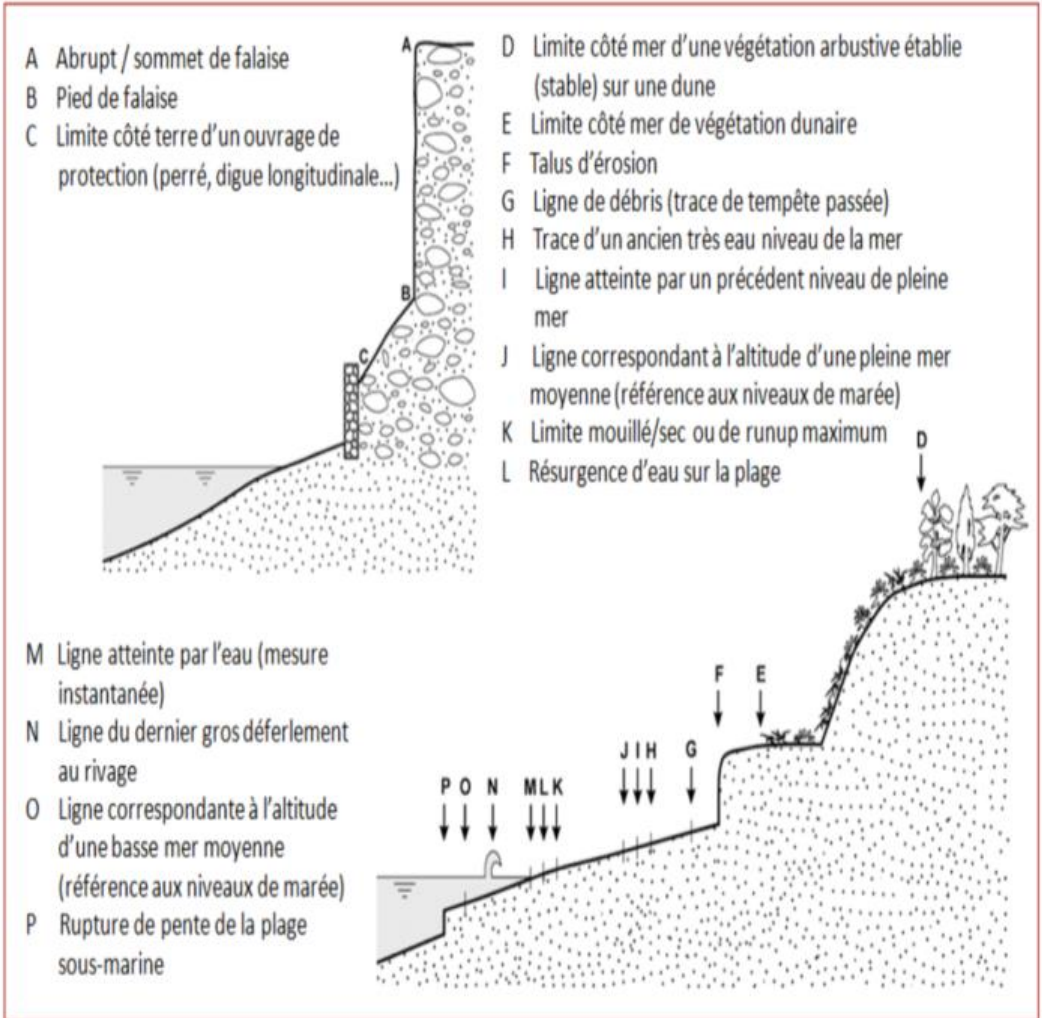
- 12- DOLAN, R. 1978. A new photogrammetric method for determining shoreline erosion. *Coastal Engineering*, vol. 2, p. 21 - 39.
- 13- D. LACROIX, O. MORA, N. de MENTIERE, A. BETHINGER. 2002. *La montée du niveau de la mer* : Paris, France. 167 p.
- 14- DIONNE, J.-C., 1961. *La morphologie littorale de la côte sud de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, entre Rivière-du-Loup et Matane*. Mémoire de maîtrise, Faculté des Lettres, Université de Montréal, 284 p
- 15- FAYE I, 2010. *Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'ouest) : approche régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyses de cartes anciennes*. Thèse de l'université de Bretagne occidentale, 321p.
- 16- FLETCHER C.H., ROONEY J.J., BARBEE M., LIM S.C., and RICHMOND B. 2003 Mapping shoreline change using digital orthophotogrammetry on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal, Research, Special Issue n ° 38*, pp 106 - 124.
- 17- Groupe experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 2019. *Rapport spécial du GIEC sur les océans et la cryosphère dans le contexte du changement climatique* 36 P.
- 18- HAYES, M.O. 1984 .*Beach erosion*. Res.Plan.Inst.Ed . Columbia, 130 p
- 19- IBRAHIMA F. 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*. Thèse d'université. Géographie. Université de Bretagne Occidentale. Brest, France. 322P.
- 20- LEATHERMAN, S. 2003. *Shoreline change mapping and management along the US East Coast*. *Journal of Coastal Research, Special Issue n°38*, p. 5 - 13.
- 21- MOORE L. J, 2000. *Shoreline mapping techniques*. *Journal of Coastal Research*, vol. 16, n ° 1, p. 111 - 124.
- 22- MORTON, RA. 1979. *Temporal and spatid variations in shoreline changes and their implications, examples from the Texas Gulf Coast*.*J. Sedim.Petrol.*, Tulsa (Okl.), 49 (4), 1101-1 112

- 23- ENTENTE INTERDEPARTEMENTALE POUR LA DEMOUSTICATION DU LITTORAL MEDITERRANEEN, (EID) méditerranée/ 2005. Connaissance et gestion de l'érosion du littoral. Lyon Cedex07.55p.
- 24- PALVADEAU, E. Erosion du littoral, EncyclopediaUniversalis.[en ligne],consulté le 12/01 2022.URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/erosion-du-littoral/>
- 25- PATRICK. B, 2015.Evaluation du trait de côte et du bilan sédimentaire littoral en baie de Wissant) par lidar aéroporté. Cedex, France 40 p
- 26- PASKOFF, R. 1993. Côtes en danger. Masson, Paris, 250 p.
- 27- Ministère de l'écologie du Développement durable, des transports et du logement(MEDDTL). 2002.Télédétection et modélisation du trait de côte et de sa cinématique.Orleans Cedex 2.202 p.
- 28- THIELER E.R., DANFORTH W.W. 1994 Historical shoreline mapping (II): Application of the digital shoreline mapping and analysis systems (DSMS / DSAS) to shoreline change mapping in Puerto Rico. Journal of Coastal Research, vol. 10, n°3, p. 600 - 620.
- 29- WELSTED J, 960. The physiography and evolution of the Natashquan terrace. Mémoire de maîtrise, Département de géographie, Université McGill, Montréal Canada, 101 p

ANNEXE







Type de littoral	Solutions	Avantages	Limites / Entretien
Dune	Les couvertures de débris végétaux	Accumulation des sédiments, limite l'érosion éolienne, limite les dommages liés au piétinement, développement des communautés végétales, solution durable.	Extension des couvertures limitée, surveillance périodique.
	Les brise-vents	Favorisent le dépôt sédimentaire transporté par le vent, mise en place simple, peut être combiné à d'autres méthodes, biodégradable, solution durable.	À éviter dans des zones trop fréquentées, à forte pente, secteurs chaotiques, etc, surveillance périodique, matériaux synthétiques polluants (si détruit par érosion)
	Les plantations	Principale espèce très résistante à l'ensablement, tolérance a salinité, etc . Solution durable	Dunes régulièrement entretenues, fréquentation non excessive

Falaise	Végétalisation	Réduit l'érosion des sols, impact paysager faible et peu coûteux (coût amorti)	Applicable sur des petites parcelles, végétaux non invasifs, entretien fréquent, système racinaire peut provoquer un effet balancier, solution non pérenne
	Contrefort béton ou maçonnerie	Amélioré la stabilité de la falaise, intervention simple, solution durable	Non adapté aux instabilités meubles, impact paysager fort, entretien régulier

Plage	Les ouvrages en géotextiles	Maintien du sable derrière l'ouvrage, réversible, structure souple, perméable, résistante aux UV, favorise l'installation de la végétation	Entretien régulier, impact sédimentaire équivalent aux ouvrages lourds (épaves, brise-lames), limitation de la circulation de l'eau, déficit sédimentaire en zones non protégées
	Les récifs artificiels	Diminution de l'énergie des vagues, ne dénature pas le paysage, enrichissement de la biodiversité, maintien de l'agitation de l'eau	Ne convient pas au rivage à fort marnage, suivi régulier

Plage	Les pieux hydrauliques	Dispersion de la houle, répartition équivalente du sable retenu sur chaque côté (pieux perméables)	Obstacles pour les promeneurs, risque pour la navigation (si détruit par l'érosion), en expérimentation d'où un suivi régulier, efficacité limitée selon le site
	L'alimentation artificielle des plages en sédiments (rechargement des plages)	Compense le déséquilibre du littoral, impact paysager nul, espace récréatif suffisant, limite les submersions, non néfaste pour les plages avoisinantes	Rechargements réguliers, nombreuses études préalables, entretien régulier, coûts des entretiens peuvent être importants, prélèvement des matériaux doit être proche du site