

**Érosion côtière : Connaître, prévenir et gérer les risques naturels
littoraux de la commune de Port-des-Barques.**

Analyse géospatiale de l'évolution du trait de côte de l'île Madame ainsi que la
côte rocheuse au nord de Port des Barques.

Sous la direction de Thierry Sauzeau

Année Universitaire 2021-2022

Préambule

Ce rapport s'inscrit dans le cadre de mon stage de Master 2 à la municipalité de Port-des-Barques de juillet à décembre 2021. Ayant eu pour but d'effectuer un inventaire des ressources disponibles pour l'étude du trait de côte. Ainsi que mettre en place une méthodologie pour quantifier l'évolution depuis le début du XXe siècle.

Sommaire

Préambule.....	2
Sommaire	3
Introduction	4
1. Le trait de côte.....	4
2. Les risques côtiers	4
3. L'érosion côtière, un phénomène naturel qui s'accroît ?	5
4. Tendances générales de la Charente-Maritime.....	7
5. L'érosion côtière et le territoire de Port-des-Barques	7
6. Intérêts historiques	9
Méthodologie et données	10
1. Ressources utilisées :.....	10
2. Choix d'indicateurs de position du trait de côte.....	11
3. Outil utilisé : Digital Shoreline Analysis System.....	13
Résultats et observations	15
1. Étude du trait de côte au nord de l'île Madame	15
a. Étude de la Zone A.....	17
b. Étude de la zone B, Nord Est de l'île Madame	21
2. Étude du trait de côte au sud de l'île Madame	22
a. Étude de la zone C, la baie de St-Lancée	24
3. Étude de la côte rocheuse au nord de la partie continentale de Port-des-Barques ...	28
4. Limites et difficultés de cette méthodologie	29
Conclusion et solutions	31
Tables des figures.....	34

Introduction

1. Le trait de côte

Le littoral est un milieu dynamique et évolutif dans l'espace et dans le temps (vague, marée, saisons, années, siècles, temps géologiques), soumis à de nombreux **processus marins et continentaux**. Le « trait de côte » est la limite géographique entre le domaine marin et le domaine continental. Le Service hydrographique et océanographique de la Marine (Shom), le définit comme correspondant « à la laisse des plus hautes mers dans le cas d'une marée astronomique de coefficient 120 et dans des conditions météorologiques normales (pas de vents du large, pas de dépression atmosphérique susceptible d'élever le niveau de la mer) »¹. Cette définition est théorique, c'est-à-dire que concrètement sur le terrain ou sur des photos aériennes, il n'est pas toujours facile de la délimiter. C'est pour cette raison que pour étudier la dynamique du trait de côte, il faut établir des **indicateurs** qui se rapprochent de la position du trait de côte.

2. Les risques côtiers

Le littoral est un milieu fragile, très convoité qu'il est important de connaître afin de gérer au mieux, c'est-à-dire de concilier attractivité et développement économique avec les **aléas** maritimes qui s'y produisent. En effet, le littoral concentre de nombreuses pressions sur un territoire restreint. Il est soumis à des assauts naturels en continu.

Un risque naturel se définit selon l'observatoire du littoral comme le croisement entre un aléa et d'un ou plusieurs enjeux, c'est la notion de vulnérabilité.

- **L'aléa** correspond à tout phénomène d'origine naturelle susceptible de produire des dommages. Il se définit par une magnitude, une emprise spatiale, une durée d'action, une intensité de dommages et une probabilité d'occurrence.
- **L'enjeu** est défini par le MEDDE (ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie) et l'acronyme sous lequel a été connu le ministère de l'Écologie entre 2012 et 2016 comme la « valeur humaine, économique ou environnementale des éléments exposés à l'aléa »²

¹ Descriptif technique, *Trait de côte Histolitt* – v1.0, SHOM, 2005

² GARRY et al, *Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR)*, MEDDE. La Défense, 1997

Un aléa naturel comme **l'érosion côtière**, **la submersion marine** ou **l'avancée dunaire** ne devient un risque que si des enjeux sont présents. Par la suite, nous nous intéresserons uniquement au phénomène de l'érosion côtière.

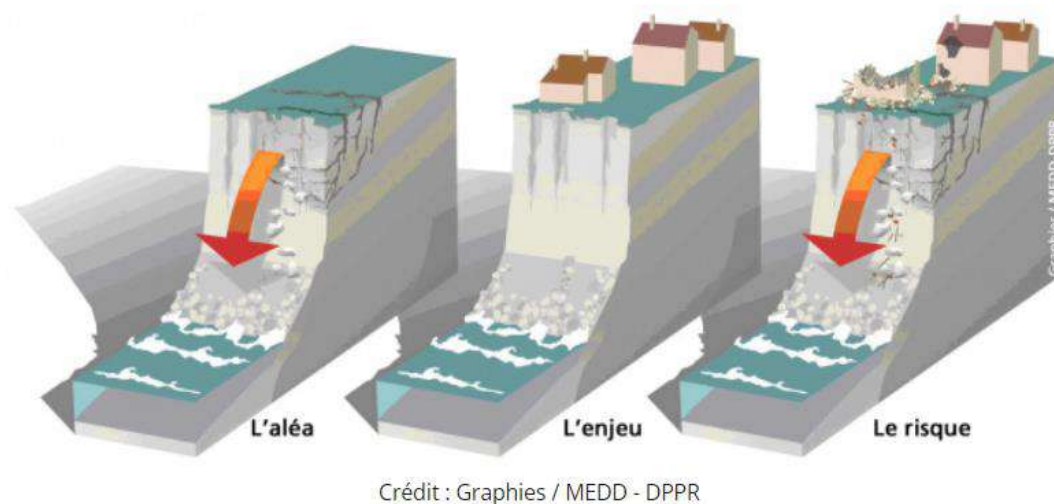


Figure 1. Définition du risque d'érosion côtière (fragilisation des falaises générant des glissements de terrain ou destruction de dunes vives)

3. L'érosion côtière, un phénomène naturel qui s'accroît ?

La position des littoraux n'est pas fixe et le cours d'une vie humaine suffit parfois pour observer des déplacements spectaculaires. Le continent peut avancer comme c'est le cas fréquemment dans les régions deltaïques, mais le plus souvent cela recule. Il existe des signes qui ne trompent pas, des falaises qui s'écroulent par pans entiers ou des plages qui d'année en année perdent en substance. L'érosion côtière est un phénomène naturel multifactoriel principalement lié à **l'équilibre sédimentaire**. Elle se manifeste sur une portion du littoral lorsque les pertes sédimentaires (érosion) sont supérieures aux apports (accrétion). À l'inverse si les sédiments sont supérieurs aux pertes, le littoral s'engraisse. Les dynamiques de bilan sédimentaire sont liées aux impacts croisés de **processus marins** (houle, courant marin et marée) et **continentaux** (pluie, gel et vent), les actions de l'homme peuvent également contrarier cet équilibre³. En effet, des interventions humaines imprévues l'ont considérablement aggravé au cours des dernières décennies.⁴ Le tourisme balnéaire peut également favoriser l'érosion côtière en fragilisant les dunes par le piétinement par exemple.

³Rapport : Submersion marine et érosion côtière, connaître, prévenir et gérer les risques naturels littoraux sur la façade atlantique, Association des CESER de l'Atlantique, septembre 2015

⁴ Paskoff, Roland, *que sais-je : L'érosion des côtes*, Presse universitaire de France, 1981

Dans le contexte actuel du changement climatique, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), estime que le réchauffement global des océans et de l'atmosphère serait susceptible d'accroître la fréquence et l'ampleur des événements climatiques extrêmes⁵. De plus, un rehaussement du niveau de la mer ainsi qu'une diminution de la période d'englacement et du couvert de glace, priverait au niveau mondial, le littoral d'un élément essentiel pour sa protection contre les vagues en période hivernale. En prenant donc en compte la possible intensification et recrudescence de ces aléas, l'anticipation et l'adaptation à ces changements inéluctables sont nécessaires pour continuer à vivre durablement sur le littoral. Cela passera par l'amélioration de la connaissance des phénomènes contribuant au façonnage des espaces littoraux ainsi que la valorisation des données historiques disponibles. En parallèle, les efforts de la communauté scientifique devront se poursuivre tant sur l'observation continue des évolutions du littoral que sur la compréhension des mécanismes complexes à l'origine des phénomènes d'érosion et de submersion marine.

Il est donc bon de continuer à donner l'alerte, car ce phénomène naturel entraînera des conséquences irréversibles sur les activités humaines, le tourisme, la pêche côtière, la conchyliculture ou bien la protection de la biodiversité, ayant un fort coût financier et écologique. **Le Cerema estime que d'ici 2100, entre 5000 et 50 000 logements (maison et appartements) seront potentiellement atteints par le recul du littoral pour une valeur immobilière comprise entre 0.8 et 8 milliards d'euros.** Ces estimations comprennent de nombreuses limites méthodologiques ainsi que des incertitudes prenant en compte plusieurs profils d'évolution, plus ou moins pessimiste. Cependant, cela permet d'anticiper les effets de l'érosion côtière afin d'identifier les actions pour nous y adapter. Ces travaux s'inscrivent dans le cadre de la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte portée par le ministère de la Transition écologique et solidaire.⁶

⁵ AR6 Changement climatique 2021 : la base de la science physique

⁶ Programme d'actions 2017-2019, *Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte*, ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la mer en charge des relations internationales sur le climat

4. Tendances générales de la Charente-Maritime

Le littoral de Charente-Maritime s'étend sur 419 km de linéaire côtier entre Charron et l'estuaire de la Gironde, comprenant les îles de Ré, Oléron, Aix et Madame.

La Charente-Maritime est caractérisée par un littoral très diversifié et vulnérable aux risques littoraux. La forte proportion d'aménagements de défense contre les aléas de submersion et d'érosion souligne bien les forts enjeux présents sur la côte. Les pourtours des littoraux de la Charente-Maritime sont en perpétuel développement, avec notamment des zones urbanisées qui occupent plus de 20 % des espaces situés à moins de 500 m des côtes. Cela se ressent au niveau de sa démographie. Du fait de sa **forte attractivité** (pôle économique et récréatif), le littoral charentais, avec une densité estimée à 104 hab/km² en 2010, a connu une augmentation de 14 % par rapport à 1999 ; il est estimé une nouvelle augmentation de +24,3 % pour 2040 selon l'INSEE. Cette description traduit l'augmentation des enjeux du milieu littoral⁷.

5. L'érosion côtière et le territoire de Port-des-Barques

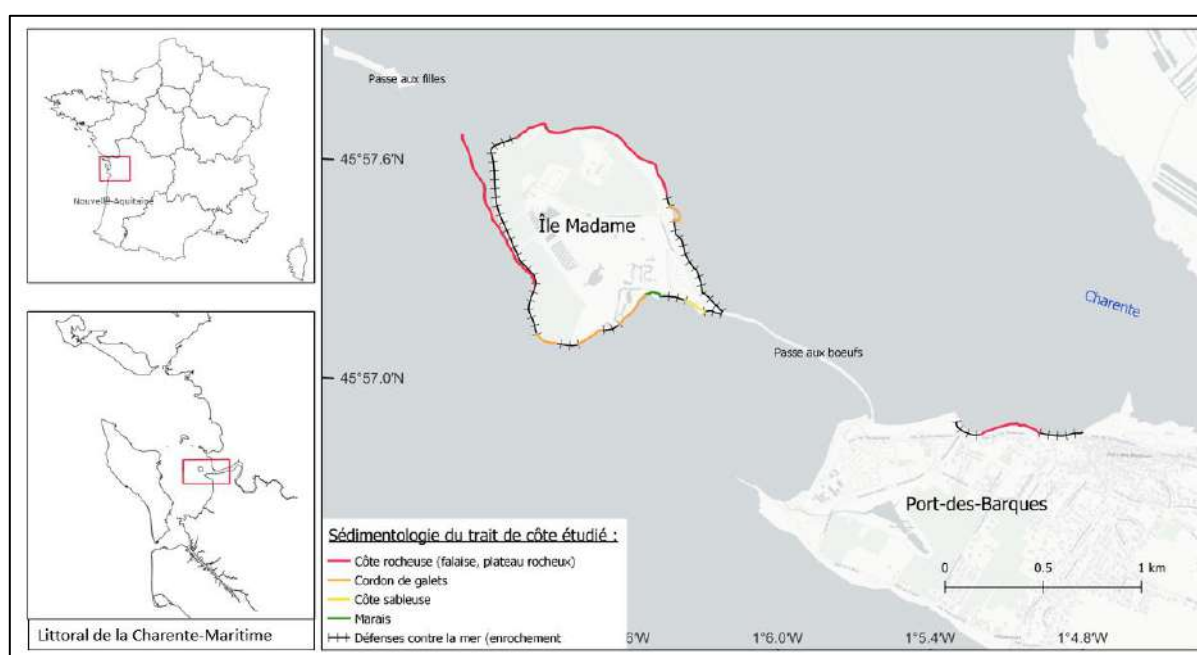
Port-des-Barques est en première ligne face aux conséquences de l'érosion côtière. La commune est située sur la rive gauche de l'estuaire de la Charente, à environ 15 kilomètres de la ville de Rochefort, en face de la presqu'île de Fouras, située sur la rive droite. La côte sud-est plus abrupte (falaises de calcaire) que les Côte-Nord et ouest qui descendent en pente douce vers l'estuaire de la Charente (exception au niveau de l'avenue de l'île Madame). Le territoire communal de Port-des-Barques intègre l'île Madame, située à 1 km des côtes de la commune. L'île Madame est reliée au bourg par un passage appelé « la Passe aux Bœufs », constitué de sable et de galets, découvert à marée basse. L'île Madame est une petite île qui s'étire sur une longueur maximale de 800 mètres et sur une largeur maximale de 400 mètres. Elle présente l'estran rocheux le plus développé de la zone d'étude avec des bancs calcaires qui plongent dans la mer.

Port-des-Barques étant situé au croisement de deux environnements, la commune est donc sujette à un fort **dynamisme morphologique** qui peut s'avérer très rapide. Étant situé dans **un environnement semi-fermé** (pertuis d'Antioche), c'est-à-dire par définition considérés à l'abri des vagues comparé aux côtes exposées à l'océan. Cependant, l'évolution du paysage de ces environnements est fortement liée à **la marée**. Elle est omniprésente en

⁷ Dossier, l'observatoire du littoral : Démographie et économie du littoral, INSEE& SOS, 2010

Charente-Maritime, de type **semi-diurne**, et est qualifiée de **macro-tidale** (marnage maximum supérieur à 6 m). Ces régions accueillent le plus souvent des environnements marécageux et/ou poldérisés, avec de vastes estrans vaseux de faible pente. Ces milieux offrent un abri naturel propice à l'activité de la conchylicole, ce qui en fait un enjeu prioritaire. La commune de Port-des-Barques se situe aussi à l'embouchure de la Charente, **les milieux estuariens** sont des environnements extrêmement dynamiques, en effet soumis à l'influence du fleuve d'une part et de la marée d'autre part. Il est donc important d'étudier et surveiller les littoraux de la commune de Port-des-Barques.

Figure 2. Bornes géographiques, la commune de Port-des-Barques



Dans un premier temps plusieurs portions du trait de côte de la commune de Port-des-Barques peuvent être considérées comme des espaces sensibles. Nous essayerons de les délimiter précisément puis nous étudierons chaque portion afin de quantifier l'évolution du trait de côte. Nous commencerons par la côte nord de l'île Madame puis la côte sud et nous finirons par le nord de la partie continentale de Port-des-Barques, falaise surplombant l'estuaire de la Charente.

6. Intérêts historiques

Malgré l'émergence de nouveaux supports permettant d'accéder à une information de précision, facilement actualisable et sur de grands territoires, notamment grâce au développement de l'imagerie satellite et à l'analyse de l'infrarouge, **la photo-interprétation** est la seule méthode permettant d'accéder à des informations passées via les supports orthophotographiques datant du début du siècle dernier. Pour l'analyse de l'évolution du trait de côte, avoir recours à des tendances pluriannuelles permet de comprendre la genèse des phénomènes, leur éventuelle cyclicité et ainsi mieux anticiper l'évolution à venir. Cette expertise peut être complétée par l'apport historique des anciennes cartographies, surtout pour des aspects qualitatifs, et par des mesures plus récentes.

L'expertise historique ne cherche pas à remplacer l'expertise scientifique, seulement à la compléter. L'étude sur le long terme permet de tirer des tendances, l'érosion est-elle plus ou moins rapide qu'il y a 100 ans, l'implantation de l'Homme y est-elle pour quelle que chose, les défenses contre la mer construite dans la passée n'ont-elles pas finalement plus dégradés que protéger ? Toutes ces questions auquel une expertise historienne peut répondre et donc permettre d'éviter de reproduire les erreurs du passé. L'intérêt de calculer les variations du trait de côte est de rendre disponible les informations nécessaires au suivi de cette variation pour l'entité administrative et pouvoir faire des liens cohérents en analysant la variation du trait de côte (taux d'érosion et d'accrétion) dans le temps et l'espace.

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

Méthodologie et données

Afin de connaître l'évolution du trait de côte de la commune de Port-des-Barques. Nous avons procédé dans un premier temps à la digitalisation à plusieurs dates avant de réaliser l'analyse des lignes de références obtenues pour les différentes périodes considérées (1822, 1882, 1950, 1967, 1980, 2001, 2006, 2010, 2014, 2018). La cartographie multi-date du trait de côte a pris en compte les 2,8 km environ de linéaire côtier de l'île Madame ainsi qu'aux 450 m sur la partie continentale de Port-des-Barques, au niveau de l'Avenue de l'île Madame.

L'analyse de la dynamique littorale requiert plusieurs étapes. Après avoir présenté les ressources utilisées, nous détaillerons les **indicateurs** qui ont été utilisés pour digitaliser le trait de côte. Enfin, nous détaillerons précisément la méthodologie de travail.

1. Ressources utilisées :

Les données cartographiques ont été collectées de différentes sources, à partir de bases de données pour la plupart disponibles sur internet. Le tableau 1 présente chacune des ressources utilisées. Les liens de référence seront cités en annexe.

Pour les photographies aériennes, le principal fournisseur **est l'IGN, l'institut national de l'information géographique et forestière**. C'est un établissement public à caractère administratif qui a pour mission de garantir la disponibilité des données géolocalisées. Afin de produire, de représenter et de diffuser les données géographiques et forestières souveraines indispensables à la mise en œuvre des politiques publiques : environnement, aménagement du territoire, ville durable, prévention des risques, agriculture, armées.⁸

Les ressources anciennes (cartes et minutes bathymétriques) ont été obtenues dans la base de données mise à disposition par le Shom. **Le Service hydrographique et océanographique de la Marine** héritier du premier service hydrographique officiel au monde (1720) d'où l'importance de leurs archives, est un établissement public administratif sous tutelle du ministère des Armées. Il répond aux mêmes missions que l'IGN, mais pour les environnements maritime et littoral⁹. Avec des domaines d'expertises comme la bathymétrie,

⁸ Carte d'identité de l'IGN, <https://www.ign.fr/institut/carte-didentite>

⁹ L'océan en référence, <https://www.shom.fr/fr/qui-sommes-nous/missions>

la sédimentologie, l'hydrodynamique côtière, l'océanographie, l'ingénierie des systèmes d'acquisition à la mer, l'information géographique maritime et littorale

Tableau 1. Synthèse des documents collectés

Données	Échelle	Géoréférencement	Sources	Utilisation
Minutes anciennes :				Extraction des traits de côte successifs et digitalisation des ouvrages côtiers
Île Madame, Beautemps-Beaupré. C-F, 1822	1/14 400	Non	Shom	
Pertuis d'Antioche, Germain. A, 1882	1/28 000	Non	Shom	
Image aérienne historique :				
ScanHisto 50 (1950)	1/50 000	Oui	Service Web (IGN)	
CN67000052_1967_ESS082_0064	1/15 997	Non	Remonter le temps (IGN)	
C1428-0021_1980_IFN16-17_1813	1/21 019	Non	Remonter le temps (IGN)	
C96SAA0911_1996_FD17-33_2361	1/25 397	Oui	Remonter le temps (IGN)	
ORTHOIMAGERY.ORTHOPHOTOS2001	Variable*	Oui	Service Web (IGN)	
ORTHOIMAGERY.ORTHOPHOTOS2006	Variable*	Oui	Service Web (IGN)	
ORTHOIMAGERY.ORTHOPHOTOS2010	Variable*	Oui	Service Web (IGN)	
ORTHOIMAGERY.ORTHOPHOTOS2014	Variable*	Oui	Service Web (IGN)	
Image satellite :				
BD ORTHO® 2018	20 centimètres	Oui	Service Web (IGN)	

**Variable, car ce sont des dalles WMS déjà géoréférencées par l'IGN*

Les ressources anciennes n'étant pas aussi précises que l'imagerie aérienne récente, les informations tirées de leur analyse présenteront une marge d'erreur et ne refléteront pas la réalité. Cependant, la tendance globale pourra être déterminée afin de savoir s'il y a eu une accélération ou un ralentissement de ces phénomènes à court et à moyen terme.

À cela s'ajoutent des documents iconographiques provenant de l'écomusée de Port-des-Barques comprenant des photos de vacances ainsi que des cartes postales qui seront détaillés au fur et à mesure de l'étude

2. Choix d'indicateurs de position du trait de côte

Le trait de côte représente la limite terre/mer et varie avec le temps selon les conditions et le contexte dynamique (érosion accrétion), de ce fait, la détermination de cette limite n'est pas toujours aussi facile et précise. Des indicateurs permettent d'estimer la position du trait de côte

dans différents endroits des zones littorales comme les lignes des hautes et basses eaux, la ligne du haut de la falaise...

En octobre 2012, le Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales, a proposé une méthodologie nationale afin de lever le trait de côte à partir **de photographies aériennes orthorectifiées**¹⁰. Dans ce rapport, il est question de 4 types d'indicateurs :

- **L'indicateur hydrique instantané** par exemple, laisse de hautes mer, limite supérieure de sable mouillé, limite eau/sable
- **Les indicateurs morphologiques**, il s'agit pour les côtes meubles, la berne de haut de plage, du pied de dune, crête de dune... Ou pour les côtes à falaise, les pieds de falaise, du haut de falaise, du haut de cône d'éboulis.
- **Les indicateurs liés à la végétation**, limite de végétation dunaire, végétation pérenne, limite supérieure de schorre ou de la slikke.
- Les côtes **artificialisées**, digue, enrochement...

Pour cette étude, ce sont les indicateurs à long terme (pouvant varier dans l'année, la décennie ou le siècle) qui ont été choisis, s'adaptant au mieux aux bornes temporelles de l'étude.

Pour les côtes rocheuses, c'est le haut de la falaise qui a été choisi, répondant au mieux à l'étude du trait de côte. Pour les portions de marais, c'est la limite supérieure du schorre qui a été retenu. Le schorre est la partie haute d'un marais littoral, constituée de vase solide, couverte d'herbe et submergée aux grandes marées. Au niveau des côtes artificialisées, c'est la limite côté terre d'un ouvrage de protection qui a été gardé. Et pour les plages de sables ou de galets, l'indicateur choisi est la limite de végétation pérenne. Les limites de végétation sont aisément repérables sur le terrain, en photographie aérienne ou imagerie satellite. Afin de mieux visualiser, les indicateurs ont été représentés sur la figure 3.

En plus de la difficulté qu'il existe pour déterminer le trait de côte sur certaines photographies aériennes anciennes, il faut rajouter la marge d'erreur liée au **géoréférencement**, car nous avons dû attribuer aux photos aériennes de 1967, 1980 et 1996, un emplacement spatial en lui donnant **des coordonnées géographiques**. Cela permet en même temps de rectifier les inclinaisons et les proportions de l'image.

¹⁰ Rapport Département environnement et aménagement, *levé du trait de côte à partir de photographies aériennes orthorectifiées*, CETMEF, 2012

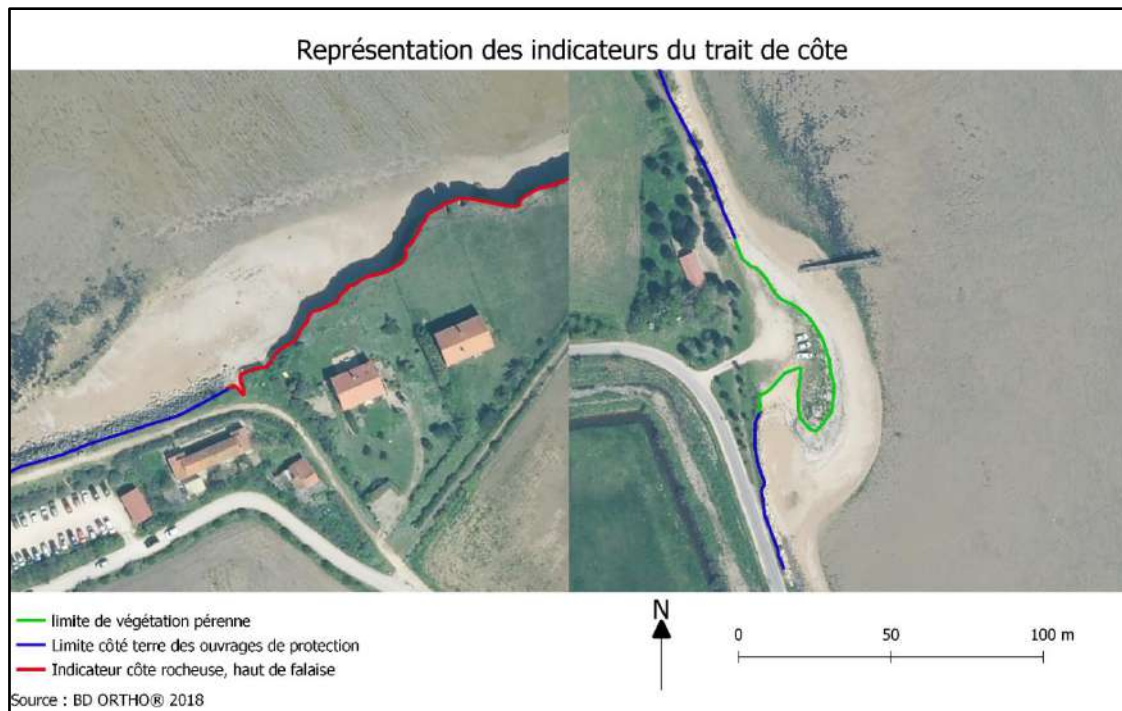


Figure 3. Choix des indicateurs du trait de côte, exemple côte nord et nord/est de l'île Madame, AUGIS.T, 2021

3. Outil utilisé : Digital Shoreline Analysis System

Une fois les lignes de référence extraites et intégrées dans un **Service d'information Géographique** (SIG). Nous avons pu utiliser une extension du logiciel ArcGIS spécialement conçu pour l'analyse historique du trait de côte. Le logiciel **Digital Shoreline Analysis System** (DSAS v5) permet à un utilisateur de calculer des statistiques de taux de variation à partir de plusieurs positions historiques du littoral. Il fournit une méthode automatisée pour établir des emplacements de mesure, permet de connaître l'évolution passée du trait de côte, il comprend aussi un modèle bêta de prévision du rivage avec la possibilité de générer des horizons de rivage sur 10 et/ou 20 ans prenant en compte des bandes d'incertitude. Le site USGS.gov (Institut d'études géologiques des États-Unis) met à disposition des documents et un guide d'utilisation extrêmement précis. Cet outil a été utilisé dans différentes études de mesure et suivi de la dynamique du trait de côte à travers le monde.¹¹¹²

¹¹ FAYE I., *La Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux d'Afrique de l'Ouest. Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes*. Université de Bretagne occidentale, thèse de doctorat de géographie, 2010

¹² FAYE I., HENAFF A., GOURMELON F., DIAW A.T., « Évolution du trait de côte à Nouakchott (Mauritanie) de 1954 à 2005 par photo-interprétation ». *Noréis*, n° 208, 2008 p. 11-27

Lorsque tous les paramètres d'entrée sont correctement saisis, le DSAS génère automatiquement, selon le pas de mesure défini, des transects perpendiculaires aux linéaires côtiers, mesure les écarts entre les traits de côte et calcule les taux moyens de déplacement le long de chaque transect. **Les transects** sont des lignes droites tracés entre la **Baseline** et le trait de côte le plus éloigné de celle-ci. Quant à elle, **la Baseline** est une courbe qui suit la tendance générale de notre trait de côte. Dans les modèles présentés (figure 4), l'espacement entre les transects est de 1 mètre, le logiciel ne permettant pas moins. C'est l'analyse automatique de tous ces transects qui permet de définir des secteurs d'évolution type et d'en calculer les valeurs moyennes.

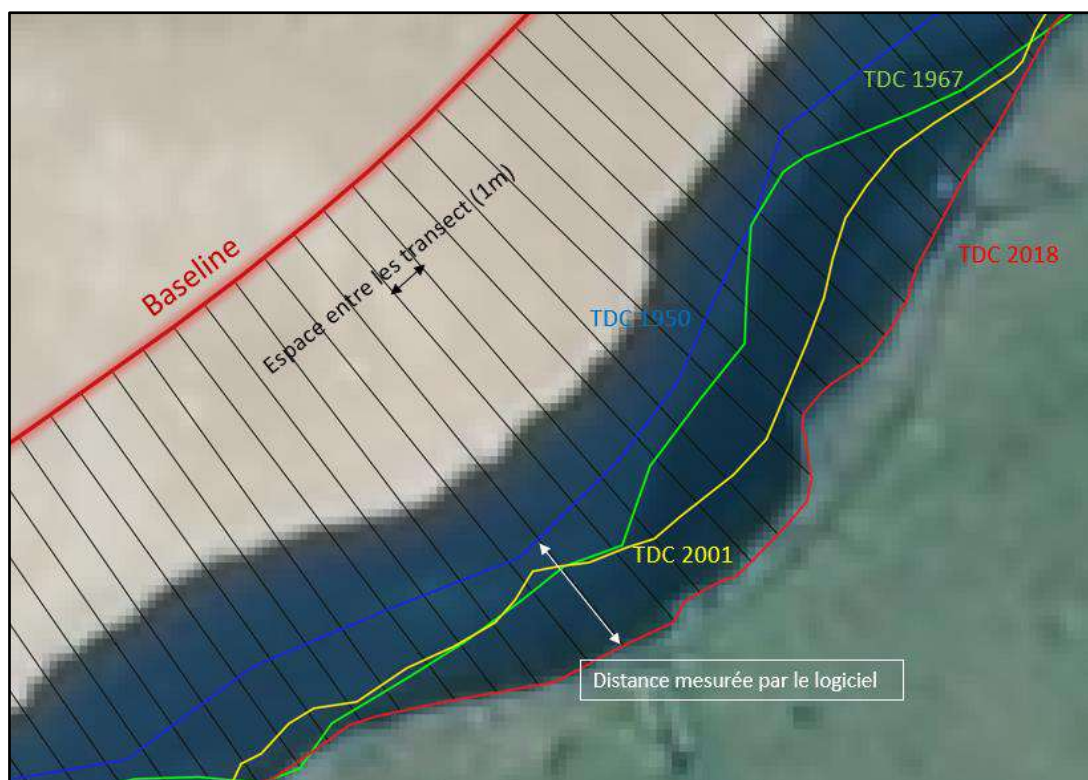


Figure 4. Fonctionnement de l'Add-in DSAS, extension du logiciel ArcGIS

Résultats et observations

Pour ceux qui est de la partie résultats et statistiques, nous avons utilisé deux types d'analyse, qui seront cités de nombreuses fois :

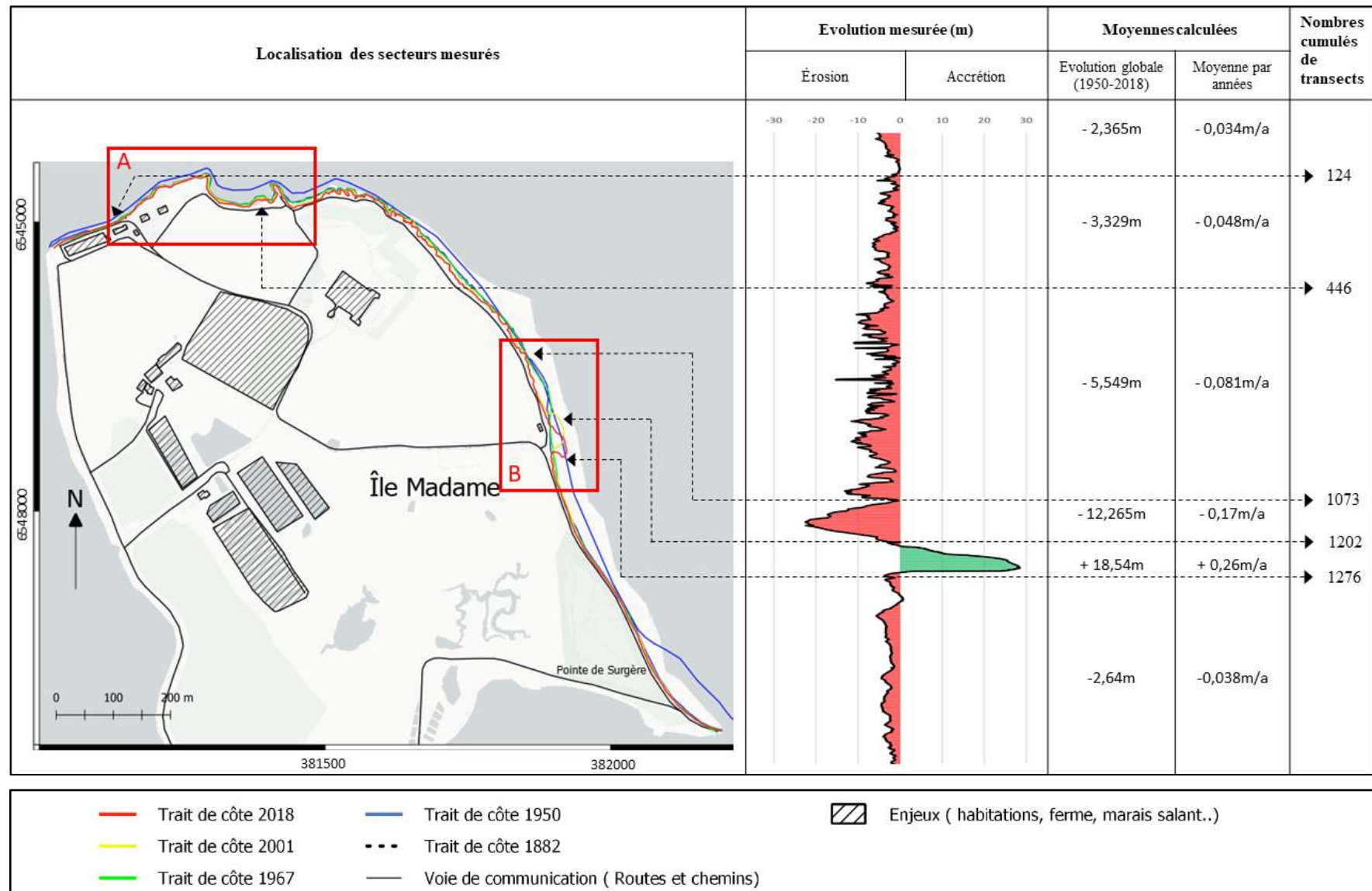
- **L'End Point Rate (EPR)** est le rapport de la distance entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent sur le temps (nombre d'années) écoulé entre les deux dates. Exprimé en mètres/an, cela permet donc de connaître la vitesse
- **Net Shoreline Movement (NSM)** est la distance ente le trait de côte le plus ancien et le plus récent pour chaque transect. Cette distance est exprimée en mètre.

1. Étude du trait de côte au nord de l'île Madame

Pour ceux qui est de l'étude du trait de côte au nord de l'île Madame, compris entre la passe aux filles et la passe aux bœufs, nous avons utilisé quatre traits de côtes historiques (1950, 1967, 2001 et 2018), nous expliquerons ce choix dans la partie « **limite et difficultés** ». De plus, le trait de côte de 1882 provenant d'une minute manuscrite réalisée par l'ingénieur hydrographe Adrien GERMAIN est tracé sur la carte, seulement à titre indicatif, car malgré sa qualité remarquable, elle reste trop approximative pour l'intégrer dans ce type de calcul.

Le tableau ci-dessous compile tous les résultats obtenus. On remarque que la quasi-totalité du trait de côte du nord de l'île Madame est soumise à de l'érosion côtière sauf une partie au niveau de la vierge aux martyrs et de l'ancien ponton (zone B). Cette zone fera l'objet d'une étude plus approfondi par la suite. Pour ceux qui est du linéaire côtier à l'extrême nord de l'île Madame, au niveau du puits des insurgés (zone A), le recul moyen entre 1950 et 2018 est compris entre -3,329 m et -5,549 m soit un taux d'érosion de -0,048 m/a à -0,081 m/a. Si l'on compare au taux d'érosion moyen des falaises de Charente-Maritime qui est de -0,1 m/a à 0,3 m/a, l'érosion du nord de l'île Madame est inférieure et reste donc relativement faible. La présence d'habitation en fait une zone à risque qu'il est donc important d'étudier plus précisément (zone A). En effet, des pans de la falaise sont plus friables que d'autres, on ne peut pas juste à partir de la moyenne globale déterminer la dangerosité et les risques futurs liés à l'érosion.

Figure 5. Récapitulatif des résultats obtenus pour la partie nord de l'île Madame.



a. Étude de la zone A

La falaise nord depuis la « Passe aux Filles » montre successivement les couches du Cénomanien moyen jusqu'au Puits des Insurgés (5 à 8 m), puis celles du Cénomanien supérieur (3 à 5 m), qui se poursuivent ensuite sur le continent à Port-des-Barques. Cette falaise calcaire est surplombée par un fin talus argileux. Les deux parties sont extrêmement **fragiles**, à cause en partie de **leur perméabilité**.



Figure 6. Image de la succession des positions du trait de côte au niveau du puits des insurgés, AUGIS.T, 2021

La figure 6 montre les traits de côte utilisés pour cette partie de l'étude. Les falaises étant uniquement sujettes à l'érosion, lorsqu'il sera question d'évolution, nous prendrons en compte l'érosion et non l'accrétion. Sur la figure 7, on observe l'évolution entre 1950 et 2018, on remarque que l'érosion n'est pas régulière selon le secteur. Sur cette période, le taux d'érosion moyen est de -7,54 cm par année. Allant -15 cm par années au niveau du puits des insurgés. Pour la falaise la plus à l'Ouest, l'érosion moyenne annuelle est moindre, de -10 à - 2,5 cm par année.

Tous les facteurs naturels de l'érosion sont présents, comme l'impact de la marée, du vent, ou bien l'infiltration de l'eau de pluie et du gel (figure 17). Les fortes disparités dans les vitesses d'érosion peuvent s'expliquer par la géomorphologie de la falaise. La teneur en

argile est de plus en plus importante plus on avance vers l'Est¹³. On peut aussi prendre en considération **le facteur anthropique**, par exemple le chemin descendant au niveau du puits des insurgés est fortement emprunté par les touristes.

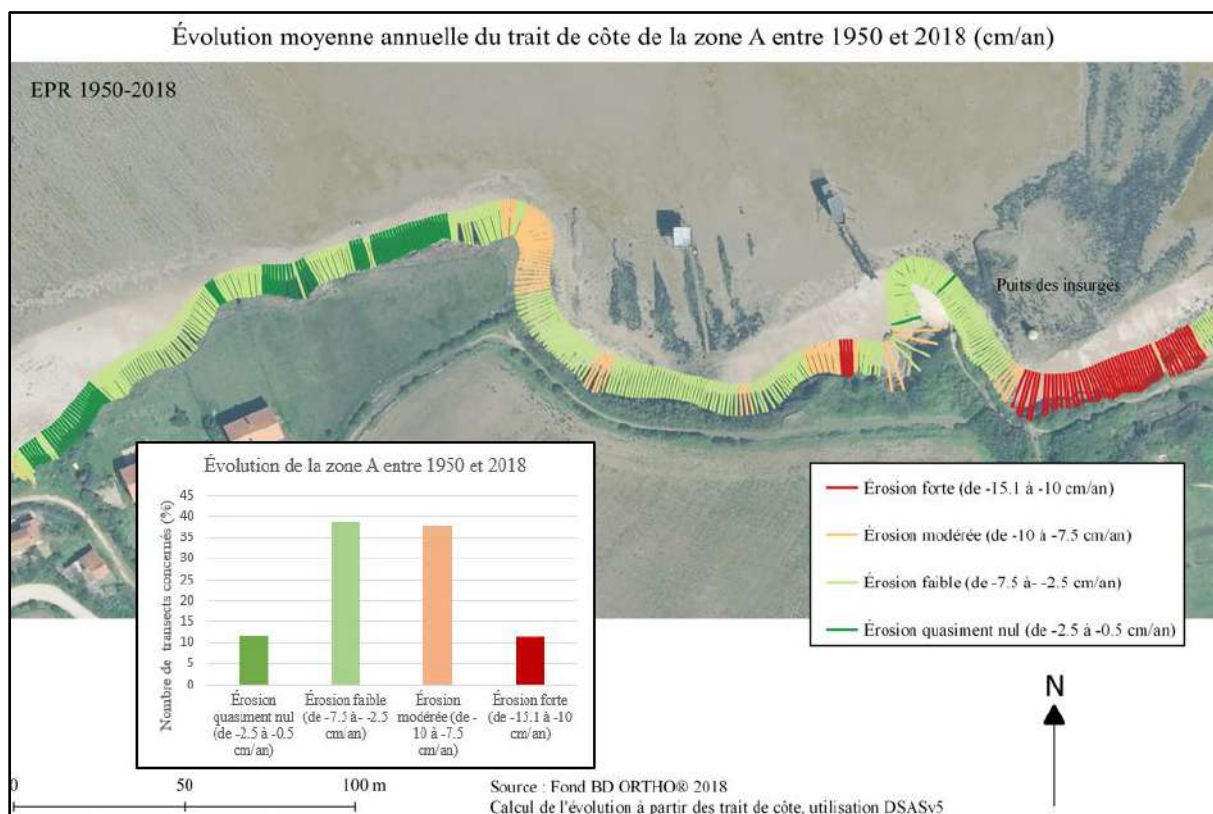


Figure 7. Carte de l'évolution du trait de côte dans la zone A entre 1950 et 2018, AUGIS.T, 2021

Nous avons ensuite cherché à obtenir la tendance générale, afin de savoir si l'érosion ralentit, stagne ou s'accélère selon les secteurs.

La carte des rythmes d'évolution de la zone A (figure 8), montre la vitesse d'érosion sur trois périodes, 1950-1967, 1967-2001 et 2001-2018. On observe que l'érosion globale a tendance à s'accélérer depuis les années 70. À partir de 1967, l'érosion s'accélère considérablement au niveau du puits des insurgés, le taux d'érosion moyen est presque multiplié par deux, passant de -10 cm/an à -20 cm/an sur la période de 1967 à 2001. Avant de revenir à la normale au début des années 2000. Le phénomène est différent sur la section de la falaise la plus haute, se trouvant là plus à l'Ouest. Il y a aussi une accélération, mais qui commence plus tardivement, de 2001 à 2018, avec une vitesse moyenne d'érosion de -7 cm/an avec des pics à

¹³ Compte rendu de la sortie géologique en Charentes, Association vendéenne de Géologie, 2014

-30 cm/an. -10 cm/an étant la vitesse moyenne d'érosion des côtes rocheuses en Nouvelle-Aquitaine, on se rend facilement compte **du danger grandissant** présent sur cette section.

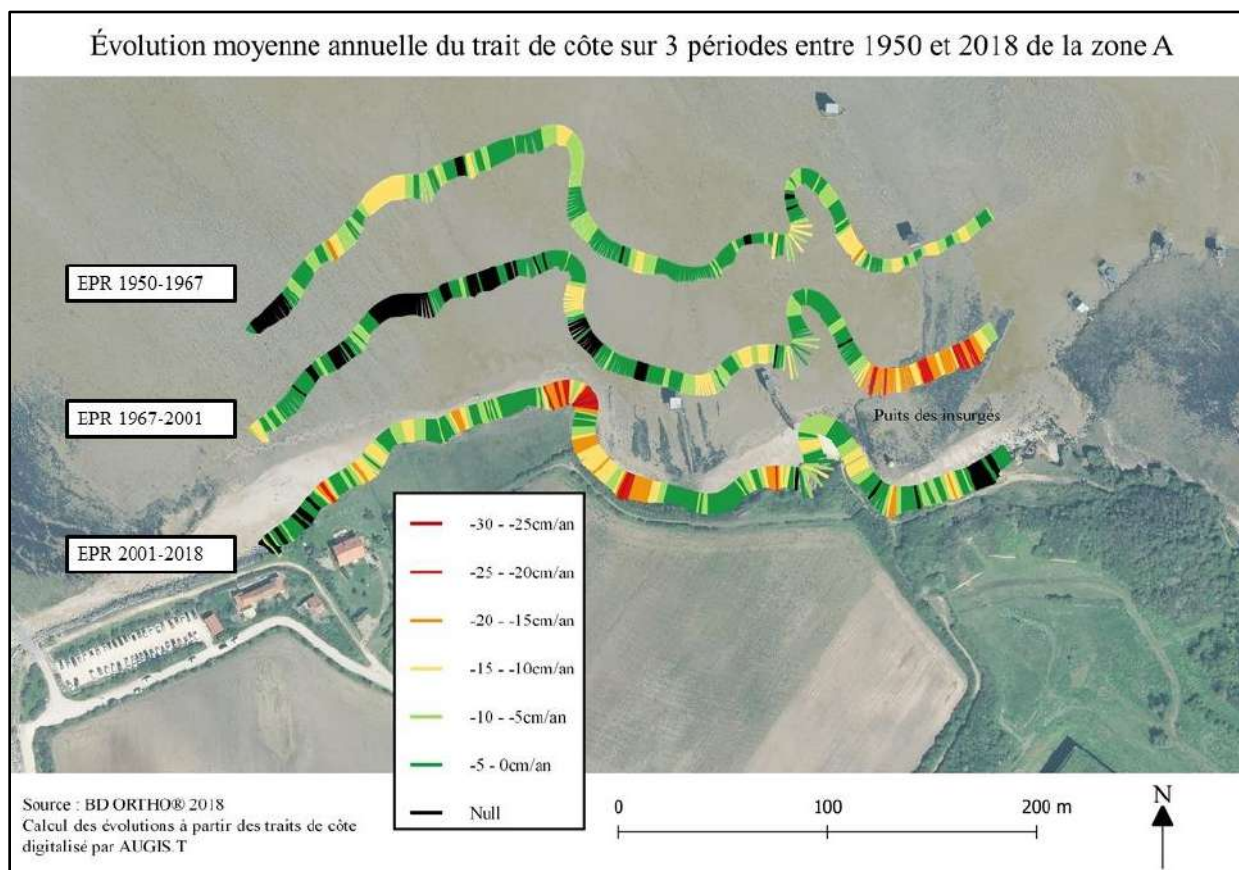


Figure 8. Carte des rythmes d'évolution en 3 périodes sur le secteur de la zone A, AUGIS. T, 2021

Afin de visualiser plus précisément cette évolution, on peut comparer plusieurs archives iconographiques portant sur le puits des insurgés. Afin d'alimenter en eau l'île, le puits du fort étant insuffisant, il fut décidé de construire un puits-citerne en 1871, facilité par la main-d'œuvre offerte par les détenus. Les matériaux utilisés sont extraits des anciennes batteries faisant face à la passe aux filles. Le puits se situait alors à 3 mètres du rivage. En 1877, un remblai est construit pour faciliter l'accès au puits, c'est ce que montre l'image A. L'image B appartient au fond d'archives de l'écomusée, il est difficile de dater exactement cette carte, ce qui est sûr, c'est que chronologiquement, elle se situe entre l'image A et C. Cependant, on observe que la falaise reste proche du puits autour de 5 m. Pour l'image C, on retrouve des cartes postales de la même collection dans les années 1920. Sur la dernière image, une photographie prise en novembre 2021, le puits paraît seul au milieu de l'estran, il trône à environ 25 m de la falaise. Cela reste cohérent avec les chiffres obtenus précédemment.



(A)



(B)



(C)



(D)

Figure 9. Archives iconographiques du puits des insurgés. (A) une représentation manuscrite du Capitaine Lacombe datant de 1877, (B) et (C) sont des cartes postales de 1900 et 1925, appartenant au fonds d'archive de l'écomusée de Port-des-Barques, (D) photographie du puits des insurgés prise en novembre 2021 par Timothé AUGIS

b. Étude de la zone B, Nord-Est de l'île Madame

La zone B comprenant le trait de côte en face de la vierge des martyrs et de l'ancien ponton, se compose d'un cordon de galet. D'après les premières observations (figure 10), on remarque que cette zone connaît une forte mobilité. Elle n'est pas seulement sujette à l'érosion. Il y a un transfert de sédiment vers le Sud, vers l'intérieur de l'estuaire. Phénomène qui s'observe juste en superposant les orthophotographies de l'IGN. En prenant en compte l'échelle, on observe que sur la période de 1950 à 2018, le cordon de galets s'est décalé d'environ 150 m vers le sud (figure 10).

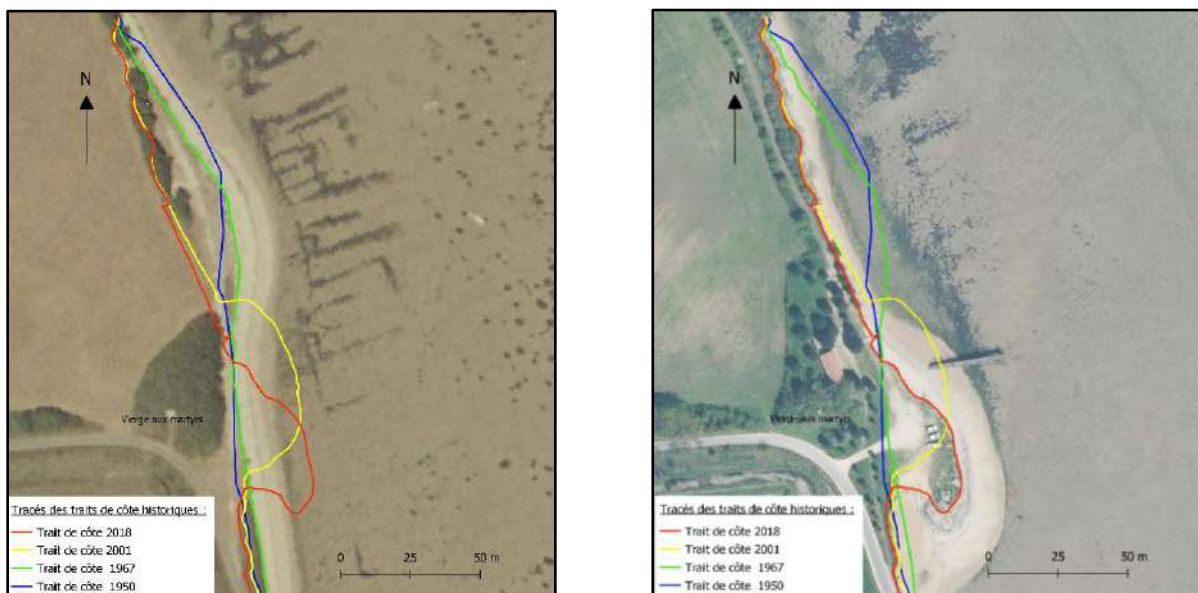


Figure 10. Report des différents traits de côte historiques sur une photo aérienne de 1967 (à gauche) et sur une image satellite de 2018 (à droite)

À partir de l'étude statistique des résultats du DSAS qui sont représentés sur les deux cartes si dessus (figure 11), on peut affirmer que depuis 1950, la partie nord du trait de côte a perdu entre 17 et 22 m (zone rouge) alors que la partie sud a subi un phénomène d'accrétion d'environ 24 m (zone vert foncé). Le taux d'érosion est **proportionnellement inverse** au taux d'accrétion de la zone plus au sud. C'est-à-dire que lorsque le trait de côte perd 20 cm par année au nord, il en regagne autant, plus au sud, il y a donc bien **un transfert de sédiment** auquel il reste encore à déterminer la cause. Le ponton va dans quelques années finir complètement dans la vase et sera donc totalement inutilisable.

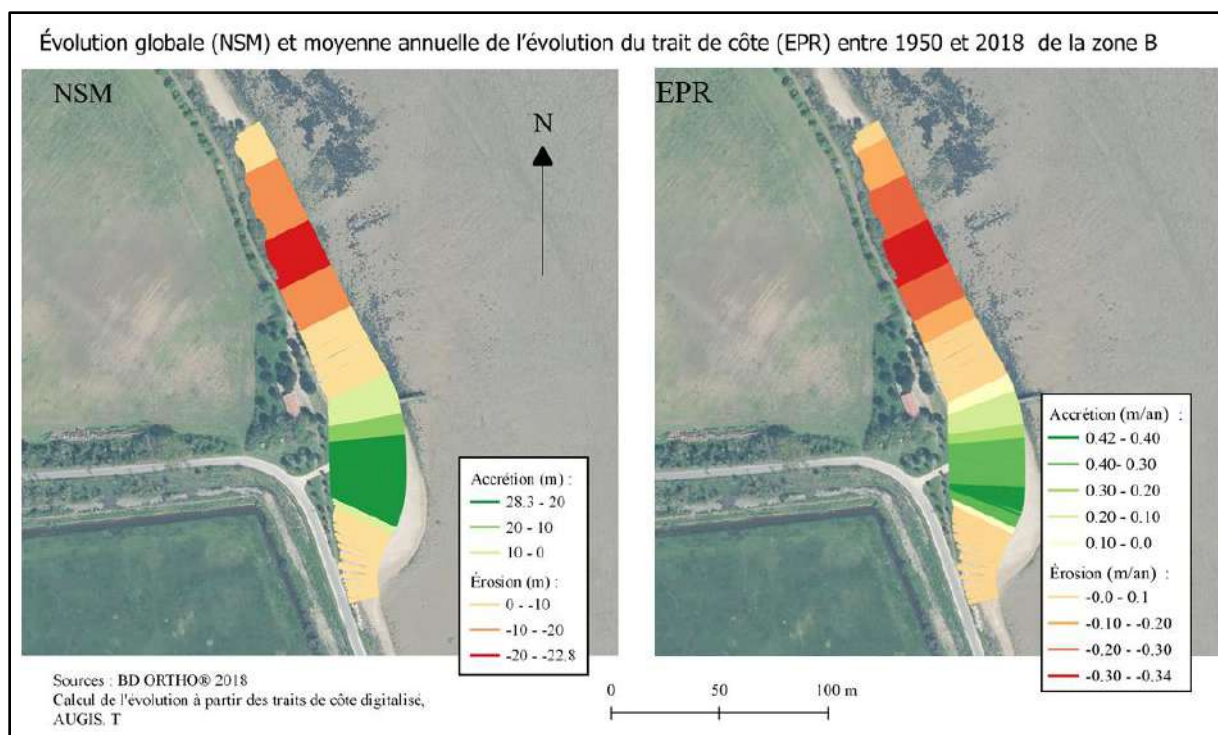


Figure 11. Carte de l'évolution du trait de côte dans la zone B entre 1950 et 2018, AUGIS.T, 2021

2. Étude du trait de côte au sud de l'île Madame

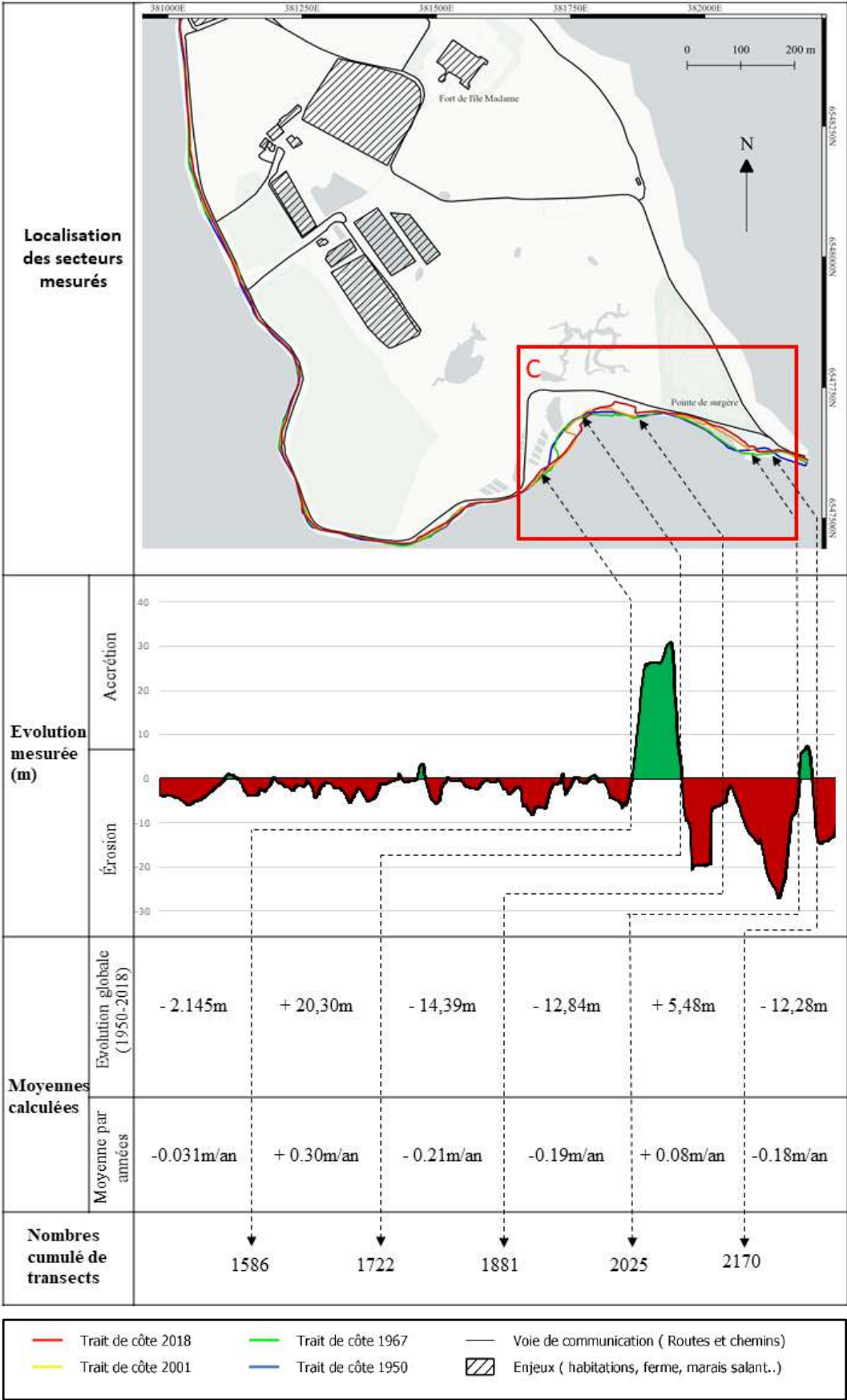
Pour l'étude de la partie sud, comme pour l'étude du trait de côte au nord de l'île Madame, nous avons utilisé quatre traits de côtes historiques (1950, 1967, 2001 et 2018). Le tableau ci-dessous compile tous les résultats obtenus. Pour visualiser l'évolution du trait de côte, il est important de connaître l'historique des défenses qui s'y trouvent.

À la suite de **la tempête du 12 janvier 1978**, la vulnérabilité de l'île Madame est pointée du doigt. Une étude insiste sur deux secteurs, la côte ouest, entre la passe aux filles et le banc rocheux du verger, ainsi que sur la côte sud-est au niveau de la baie St-Lancée, au voisinage de l'entrée de la passe aux bœufs. Des travaux considérables sont effectués, une digue de 600 m est bâtie sur la côte Ouest, sur la côte Sud-Est, c'est un rallongement de 200 m, de celle déjà présente qui est effectuée.¹⁴

Cette stratégie est bénéfique, en effet l'érosion globale pour ce linéaire est la plus faible. Les variations les plus marquantes ont été repérées dans la zone C (figure 12), zone qui fera l'objet d'une étude plus approfondie par la suite.

¹⁴ LAURENT, Adeline, Port – des – Barques face à la mer (XVIIe siècle – XXIe siècle) : Espace sensible transformé au fil du temps, Mémoire de master, La Rochelle, 2011

Figure 12. Récapitulatif des résultats obtenus pour la partie sud de l'île Madame.



a. Étude de la zone C, la baie de St-Lancée

La zone C, correspond à la partie Sud-Est de l'île Madame, au niveau de la baie de St-Lancée. Ces terres basses ne se situent pas dans l'estuaire de la Charente. Le faible courant permet l'accumulation de sédiment comme de la vase. Ces marais maritimes sont donc moins soumis à l'érosion du littoral qui se concentre au niveau des chenaux de marée.

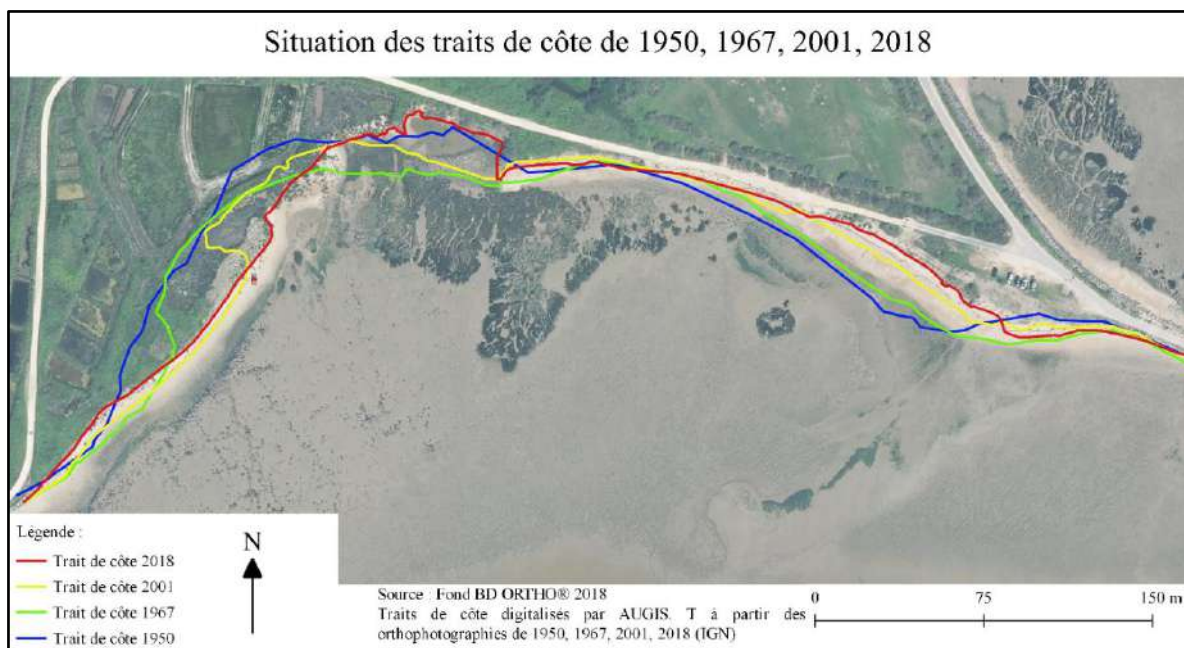


Figure 13. Image de la succession des positions du trait de côte, secteur Sud-Est de l'île Madame, AUGIS.T, 2021

L'évolution n'est pas linéaire, c'est-à-dire que les changements successifs qui s'y produisent ne vont pas forcément dans le même sens, contrairement aux falaises qui ne subissent que de l'érosion. Ce sont **des environnements fragiles**, très sensibles aux aléas marins, en effet une tempête peut complètement remodeler le trait de côte du jour au lendemain (érosion ou accrétion). Il est donc possible de quantifier l'évolution globale entre deux instants donnés, mais la tendance observée ne reflète pas forcément la réalité. Par l'étude statistique des résultats du DSAS, nous allons tenter d'y voir plus clair.

En regardant l'évolution globale entre 1950 et 2018 (figure 14), on remarque que l'érosion moyenne est de -8 m. Alors que sur le linéaire côtier ne comprenant pas d'enrochement, l'érosion est nettement supérieure, s'approchant des -25 m de moyenne. Plus à l'Ouest, au niveau des anciens marais salants, c'est plutôt l'inverse, il y a une progression de la ligne de rivage par accumulation de sédiments. Allant jusqu'à +30 m sur la période de 1950-

2018. Cette première figure ne nous en dit pas plus. Il faut maintenant détailler les évolutions selon différentes périodes.

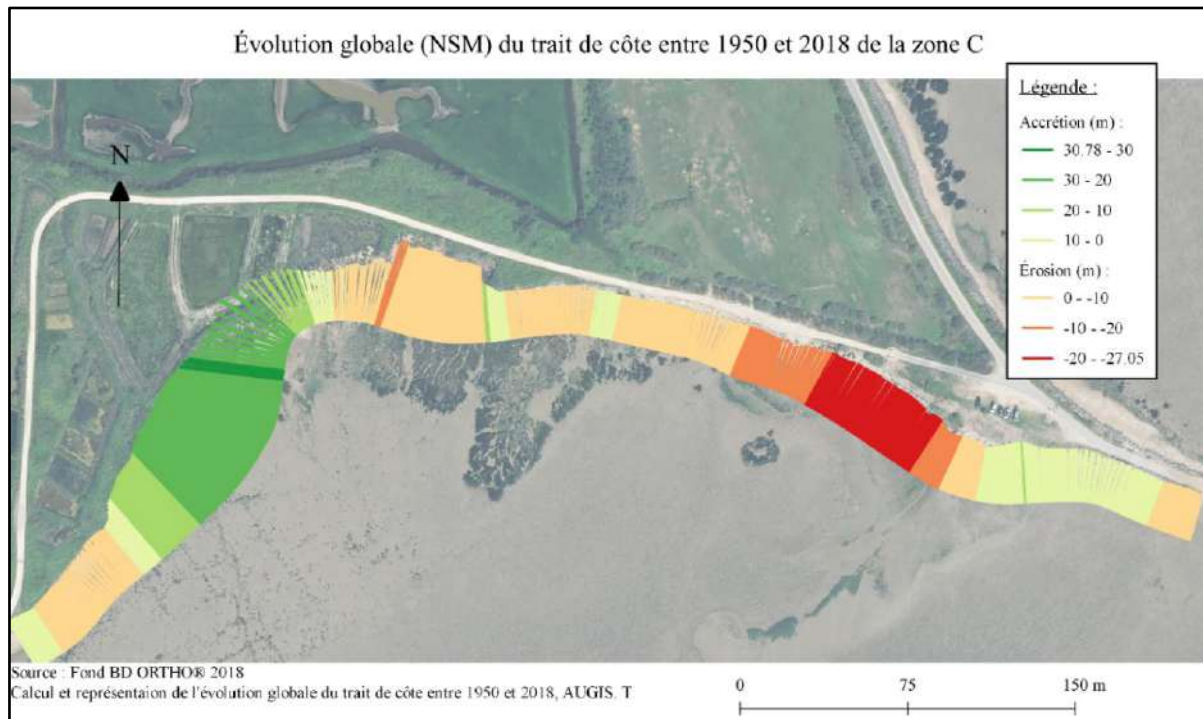


Figure 14. Carte de l'évolution du trait de côte dans la zone C entre 1950 et 2018, AUGIS.T, 2021

La carte des rythmes d'évolution de la zone C (figure 16), montre les vitesses d'érosion et d'accrétion sur trois périodes, 1950-1967, 1967-2001 et 2001-2018. On constate que le trait de côte est de plus en plus sujet à de l'érosion. De plus, l'érosion s'accélère avec le temps et principalement depuis 1967. Il est intéressant de relever, et d'expliquer pourquoi entre 2001 et 2018, l'érosion moyenne annuelle monte à -1,16 m/an. Cela s'explique par la disparition d'un bassin appartenant à un ancien marais salant, représenté par un trait rouge sur la figure 15. Un cas similaire est en train de se produire, représenté par le trait bleu.

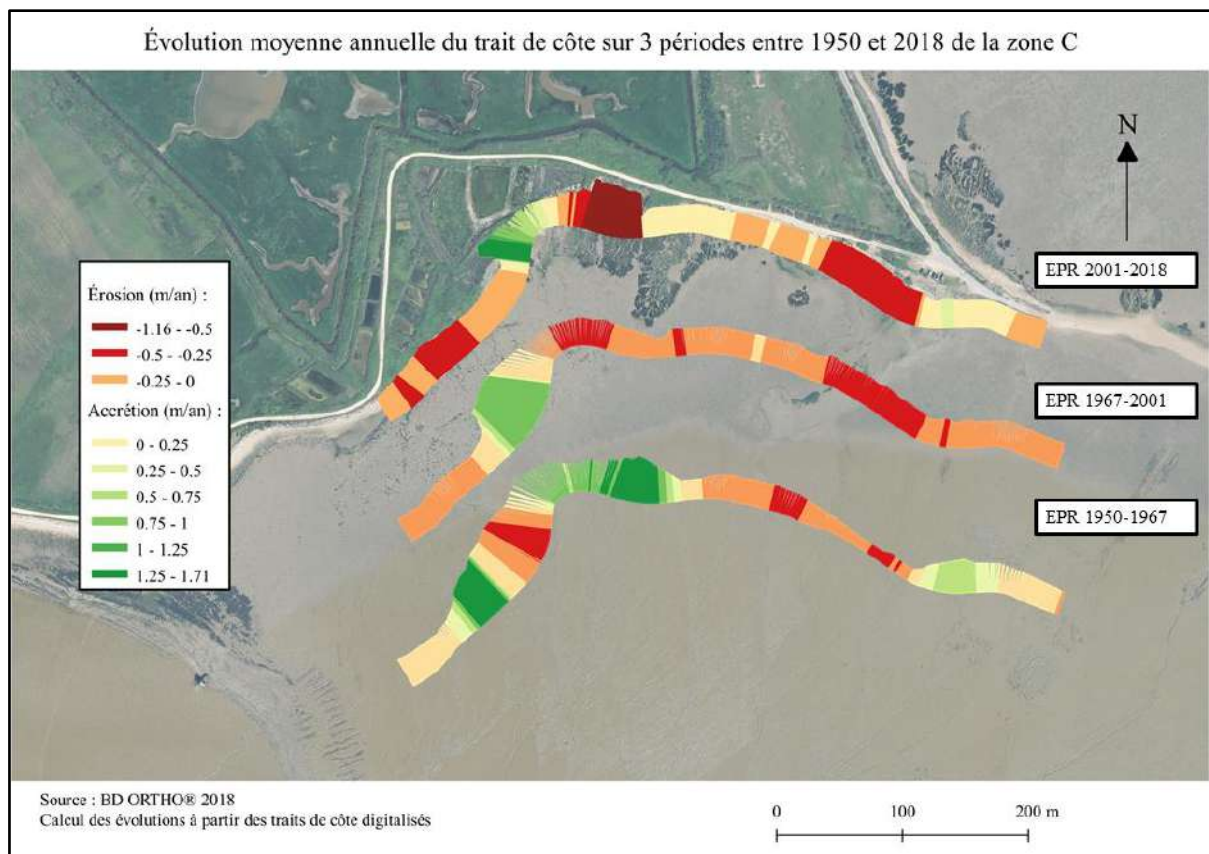


Figure 15. Carte des rythmes d'évolution en 3 périodes sur le secteur de la zone A, AUGIS. T, 2021



Figure 16. Orthophotographies de 1982, 2001 et 2018 montrant la disparition d'anciens bassins de marais salant

Pour finir, les résultats de la carte précédente ont été représentés dans des graphiques (figure 17 et 18). Ils confirment les observations précédentes, on y voit clairement que le trait de côte sujet à de l'érosion est de plus en plus important, passant de 39% à 81% à partir de 1967. Depuis 2001, la répartition « érosion/accrétion » est de 67% et 33%. Ce qui reste à savoir c'est si cela est dangereux. Le second graphique est plus explicite.

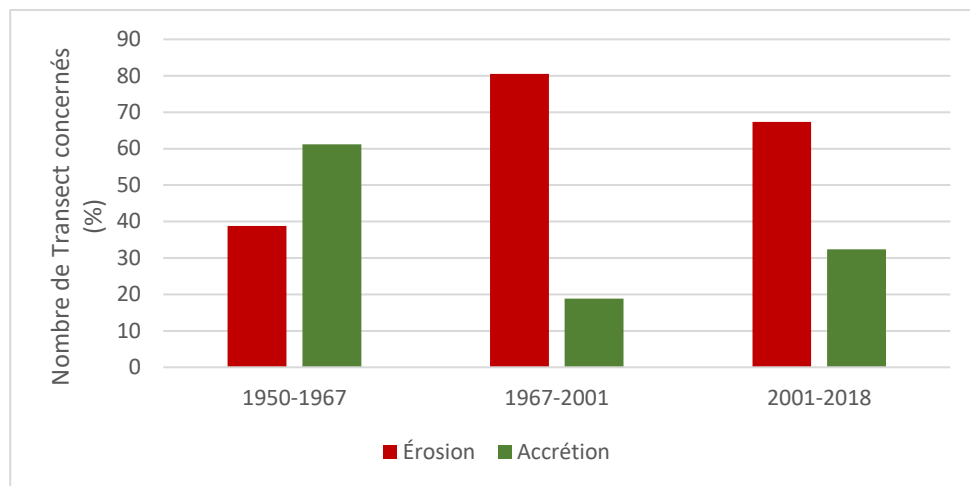


Figure 17. Graphique détaillant le type d'évolution sur chacune des périodes

Bien qu'il y est moins de portions du trait de côte sujet à de l'érosion à partir de 2001, l'érosion restante est de plus en plus importante, avec une moyenne de -0,33 m/an. L'érosion forte qui représentait seulement 12% de la zone dans la période 1950-1967 est passée à 22% de 1967 à 2001 avant de dépasser les 30% de 2001 à nos jours. **Le phénomène d'érosion s'aggrave** donc sur cette portion du linéaire côtier. Et comme le montre les cartes précédentes, ce sont les anciens marais et le trait de côte non-défendu qui subissent cette accélération.

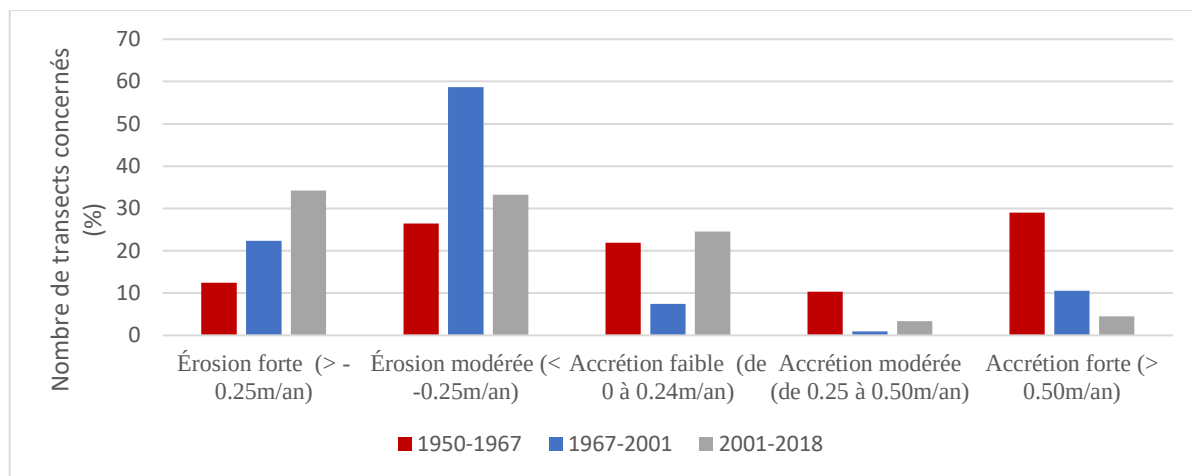


Figure 18. Graphique représentant l'évolution de la zone C selon les différentes périodes

3. Étude de la côte rocheuse au nord de la partie continentale de Port-des-Barques

En effet depuis février 2021, la falaise nord de la commune fait l'objet d'un arrêté municipal, portant sur l'interdiction de circuler sous et sur la falaise. Depuis quelques années et à la suite de nombreuses intempéries, la falaise constituée de calcaire argileux, s'effondre causant un risque de chute de pierre et surtout d'arbres, la distance entre le vide et la route (Avenue de l'île Madame) se réduit d'année en année. La situation est donc préoccupante, considérant qu'un risque mortel pour le public est présent. Nous avons tenté de quantifier le taux d'érosion ainsi que la tendance afin de pouvoir prédire l'évolution future. Dans les années 80, deux murs de soutènement ont été construits (représenté par la flèche noire pleine ci-dessous).

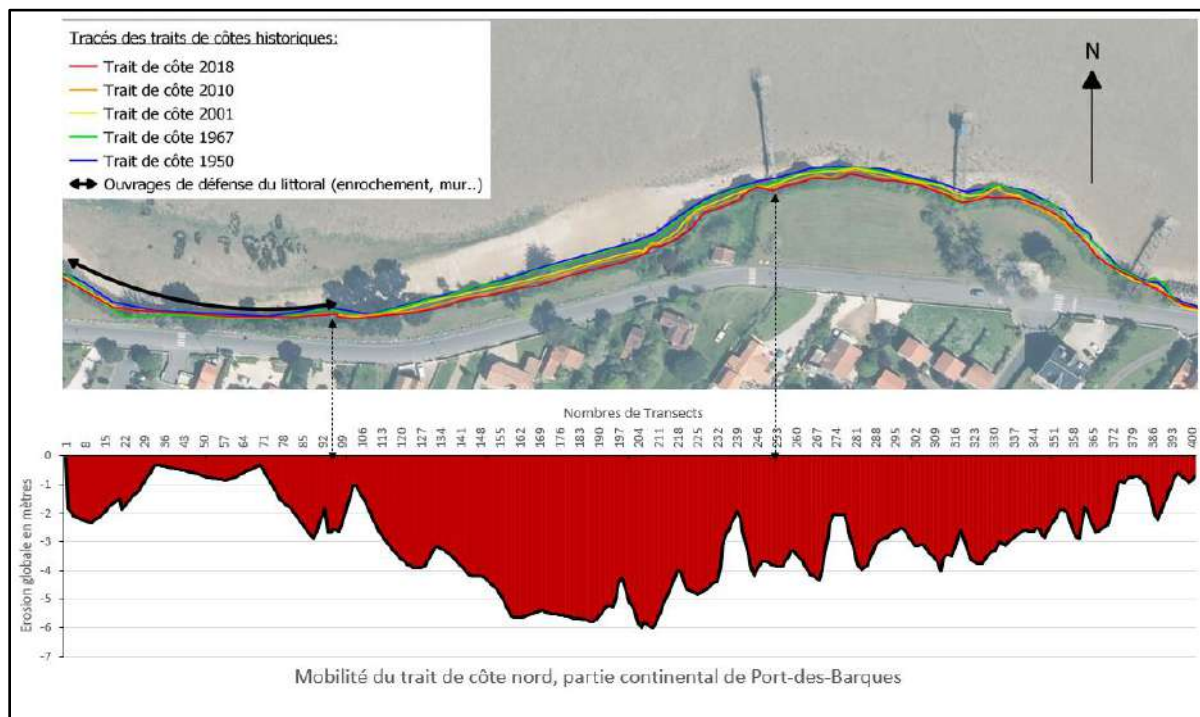


Figure. 19. Tracés du trait des côtes historiques de la falaise nord de Port-des-Barques, mis en relation avec les résultats obtenus à la suite de l'analyse statistique obtenue avec le DSAS.

Après avoir appliqué la même méthodologie que sur les études précédentes, on observe que les murs de soutènement ont joué leur rôle, l'érosion qu'on pouvait observer entre 1950 et 1967 s'est stoppée. De plus, sur le terrain, on observe qu'à l'extrémité du mur, la falaise s'est creusée de quasiment 2 mètres. Pour ceux qui du reste de la falaise, l'érosion moyenne sur la période globale (1950-2018) est de -3,87 m, avec un maximum -6 m. C'est-à-dire une perte

9,567 cm par années. Pouvant être bien supérieur en fonction des intempéries et catastrophes naturelles comme des tempêtes. La figure 14 permet d'observer l'évolution du trait de côte pour les 20 prochaines années en prenant en compte le recul moyen maximum des 68 dernières années. La marge d'erreur est donc extrêmement importante, mais cela permet de donner un ordre d'idée de ce que pourrait être le trait de côte dans le futur.



Figure 20. État des lieux des risques futurs dû à l'érosion côtière, AUGIS Timothé, 2022

4. Limites et difficultés de cette méthodologie

Ce qui nous amène à la limite de cette étude, on peut observer sur les photos ci-dessous, que la falaise s'effrite et se creuse d'abord en dessous. Cela s'explique par l'impact successif de la houle, **créant des cavités parfois profondes de plusieurs mètres**. Des paramètres que l'analyse géospatiale à partir de photo aérienne ne prend pas en compte. En effet, la houle produite par la marée peut creuser dans le bas de la falaise pendant plusieurs années sans que cela se voie sur photo aérienne et un an après perdre 3 mètres qui seront dus à l'éboulement sous le poids du haut de la falaise. Cela rend l'étude statistique compliquée.



Figure 21. Érosion de la falaise nord de l'île Madame, photographie prise en novembre 2021

La deuxième difficulté se situe dans **la marge d'erreur** dans le tracé du trait de côte. L'erreur liée à la numérisation fait partie des erreurs aléatoires qu'il faut intégrer dans l'analyse des résultats. Mais il n'existe pas encore à ce jour une méthode objective pour l'évaluer. Néanmoins, il est recommandé de l'estimer en effectuant la numérisation plusieurs fois. L'erreur émanant de la numérisation de chaque ligne de rivage étant obtenue par addition de la moyenne des écarts à 2 écarts-types de ces écarts et à la taille du pixel. Ce genre d'étude et généralement effectués sur des portions du trait de côte beaucoup plus grande, avec des variations extrêmement importantes, parfois une érosion de plus de 30 m par années, chiffre possible uniquement sur des cordons dunaires ou de galets. Ce qui permet d'absorber les marges d'erreur et rend l'étude géospatiale des traits de côte historique fiable.

Ici pour la commune de Port-des-Barques, les taux d'érosion sont faibles, mais leur analyse fournit déjà un premier état des lieux indispensable avec la création d'un jeu de données important pouvant servir pour les études suivantes. J'ai fait le choix de ne choisir que **4 traits de côtes espacés dans le temps d'au moins 15 ans**. Indispensable afin de ne pas fausser complètement les résultats.

Conclusion et solutions

Les littoraux, peu importe leur morphologie sont **des espaces sensibles**. Cette étude a permis d'établir les zones les plus à risque, tout en évaluant la vulnérabilité dans le temps. Pour Port-des-Barques, d'après les premiers résultats, ce sont principalement les côtes rocheuses (falaise en calcaire gréseux) qui sont les plus vulnérables face aux aléas marins et donc présentaient un risque important pour le futur. Pouvant s'expliquer par la présence d'enjeux anthropiques ou patrimoniaux, comme des habitations ou des voies de communication terrestre. De plus, la majeure partie du linéaire côtier de l'île Madame, principalement les cordons de galets, sont déjà fixés par **un enrochement parallèle**. L'impact de cet enrochement est visible et bénéfique, le taux d'érosion moyen à partir des années 80 devient presque imperceptible (inférieur à 3 cm par années). Cependant, ces solides protections nécessitent **un entretien régulier**.

L'érosion des côtes rocheuses est **un phénomène irréversible**. Mais des solutions permette de ralentir considérablement ce phénomène encore faut-il réagir avant qu'il ne soit trop tard. De nombreux sites ont fait le choix de la construction d'ouvrages lourds de protection. Solutions qui ont parfois aggravé l'érosion sur les zones à protéger et les rivages proches. Ces solutions sont de moins en moins utilisées au détriment de **solutions plus douces**, qui ont **une approche plus environnementale**.

Nous allons maintenant dresser une liste non exhaustive de solutions de protection des côtes pouvant correspondre aux risques détectés à Port-des-Barques. Afin de réduire les instabilités des falaises rocheuses vives, deux types d'actions sont possibles (elles peuvent être combinées). Le premier mode d'action consiste en la stabilisation du versant contre les actions continentales. Action luttant principalement contre les risques directs comme les glissements de terrain, effondrement des pans les plus fragile de la falaise, les chutes d'arbres... Tous ces risques peuvent blesser une ou plusieurs personnes. Port-des-Barques et principalement l'île Madame sont des zones touristiques avec une forte fréquentation surtout lors de la saison estivale. Une menace déjà prise en considération par la municipalité avec l'arrêté municipal qui interdit l'accès à la plage au nord de la partie continentale de Port-des-Barques, longeant avenue de l'île Madame. Les arbres menaçant de tomber doivent être coupés afin de limiter les dégâts.

Cela pourrait être complété par deux solutions, consistant à maintenir les blocs et arbres instables et protéger les enjeux humains en aval de la falaise, cela n'influencera pas/ ou très peu l'érosion globale de la falaise :

- L'installation de **filets plaqués**. Les filets ou grillages plaqués à la paroi par ancrages courts permettent d'emmailloter les éléments instables afin d'empêcher des éboulements. Fonctionne ici, car les instabilités rocheuses ont des volumes assez restreints.
- **Géogrille renforcée**, améliore la stabilité superficielle de la falaise, favorise le développement de la végétation. C'est une solution durable non adaptée aux glissements profonds, seulement aux glissements superficiels, nécessitant une surveillance périodique.

Cependant pour éviter des catastrophes plus importantes, il faut **anticiper** et visualiser les risques sur le moyen et long terme, 20, 50 ou 100 ans. C'est ce que permet d'amorcer cette étude. Le taux d'érosion moyen des côtes rocheuses de la commune de Port-des-Barques depuis 1950 est inférieur à la moyenne régionale, mais il faut nuancer ce résultat, car cette étude a permis de montrer que certaines zones subissaient depuis une quinzaine d'années une accélération considérable avec par exemple la falaise la plus haute au nord de l'île Madame qui a vu son taux d'érosion quasiment multiplié par 2,5, atteignant un recul moyen de 20 cm par année. Ce qui nous amène à l'autre type de solution, qui concerne **la protection du pied de la falaise** par des parades géotechniques limitant l'érosion marine et stabilisant le pied de talus. Ces solutions sont plus durables.

Pour le linéaire du trait de côte de Port-des-Barques, trois solutions sont retenues :

- **Les enrochements ou « perrés »** sont composés de blocs de pierres ou de béton non liés entre eux. Ils absorbent ainsi une partie de l'énergie de la houle qui s'engouffre dans les vides de la structure. La partie de l'énergie non absorbée est réfléchiée en amont de l'ouvrage. La taille, la nature et la disposition des blocs doit être réfléchiée pour convenir à l'intensité et à l'exposition aux vagues. Les enrochements sont souvent plus adaptés à une exposition modérée, ce qui est le cas pour l'île Madame. Ils s'incluent relativement bien dans le paysage, mais sont plus facilement franchissables lors de tempête.
- **Le rechargement des cordons littoraux en pied de falaise**, a pour objectif de compenser le déficit sédimentaire du littoral dû à l'érosion marine naturelle et/ou aux impacts anthropiques. Cette méthode, dont l'impact paysager est peu significatif, permet de limiter l'érosion du pied de la falaise contre les actions marines (réduction de l'efficacité de l'action des houles) et d'avoir **un effet stabilisateur du pied** de la falaise.

Les matériaux prélevés doivent être situés proche du site de dépôt pour limiter les coûts. De plus, le volume du gisement doit être suffisamment important pour toutes les opérations d'alimentation (rechargements réguliers). Une bonne qualité des sables ou galets est primordiale (ne pas apporter des sédiments pollués ou plus fins que ceux de la plage rechargée).

- **Les contreforts en béton** au droit des zones rocheuses sous-cavées, des caves pouvant sur le long terme provoquer des instabilités comme ce qui se produit au Nord-Ouest de l'île Madame (figure 21). L'intervention reste simple en pied de falaise, mais délicate dans la pente. Cependant dans certains cas, il convient d'avoir recours à des entreprises spécialisées. Cette technique est **durable**. Cette solution reste non adaptée aux instabilités meubles. L'impact paysager reste important malgré l'intervention localisée. L'entretien doit être régulier.

Pour ce qui est des cordons de galets qui ne sont pas encore protégés, le trait de côte pourrait être stabilisé par **un cordon d'enrochement** (même fonctionnement que pour la protection des côtes rocheuses)

Les marais au Sud de l'île Madame, sont **des environnements extrêmement dynamiques**, autant sujets à de l'érosion qu'à de l'accrétion. N'ayant pas d'enjeux anthropiques dans le secteur, il suffit de **préserver l'équilibre** qui s'y trouve, pour cela **protéger la végétation** qui les couvre est primordiale.

Tables des figures

Figure 1. Définition du risque d'érosion côtière (fragilisation des falaises générant des glissements de terrain ou destruction de dunes vives)	5
Figure 2. Bornes géographiques, la commune de Port-des-Barques	8
Figure 3. Choix des indicateurs du trait de côte, exemple côte nord et nord/est de l'île Madame, AUGIS.T, 2021	13
Figure 4. Fonctionnement de l'Add-in DSAS, extension du logiciel ArcGIS	14
Figure 5. Récapitulatif des résultats obtenus pour la partie nord de l'île Madame.	16
Figure 6. Image de la succession des positions du trait de côte au niveau du puits des insurgés, AUGIS.T, 2021	17
Figure 7. Carte de l'évolution du trait de côte dans la zone A entre 1950 et 2018, AUGIS.T, 2021	18
Figure 8. Carte des rythmes d'évolution en 3 périodes sur le secteur de la zone A, AUGIS. T, 2021	19
Figure 9. Archives iconographiques du puits des insurgés, (A) une représentation manuscrite du Capitaine Lacombe datant de 1877, (B) et (C) sont des cartes postales de 1900 et 1925, appartenant au fonds d'archive de l'écomusée de Port-des-Barques, (D) photographie du puits des insurgés prise en novembre 2021 par Timothé AUGIS	20
Figure 10. Report des différents traits de côte historiques sur une photo aérienne de 1967 (à gauche) et sur une image satellite de 2018 (à droite)	21
Figure 11. Carte de l'évolution du trait de côte dans la zone B entre 1950 et 2018, AUGIS.T, 2021	22
Figure 12. Récapitulatif des résultats obtenus pour la partie nord de l'île Madame.	23
Figure 13. Image de la succession des positions du trait de côte, secteur Sud-Est de l'île Madame, AUGIS.T, 2021	24
Figure 14. Carte de l'évolution du trait de côte dans la zone C entre 1950 et 2018, AUGIS.T, 2021	25
Figure 15. Carte des rythmes d'évolution en 3 périodes sur le secteur de la zone A, AUGIS. T, 2021	26
Figure 16. Orthophotographies de 1982, 2001 et 2018 montrant la disparition d'anciens bassins de marais salant	26
Figure 17. Graphique détaillant le type d'évolution sur chacune des périodes	27
Figure 18. Graphique représentant l'évolution de la zone C selon les différentes périodes	27
Figure. 19. Tracés du trait des côtes historiques de la falaise nord de Port-des-Barques, mis en relation avec les résultats obtenus à la suite de l'analyse statistique obtenue avec le DSAS.	28
Figure 20. État des lieux des risques futurs dû à l'érosion côtière, AUGIS Timothé, 2022	29
Figure 21. Érosion de la falaise nord de l'île Madame, photographie prise en novembre 2021	30