



MASTER SML

SCIENCES DE LA MER ET DU LITTORAL
MENTION

EXPERTISE ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT LITTORAL

Quentin RUAUD

Étude du trait de côte et communication sur
la commune de Plouguerneau
Poursuite de l'atelier Litto'Risques

Mémoire de stage de Master 2

Année Universitaire 2020-2021

Structure d'accueil : **Mairie de Plouguerneau**

Tuteur universitaire : **Iwan LE BERRE**

Maître de stage : **François GOARIN**



Remerciements :

Je tiens tout d'abord à remercier **François Goarin** - maître de stage et directeur général des services de la mairie de Plouguerneau, pour les points réguliers et la liberté de travail offerte au cours de ce stage. Merci également de m'avoir offert la possibilité de découvrir l'île vierge avec le reste des membres de la mairie.

Par la même occasion, je remercie les élus pour leur confiance et qui ont suivi tous les mois l'avancement de ce travail. On peut notamment citer **Yannig Robin** - maire de Plouguerneau, **Arnaud Henry** - 6^{ème} adjoint et délégué aux travaux, **Alain Romey** - conseiller municipal délégué à l'urbanisme, **Andrew Lincoln** - conseiller municipal délégué à la communication et à la langue bretonne et vice-président de la CCPA.

D'une manière générale, merci aux membres de la mairie pour leur accueil et leur bienveillance tout du long du stage :

Merci à **Tony Cotton** - responsable de la communication, pour son aide et ses avis notamment pour la rédaction des communiqués de presse.

Merci également à **Félicien Bourhis** - chef de service éducation-jeunesse, pour ses cours de conduite sur la Nissan LEAF électrique qui m'a permis de faire mes sorties terrain.

Ensuite je remercie **l'ensemble des habitants** ayant participé à la collecte d'images pour leurs précieuses photographies et les nombreuses histoires qu'ils ont partagées avec moi.

De plus, un grand merci à **Myriam Diascorn** - responsable du pôle environnement et travaux de la CCPA et **Mickaël GUILLOU** - technicien ENS, pour leur avis sur les moyens de communication et pour leur participation dans la présentation du projet Coast Appli.

En outre, merci aux membres de l'Université de Bretagne Occidentale pour le suivi et la réponse à certaines de mes interrogations.

En premier lieu, je tiens à remercier **Iwan Le Berre** - enseignant-chercheur en géographie et tuteur universitaire, pour le suivi et la bonne orientation du stage.

Ensuite merci à **Serge Suanez** - enseignant-chercheur en géographie physique et **Alain Hénaff** - enseignant-chercheur en géographie, pour leurs conseils et les réponses à mes questions techniques.

Enfin, merci à **Pauline Letortu** - enseignante-chercheuse et **Jean-Marie Derval** - stagiaire sur la phase de test de Coast Appli sur la commune de Guissény, pour l'intérêt porté sur la commune de Plouguerneau et le possible partenariat qui en découlera.

Sommaire

I. Préambule	1
II. Contexte de l'étude	1
A. Objectifs du stage.....	1
B. Dans la poursuite de l'atelier Litto'Risques.....	1
B.1. Rappel du contexte de l'étude et du travail réalisé	1
B.2. Conclusions de l'étude	2
B.3. Poursuite et préconisations	3
III. Méthode de travail	4
A. Évolution du trait de côte et modélisations.....	4
A.1. Méthodes disponibles	4
A.2. Numérisation du trait de côte par photo-interprétation.....	6
A.2.a. Marqueurs du trait de côte	6
A.2.b. Outils et méthodes de numérisation	6
A.3. Mesure des taux d'évolution	9
A.3.a. Approche de la ligne de référence	9
A.3.b. Approche basée sur les aires	12
A.3.c. Incertitudes	14
A.4. Trait de côte prospectif pour 2100	15
B. Communication et sensibilisation sur la mobilité littorale et les risques associés.....	18
B.1. Réflexion sur les moyens de communication.	18
B.1.a. Contexte	18
B.1.b. Idées de communication proposées	18
B.2. Présentation de la carte narrative.....	21
B.2.a. Objectifs et inspirations	21
B.2.b. Plan de la carte narrative	22
B.3. Méthode des reconductions photographiques	27
B.3.a. Collecte d'images	27
B.3.b. Datation et localisation des images	29
B.3.c. Reconductions photographiques sur le terrain	31
B.3.d. Intégration à la carte narrative	33
IV. Résultats et analyse	34
A. Évolution du trait de côte	34
A.1. Quantification des vitesses d'évolution	34
A.2. Projections et Enjeux impactés	37
A.2.a. Projection des surfaces perdues	37
A.2.b. Enjeux impactés	39

A.3.	Résumé, limites et perspectives	41
A.3.a.	Résumé.....	41
A.3.b.	Limites	41
A.3.c.	Perspectives	41
B.	Carte narrative	43
B.1.	Mise à disposition et résultats des reconductions photographiques.....	43
B.2.	Limites et perspectives.....	44
B.2.a.	Limites	44
B.2.b.	Perspectives	44
V.	Conclusion	46
VI.	Bibliographie	47
VII.	Annexes.....	48

Liste des Figures

Figure 1 : Membres du partenariat Litto'Risques, atelier Plouguerneau 2020 - 2021.	1
Figure 2 : Secteurs étudiés pendant l'atelier Litto'Risques.	2
Figure 3 : Appareil de mesure relié au système DGPS, Baie de Goulven (Finistère), 28/05/2021, Quentin Ruaud.	4
Figure 4 : Appareil distancemètre inclinomètre, falaises de la Presqu'île de Crozon (Finistère), 12/03/2020, Quentin Ruaud.	4
Figure 5 : Fonctionnement de la technique Lidar, (OR2C).	5
Figure 6 : Représentation schématique de différents indicateurs de trait de côte (Boak and Turner, 2005, adapté et traduit par le BRGM).	6
Figure 7 : Marqueurs utilisés pour numériser le trait de côte.	7
Figure 8 : Part du littoral numérisé par rapport au reste de la commune.	8
Figure 9 : Le TDC de 2017 en limite de canopée est en recul par rapport au TDC de 1952.	8
Figure 10 : Ligne de référence 8 mètres en arrière du trait de côte le plus récent.	10
Figure 11 : Transects espacés de 5 mètres et intersections avec le trait de côte 1952 et 2017.	10
Figure 12 : Manipulation Excel pour positionner les valeurs de 1952 code 1 à la place des valeurs des points de 2017 code 0, pour avoir toutes les valeurs sur le même TDC.	11
Figure 13 : Intersections entre les transects et le trait de côte 2017 avec valeurs de recul.	11
Figure 14 : Surface perdue entre 1952 et 2017.	12
Figure 15 : Intersection des deux couches vecteur permettant de déterminer la surface d'érosion.	13
Figure 16 : Segmentation et quantification des surfaces.	13
Figure 17 : Approche utilisée selon la localisation.	14
Figure 18 : Décalage moyen entre la numérisation de deux étudiants d'une même portion de littoral à partir de différentes orthophotographies.	15
Figure 19 : Projection du trait de côte 2100 à l'aide des données de recul mesurées.	16
Figure 20 : Représentation du TDC 2100 et des surfaces gagnées ou perdues avec ou sans maintien des ouvrages.	17
Figure 21 : Incompréhension des habitants sur la gestion du sentier littoral, Ouest-France, 03/03/2021.	18
Figure 22 : Dépliant disponible à l'office de tourisme, Golfe du Morbihan.	18
Figure 23 : Localisation des panneaux d'information à Plouguerneau, 2021.	19
Figure 24 : Station pour téléphone utilisée par Coast Snap, OCLM.	19
Figure 25 : Magnet distribué par l'EPTB Seine Grands Lacs.	20
Figure 26 : Couverture des BD "Jamais" et "Le signal de l'océan".	20
Figure 27 : Ligne lumineuse créée par Pekka Niittyvirta et Timo Aho.	21
Figure 28 : Carte narrative historique du ROL.	22
Figure 29 : Schémas 3D de la notion de risque, Quentin Ruaud 2021.	23
Figure 30 : Explication des différents types de submersions marines sur la carte narrative en ligne, Quentin Ruaud 2021.	23
Figure 31 : Représentation simplifiée des transferts sédimentaires sur le littoral, Quentin Ruaud 2021.	24
Figure 32 : Représentation de la position des continents lorsque le niveau marin était 250 mètres plus haut qu'aujourd'hui.	24
Figure 33 : Balayage de l'évolution de l'urbanisation en 1952 et 2017 sur Plouguerneau.	25
Figure 34 : Balayage d'un reconduction photographique disponible sur la carte narrative, Kervenni, (à gauche) date inconnue (à droite) 2021.	25
Figure 35 : Page de couverture du DICRIM de Plouguerneau.	26
Figure 36 : Représentation 3D du bâti impacté par une submersion marine a plus ou moins long terme, Porz Gwenn – Porz Grac'h.	26
Figure 37 : Post Facebook, site internet de la mairie et Première page du Bulletin d'Information Municipal (BIM).	27

Figure 38 : Articles du Télégramme (1), du Ouest-France (2) et d'Abers Info (3).....	28
Figure 39 : Position de prise de vue et angle de champ des images.	29
Figure 40 : Éléments de paysage permettant de situer et dater la photographie, Porz Gwenn [1910-1929]. .	29
Figure 41 : Éléments de paysage que l'on peut retrouver sur les photographies aériennes, orthophotographie de l'IGN (1952).	30
Figure 42 : Chronologie des ports d'attache de Plouguerneau de 1882 à 2021, Yves Bramoullé.	30
Figure 43 : Système SIG de terrain, véhicule et escabeau, Koréjou, 2021, Quentin Ruaud.	31
Figure 44 : Date et localisation des journées de terrain.	31
Figure 45 : Beg ar C'hastell, à gauche date inconnue, à droite 2021 Quentin Ruaud.	32
Figure 46 : Moulin du traon, à gauche 1900, à droite 2021 Quentin Ruaud.	32
Figure 47 : Kastell Ac'h, à gauche [1934-1945] Gaby, à droite 2021 Quentin Ruaud.	32
Figure 48 : Kervenni, à gauche date inconnue Jos, à droite 2021 Quentin Ruaud.	32
Figure 49 : Étapes du calage des images et intégration à la carte narrative.	33
Figure 50 : Surfaces de terrain gagnées ou perdues sur les deux périodes.....	34
Figure 51 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 1952 et 2017.....	35
Figure 52 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 2000 et 2017.....	36
Figure 53 : Surfaces gagnées ou perdues sur la commune de Plouguerneau à l'horizon 2100.	38
Figure 54 : Projections des surfaces gagnées ou perdues avec ou sans entretien des ouvrages d'ici 2100.	38
Figure 55 : Nombre d'entités bâties sur terrain potentiellement érodable à l'horizon 2100 avec et sans entretien des ouvrages.	39
Figure 56 : Longueur de sentier potentiellement érodable de Plouguerneau à l'horizon 2100 avec et sans entretien des ouvrages.	40
Figure 57 : Enjeux bâtis et sentier impacté par l'aléa érosion.	40
Figure 58 : Meledan, 05/10/2020 Quentin Ruaud.....	41
Figure 59 : Exemple de repères pour les protocoles, plage du Zorn, Plouguerneau (J.M. Derval, 9/08/2021).	42
Figure 60 : Protocoles applicables sur les différents sites.	42
Figure 61 : Proportion des différentes parties de la carte narrative en ligne.....	43
Figure 62 : Tris des images nécessaires aux reconductions photographiques.	43
Figure 63 : Emplacement possible de panneaux photo.....	44
Figure 64 : Affiche du troisième atelier participatif organisé par la CLCL, 01/07/2021.....	45

Liste des Annexes

Annexe 1 : Schéma des facteurs à l'origine d'une submersion marine, BRGM : adapté et simplifié.....	48
Annexe 2 : Exemples de marqueurs du trait de côte.....	48
Annexe 3 : Variation du niveau marin depuis 350 millions d'années, d'après Ifremer 2012, adapté et simplifié par Quentin Ruaud.....	49
Annexe 4 : Variation du niveau marin depuis le dernier maximum glaciaire, d'après Fairbanks 1989, adapté et simplifié par Quentin Ruaud.	49
Annexe 5 : Variation du niveau marin depuis la période préindustrielle, d'après CIPCC 2017, GIEC 2019, E.U. Copernicus Marine Information 2020.....	49
Annexe 6 : Article du Ouest-France, 28/04/2021.	49
Annexe 7 : Article du Télégramme 22/04/2021.....	49
Annexe 8 : Article d'Abers Info, 06/2021.....	49
Annexe 9 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 1952 et 2017 - zoom 2.	49
Annexe 10 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 1952 et 2017 - zoom 149	149
Annexe 11 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 2000 et 2017 - zoom 149	149
Annexe 12 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 1952 et 2017 - zoom 349	349
Annexe 13 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 2000 et 2017 - zoom 349	349
Annexe 14 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 2000 et 2017 - zoom 249	249
Annexe 15 : Enjeux bâtis et sentier impactés par l'aléa érosion.	49

I. Préambule

Ce présent rapport a été réalisé dans le cadre d'un Master 2 expertise et gestion de l'environnement littoral, du 1^{er} mars au 27 août 2021. Il s'est déroulé à la mairie de Plouguerneau et a été encadré par François Goarin, directeur général des services de la mairie de Plouguerneau. Ce rapport s'inscrit dans la continuité de l'atelier entamé en octobre 2020 via le partenariat Litto'Risques et fournit un état des lieux et une analyse de la dynamique littorale plouguernéenne. Il fournit également les réflexions et les moyens de communication mis en place concernant la compréhension des dynamiques littorales et les risques associés sur la commune.

II. Contexte de l'étude

A. Objectifs du stage

Les objectifs principaux du stage consistent d'une part à **mesurer et analyser la mobilité du trait de côte** depuis 1952 sur toute la commune via des images aériennes. La poursuite de ce travail entamé pendant l'atelier Litto'Risques a pour but d'avoir une meilleure connaissance de l'évolution générale du littoral Plouguernéen pour permettre d'améliorer les prises de décisions en termes de gestion à l'avenir. D'autre part, ce stage consiste à la **mise en place d'outils de communication** sur la mobilité littorale et les risques côtiers afin d'améliorer les connaissances et la culture du risques des habitants de la commune.

B. Dans la poursuite de l'atelier Litto'Risques

B.1. Rappel du contexte de l'étude et du travail réalisé

Après une prise de conscience des risques d'érosion et de submersion marine suite aux tempêtes de 2013-2014, la mairie de Plouguerneau pour mieux comprendre ces risques, a souhaité disposer d'un diagnostic actualisé du littoral Plouguernéen. Dans ce cadre, un atelier composé de huit étudiants du Master 2 Expertise et Gestion de l'Environnement Littoral (IUEM/UBO) a été proposé à la commune dans le cadre du partenariat Litto'Risques. Ce partenariat entre le Conseil Départemental du Finistère (CD 29), l'Université de Bretagne Occidentale (UBO) et le Centre d'études et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA) a pour vocation d'assister et d'accompagner les collectivités vers une gestion intégrée et plus durable de leur trait de côte (Figure 1).



Figure 1 : Membres du partenariat Litto'Risques, atelier Plouguerneau 2020 - 2021.

Ainsi, l'étude a débuté le 20 septembre 2020 avec une réunion entre les étudiants, encadrants et certains élus et employés de la commune et s'est terminée le 12 février 2021 avec une présentation orale à distance où étaient notamment présents la commune, le département, les collectivités voisines, le CEREMA ou encore la direction générale de l'environnement¹.

¹ Rapport et présentation orale de l'atelier Litto'Risques : <https://www.risques-cotiers.fr/connaitre-les-risques-cotiers/projets/littorisques/>

Le **diagnostic de l'exposition de la commune aux risques côtiers** considérant les aléas érosion et submersion marines qui a été réalisé, avait donc pour but d'identifier les risques sur certains secteurs à enjeux et de proposer des stratégies de gestion en fonction du problème rencontré. Pour cela et comme le littoral de Plouguerneau est conséquent, l'étude s'est concentrée sur quatre zones à enjeux du littoral Plouguernéen. Il s'agit des falaises du Zorn, de la côte allant de Saint-Michel au Koréjou en passant par Penn Enez, de Porz Gwenn et de la pointe de Kastell Ac'h (Figure 2).

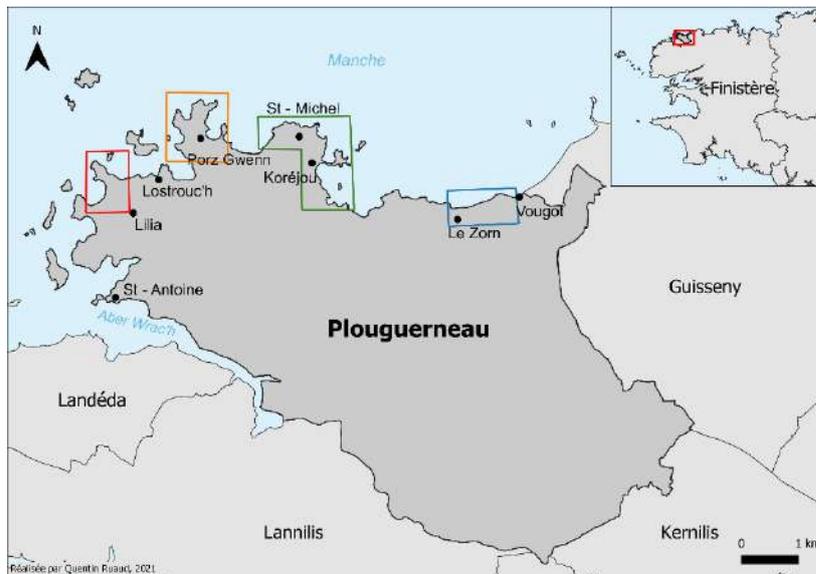


Figure 2 : Secteurs étudiés pendant l'atelier Litto'Risques.

Pour réaliser ce travail, **des enquêtes** ont été réalisées auprès des habitants et **des entretiens semi-directifs** ont été menés avec des élus de Plouguerneau afin de connaître la perception des habitants sur les risques ou les aménagements côtiers. Un **important travail de cartographie** a également été réalisé afin de croiser les aléas avec les enjeux ou pour recenser les ouvrages côtiers. Enfin, **un travail de bibliographie** a été nécessaire pour accéder aux informations sur la commune, pour évaluer l'importance des aléas ou pour proposer des stratégies de gestion pertinentes.

B.2. Conclusions de l'étude

Elles insistent sur l'intérêt de **comprendre l'origine géologique de la formation des littoraux actuels** afin de mieux appréhender les processus à l'œuvre. De plus, le littoral de Plouguerneau long de 45 km, a une place importante pour le développement socio-économique de la commune en lien avec l'augmentation des enjeux sur le littoral et donc du risque. En outre, la cartographie du croisement des aléas et des enjeux sur les zones sélectionnées montre que **la commune n'est pas dans une situation alarmante** par rapport à d'autres communes littorales. Cependant, il ressort clairement que la commune est bien plus exposée à l'aléa submersion marine qu'à l'aléa érosion côtière. De plus, les habitants semblent conscients du risque d'habiter proche du littoral. Toutefois d'après les conclusions de l'étude, ce risque modéré doit être pris en compte dès maintenant afin de **limiter la gestion dans l'urgence** trop souvent appliquée. Il est désormais nécessaire de changer de point de vue et de mettre en place comme le propose l'État, une stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte. Dans cette optique, des stratégies de gestion ont été proposées sur le court, moyen et long terme. Ces stratégies sont plus ou moins applicables en fonction de l'échelle temporelle et des différents sites d'étude. Sur le long terme notamment, cette stratégie préconise de déplacer les enjeux en les relocalisant.

B.3. Poursuite et préconisations

L'information et la sensibilisation sont donc des éléments indispensables pour une gestion intégrée du trait de côte qui permet de réduire une partie du risque en développant la connaissance. Il serait donc intéressant de développer ces éléments, notamment via la participation des habitants autour d'ateliers participatifs qui pourraient permettre de les intégrer dans le processus de décision. Ils pourraient également permettre de mieux cibler les problématiques et de mieux faire accepter certaines décisions.

De plus, **des études complémentaires** sont nécessaires sur les sites sélectionnés et sur le reste de la commune afin de déterminer les risques auxquels fait face le reste de la commune et pour définir une liste exhaustive des vulnérabilités de la commune. Des suivis sur le long terme de certains sites permettraient également de mieux quantifier les évolutions du trait de côte et appliquer les mesures de gestion les plus adaptées.

Ce stage s'inscrit donc dans **la poursuite de ce travail** à la fois en ce qui concerne de **développement de la sensibilisation et communication** auprès de la population. Mais également en ce qui concerne **l'étude de la mobilité du trait de côte** sur l'ensemble du littoral.

III. Méthode de travail

A. Évolution du trait de côte et modélisations

A.1. Méthodes disponibles

Afin de répondre aux objectifs du stage quant à la quantification et l'analyse de la dynamique côtière sur la commune de Plouguerneau, une méthodologie réalisable et adaptée a été mise en place. Cette méthodologie consiste à numériser le trait de côte à partir d'images aériennes datant de 1952, 2000 et 2017 ; puis de **comparer la position de ces différents tracés**, comme détaillée par la suite. Toutefois, **d'autres outils et méthodes** de précision et d'échelles de restitution diverses **existent** et peuvent également être utilisés en fonction des objectifs à atteindre et des moyens à disposition (Mallet et Michot, 2012). Ces outils et méthodes sont présentés brièvement afin d'avoir une vision d'ensemble, et de mieux situer la méthode utilisée parmi celles existantes.

Tout d'abord, le **DGPS (Differential Global Positioning System)** est un système régulièrement utilisé par de nombreuses structures en charge de l'étude de la mobilité du trait de côte. Le GPS différentiel basé sur ce système est un appareil de mesure permettant une précision centimétrique en XY et Z (Figure 3). Pour cela il est relié à des stations fixes de position connue permettant de corriger les erreurs de localisation mesurées par les satellites. Des bornes de position géographique connue situées généralement au niveau des têtes de station permettent également d'augmenter la précision et de caler les mesures. Ce dispositif nécessite néanmoins d'avoir une emprise géographique relativement petite à traiter, une couverture de satellites et de stations suffisante et de posséder l'appareil de mesure ou faire appel à des structures spécialisées. En outre, pour réaliser une étude de la dynamique littorale sur le long terme, il est nécessaire d'avoir des mesures des années précédentes. Pour toutes ces raisons, cet outil n'a pas été utilisé au cours de ce stage.



Figure 3 : Appareil de mesure relié au système DGPS, Baie de Goulven (Finistère), 28/05/2021, Quentin Ruaud.

Ensuite, le **distancemètre inclinomètre** est un autre outil permettant de suivre l'évolution du trait de côte dans le temps (Figure 4). Il s'agit d'un laser permettant de mesurer les distances entre la station et une surface sur un même profil. Il est donc possible de prendre plusieurs



Figure 4 : Appareil distancemètre inclinomètre, falaises de la Presqu'île de Crozon (Finistère), 12/03/2020, Quentin Ruaud.

points de mesure en faisant varier l'inclinaison. La distance à l'objet et l'angle par rapport à l'horizontale, permettent de calculer la variation de hauteur selon la distance et donc la topographie avec une précision centimétrique sur le même principe que le tachéomètre. Ces mesures sont généralement reliées à des bornes fixes de position géographique connue. Ce dispositif est approprié pour les mesures topographiques inaccessibles à pied comme les falaises, mais nécessite néanmoins d'avoir une emprise géographique relativement petite à traiter et de posséder l'appareillage associé.

En outre, la technique du **LIDAR** (**L**ight **D**etection **A**nd **R**anging) permet de positionner le trait de côte à l'aide de levés topographiques, bathymétriques et topobathymétriques même si cette technique est principalement utilisée pour quantifier les déplacements de masses sédimentaires. Le principe est basé sur l'émission et la réception d'impulsions laser (Figure 5), permettant une précision théorique de l'ordre du millimètre pour sa version terrestre. La version aéroportée permet une précision planimétrique de l'ordre de 30 cm et altimétrique de 15 - 20 cm sur de grandes superficies. Outre sa grande précision, la technique du lidar permet une résolution des données de la dizaine de centimètres

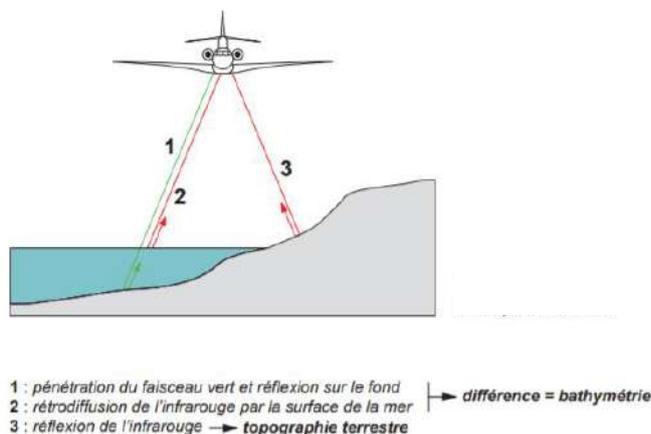


Figure 5 : Fonctionnement de la technique Lidar, (OR2C).

au mètre, cependant cela **nécessite un important traitement des données** afin d'éliminer la végétation pour avoir la surface au sol. Sans appareillage et données préalables, cette technique est dépendante des campagnes de mesure existantes, mais à l'heure actuelle, seulement une campagne est disponible dans le Finistère via les données Litto 3D de l'IGN et du SHOM.

Enfin, la **photo-interprétation** est la méthode utilisée pour cette étude. Elle est basée sur des photographies aériennes rectifiées ainsi que sur des images satellites. Le principe consiste à **numériser le trait de côte** à l'aide de **marqueurs visuels** que l'on peut déterminer sur toutes les orthophotographies. Les incertitudes associées à cette méthode sont de plusieurs mètres ici, mais la résolution des données est de 50 cm et une grande emprise géographique peut-être étudiée. De plus, le point fort de cette méthode est de pouvoir déterminer la position du trait de côte en **remontant jusqu'à 1952**, ce qui est un avantage pour mesurer les évolutions multiséculaires. Cette méthode nécessite un travail de numérisation et de traitement important, mais une fois les orthophotographies acquises, elle ne demande aucun investissement financier supplémentaire. Le déroulement détaillé des étapes de la méthode utilisée est présenté par la suite.

Par ailleurs, des photographies au sol peuvent également être utilisées pour réaliser des reconstructions photographiques, elles permettent d'avoir des résultats quantitatifs ou qualitatifs afin de compléter des mesures plus précises et peuvent être réalisées par un public large^{2,3}(IV.A.3.c).

² <https://observatoire-littoral-morbihan.fr/coastsnap-morbihan-2-2/>

³ <https://www.cerema.fr/fr/actualites/rivages-application-smartphone-participer-surveillance-du>

A.2. Numérisation du trait de côte par photo-interprétation

Ainsi, la première étape pour numériser le trait de côte consiste à déterminer les marqueurs du trait de côte pertinents pour la zone d'étude et les images aériennes ou satellites disponibles. Pour cela il faut préciser le terme « trait de côte » et détailler cette première étape qu'est la numérisation de celui-ci.

A.2.a. Marqueurs du trait de côte

D'un point de vue théorique, le trait de côte est représentatif d'une limite terre-mer et permet de quantifier les évolutions du rivage en termes de recul, de stabilité ou d'avancée (BRGM, 2012). Comme il n'existe pas de définition du trait de côte généralisable à tous les environnements, il est nécessaire de se baser sur des indicateurs ou des marqueurs du trait de côte adaptés selon les cas. En effet, il faut notamment veiller à ce que ces marqueurs soient adaptés au contexte géomorphologique et qu'ils soient facilement déterminés sur le terrain ou sur d'autres supports (photographies, documents anciens, MNT ...). Ainsi, Boak et Turner ont dénombré 45 indicateurs différents du trait de côte dans le monde (Boak et Turner, 2005). Ils peuvent se baser sur des éléments géomorphologiques, altimétriques, la limite de végétation ou encore la ligne de déferlement (Figure 6).

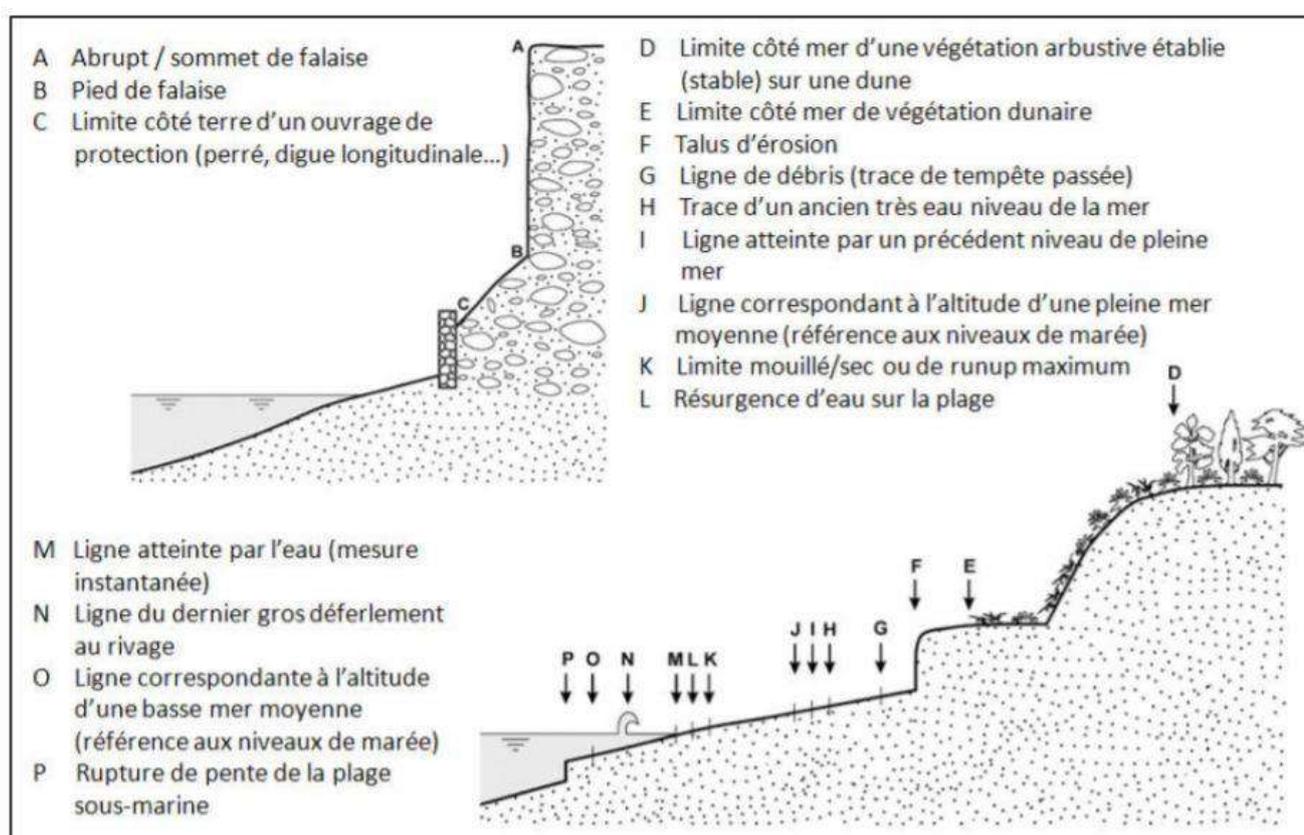


Figure 6 : Représentation schématique de différents indicateurs de trait de côte (Boak and Turner, 2005, adapté et traduit par le BRGM).

A.2.b. Outils et méthodes de numérisation

En prenant en compte les éléments détaillés ci-dessus et dans la continuité du travail réalisé pendant l'atelier Litto'Risques sur certaines portions du littoral plouguernéen, trois marqueurs du trait de côte ont été utilisés. L'un de ces marqueurs est le **sommet des falaises**, il a été pris en compte pour les côtes d'ablation (encadré vert et orange, Figure 7). Pour les côtes d'accumulation sableuses, c'est la **limite de végétation dunaise** qui a

été prise en compte, ce qui correspond généralement à la limite de la rupture de pente dunaire et non à la limite de la dune embryonnaire (encadré bleu, Figure 7). Cela se justifie par le fait que l'échelle de numérisation utilisée de **1 : 500** et la résolution des orthophotographies de **50 cm** sur les trois dates⁴, rendent la détermination et la numérisation peu adaptées pour les dunes embryonnaires. Enfin, pour les portions de littoral artificialisées, c'est **le sommet de la face côtière des ouvrages** qui a été pris en compte (encadré vert, Figure 7). Il est également important de préciser que pour le cas des ouvrages de type enrochements, le trait de côte a été placé entre ceux-ci et le rivage d'origine et non l'extrémité des enrochements côté mer. Ce choix résulte à la fois de la difficulté de numériser l'extrémité des enrochements sur les trois dates, mais également, car cela semblait mieux exprimer les évolutions réelles du rivage sans enrochement. Mis à part ce dernier point, les marqueurs du trait de côte sont les mêmes que ceux utilisés pour réaliser l'indicateur national de l'érosion côtière⁵. Le trait de côte a ainsi été numérisé manuellement à l'aide du logiciel de SIG QGIS et des vérifications sur le terrain ont été nécessaires sur une dizaine de sites lorsque les images aériennes n'étaient pas suffisamment précises.

Ces images aériennes sont les mêmes que celles utilisées pendant l'atelier Litto'Risques. Il s'agit donc des orthophotos de 1952, 2000 et 2017 disponibles en téléchargement sur le site de l'IGN ou en flux WMS⁶. L'étude porte donc sur trois périodes différentes dans la continuité de la précédente étude.

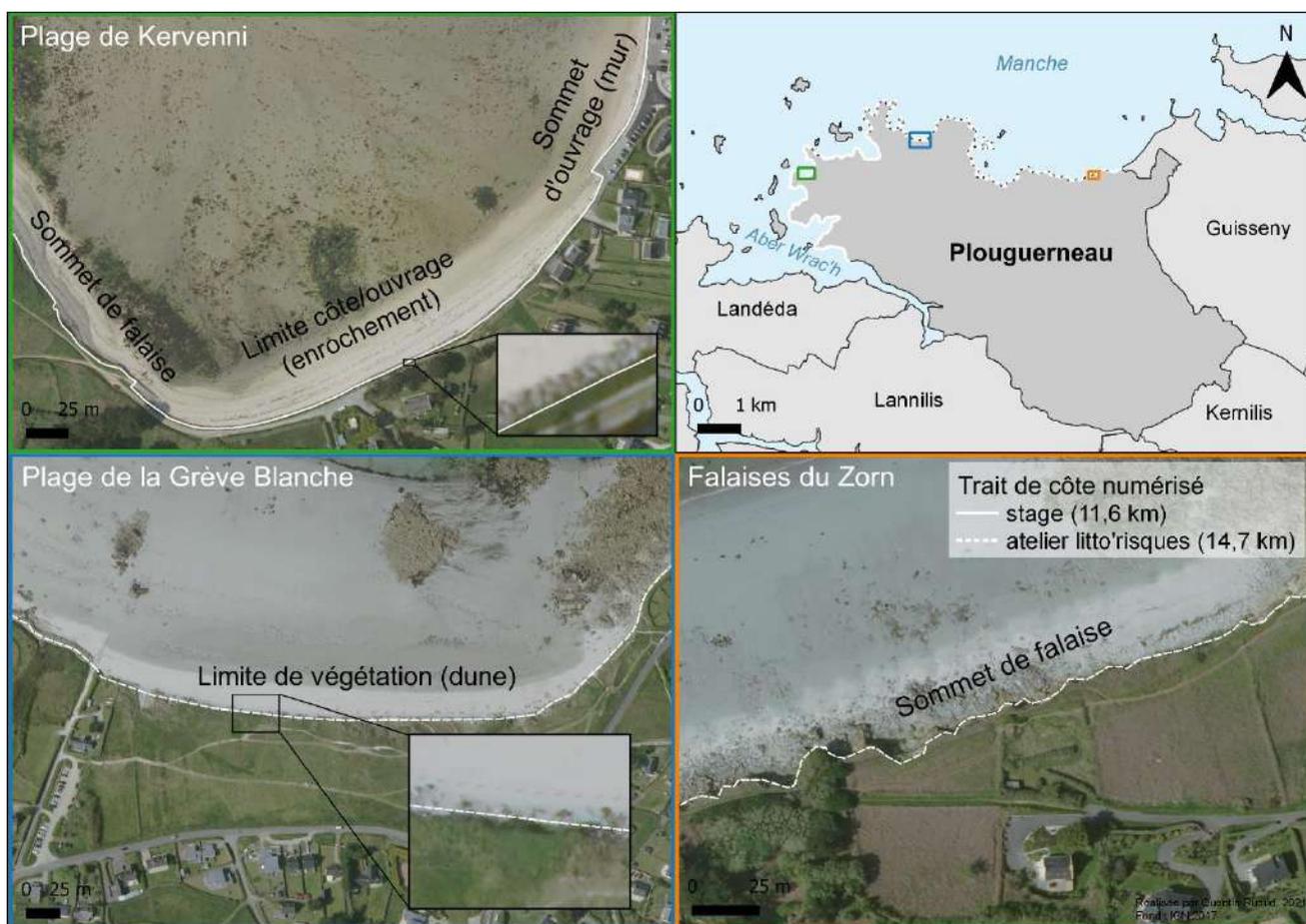


Figure 7 : Marqueurs utilisés pour numériser le trait de côte.

⁴ <https://geoservices.ign.fr/>

⁵ <http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/indicateur-national-de-l-erosion-cotiere-r473.html>

⁶ [crs=EPSG:2154&featureCount=10&format=image/jpeg&layers=satellite&maxHeight=256&maxWidth=256&styles=&url=https://tile.geobretagne.fr/gwc02/service/wms?tilde=true](https://tile.geobretagne.fr/gwc02/service/wms?tilde=true)

Comme indiqué avec le tracé blanc sur la carte de localisation (Figure 7), tout le littoral de la commune n'a pas été numérisé. En effet, **26,3 km, ou 51% de la commune, a été numérisé** (Figure 8). Parmi les 49% restants, 12.6 km correspondent aux îles et îlots de la commune. Ils n'ont pas été numérisés, car les vérifications terrain auraient été difficiles, de plus, ces espaces possèdent peu d'enjeux et cela aurait rallongé grandement l'étape de numérisation et les étapes de calcul des taux d'évolution. Enfin, 12.2 km correspondent à la côte de l'Aber Wrac'h comprise entre la cale de Perroz et le pont du diable. Cette portion n'a pas été numérisée, car la végétation importante masque les marqueurs du trait de côte sur cette portion. En outre, les enjeux y sont peu présents.

Parmi les 26,3 km numérisés, 14,7 km l'ont été pendant l'atelier Litto'Risques par deux étudiants sur la partie nord-est de la commune, de Kelerdut à l'extrémité des falaises du Zorn côté Guissény et une portion du côté de Kastell Ac'h (Figure 7). Au cours de ce stage, ces portions ont été vérifiées et ajustées si nécessaire et **les 11,6 km de TDC restant** ont été numérisés. À noter au passage que les images aériennes disponibles en flux WMS apportent une meilleure résolution que les images téléchargées directement sur le site de l'IGN. Cette variation n'a pas pu être quantifiée, toutefois cela a permis de corriger certaines erreurs d'interprétation. De plus, la longueur totale du littoral de Plouguerneau obtenu s'élève à **51,1 km**, ce qui est plus élevé que les 45 km généralement annoncés. Cela s'explique par le fait qu'une plus grande partie de l'Aber est peut-être prise en compte et surtout par le fait que l'échelle de numérisation est bien plus fine, ce qui augmente inévitablement la longueur du tracé pris en compte dans ces résultats. Pour les îles et îlots, non numérisés dans cette étude, la longueur n'est pas supérieure puisque la longueur prise en compte est le trait de côte histolitt du SHOM et de l'IGN.

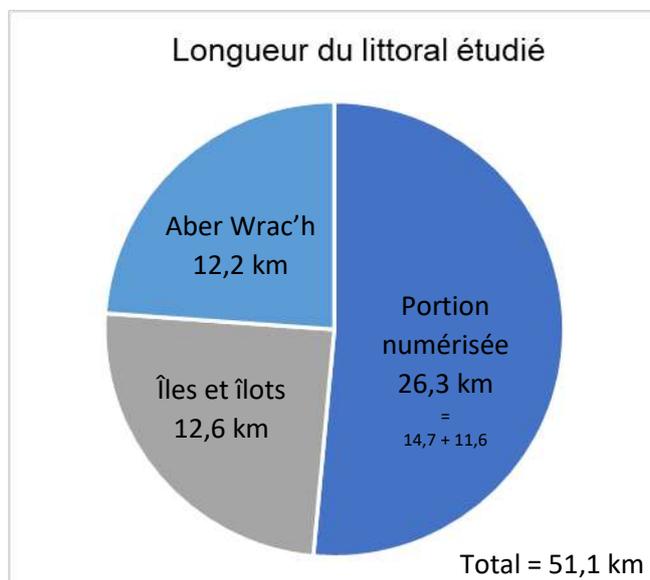


Figure 8 : Part du littoral numérisé par rapport au reste de la commune.



Figure 9 : Le TDC de 2017 en limite de canopée est en recul par rapport au TDC de 1952.

Pour finir, lors de la numérisation, certains éléments peuvent perturber l'analyse. Par conséquent, **des choix ont dû être faits** afin d'éviter les espaces vides et maintenir la continuité du trait de côte. Les plus gros problèmes d'interprétation viennent des ombres et de la végétation haute qui étaient peu présentes en 1952. Pour faire face à ces problèmes qui masquent le rivage, le choix a été fait de ne pas numériser entre deux points où les marqueurs du trait de côte étaient visibles, puis de

relier ces points en ligne droite par la suite. Dans ce cas, cette portion est bien moins précise, son taux d'évolution ne sera donc pas calculé et le déplacement de cette portion apparaîtra comme non significative.

Dans quelques cas, la végétation est présente sur une trop grande distance pour pouvoir appliquer la méthode ci-dessus. Dans ces rares cas, il y a deux possibilités, **la première** est que la limite de la végétation haute est prise en compte, car le recul est visuellement certain (Figure 9), malgré le fait que cette valeur peut être plus ou moins minimisée selon la taille de la canopée des arbres. **La deuxième** est que si une évolution n'est pas visible, le tracé de 1952 est conservé pour les années postérieures, ce qui correspond à une absence de déplacement du trait de côte. Dans ce dernier cas, l'évolution de ces portions est considérée comme non significative.

A.3. Mesure des taux d'évolution

Une fois le trait de côte numérisé sur les trois dates (1952, 2000 et 2017), l'objectif est de quantifier les vitesses d'avancée, de recul ou la stabilité du rivage. Pour cela, plusieurs approches sont disponibles, telles que celles de **la ligne de base**, de **la segmentation dynamique, basée sur l'aire**, ou **l'approche avec l'utilisation des buffers et l'estimation non linéaire des moindres carrés** (Letortu, 2013).

Les approches de la ligne de base et des aires seront détaillées par la suite, car elles ont été utilisées toutes les deux dans le cadre de cette étude de manière complémentaire. La méthode de la ligne de base sera nommée « **méthode de la ligne de référence** » dans la suite de ce rapport, afin d'éviter les éventuelles ambiguïtés avec la ligne de base utilisée en droit maritime.

A.3.a. Approche de la ligne de référence

Cette partie de la méthode est réalisée majoritairement sous SIG avec des étapes réalisées de manière automatique et d'autres de manière manuelle. Une méthode quasiment automatique consiste à utiliser le module DSAS (**D**igital **S**horeline **A**nalysis **S**ystem) du logiciel de SIG ArcGIS. Cependant, ce logiciel nécessite une licence payante, c'est pourquoi il a fallu réfléchir à une méthode pour effectuer ce travail sur le logiciel Qgis qui ne possède pas d'extension dédiée à ce type de travail. Cette réflexion a été entamée durant l'atelier Litto'Risques, mais la méthode utilisée présente un travail manuel très important au regard de la zone à traiter. Les étapes détaillées par la suite sont donc automatisées au maximum afin de diminuer le nombre et la durée des manipulations.

La première étape de cette méthode consiste à **tracer une ligne « de référence »** 8 mètres en arrière du trait de côte de 2017, de manière automatique (Figure 10). Sur certaines zones, des ajustements manuels sont nécessaires afin que cette ligne soit la plus représentative du rivage réel et facilite les traitements postérieurs. La distance entre cette ligne et le trait de côte de 2017 peut donc varier de quelques mètres sur certaines zones par certains ajustements manuels.

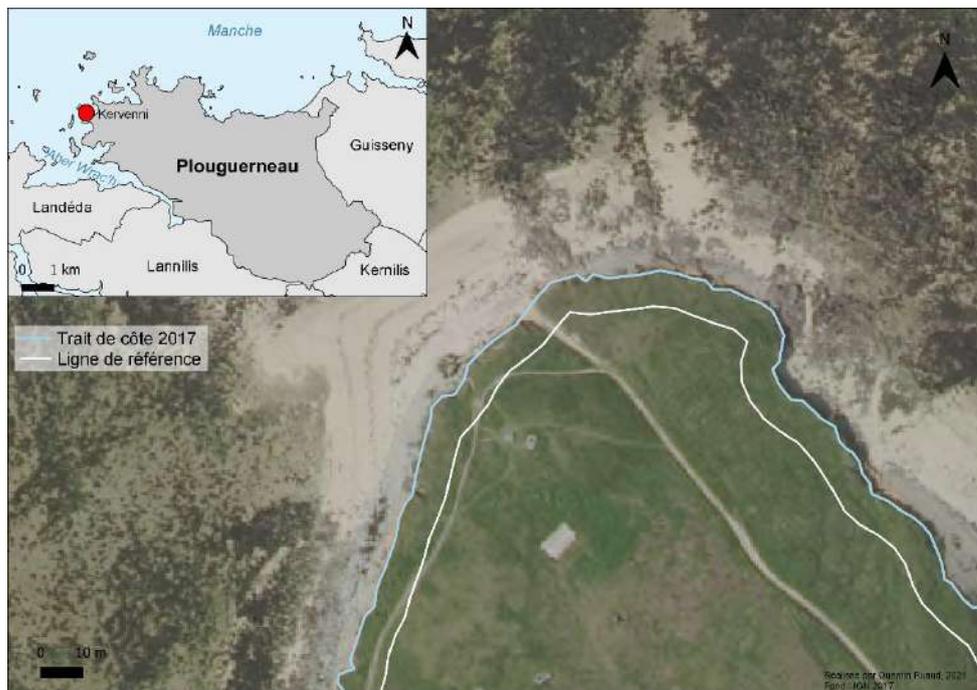


Figure 10 : Ligne de référence 8 mètres en arrière du trait du trait de côte le plus récent.

Ensuite, à partir de cette ligne de référence, **des points sont générés tous les 5 mètres**, et reliés par des lignes pour permettre les traitements.

Perpendiculairement à cette nouvelle ligne de référence, **des transects d'une trentaine de mètres** sont tracés de manière automatique via les outils de traitement Qgis (Figure 11). Par la suite, une vérification est réalisée afin de s'assurer que les 4906 transects intersectent bien chaque trait de côte une seule fois. En effet, la distance entre deux traits de côte sera mesurée par la suite le long de chaque transect de manière automatique.

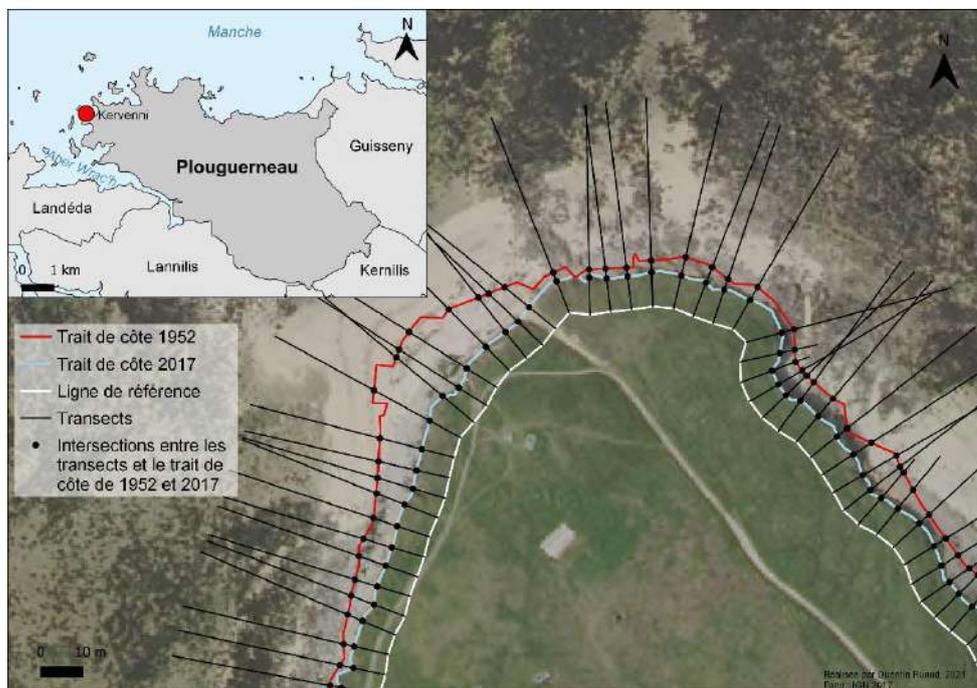


Figure 11 : Transects espacés de 5 mètres et intersections avec le trait de côte 1952 et 2017.

La prochaine étape consiste à **intersecter les deux traits de côte sélectionnés** avec les transects et de générer des points au niveau des intersections. Encore une fois, tous ces traitements sont disponibles via les outils de traitement de Qgis, aucune extension est nécessaire. Ces points permettent par la suite de **fractionner les transects** au niveau de chaque intersection avec les traits de côte. Grâce à cette manipulation et après l'extraction des nœuds sous forme de points à

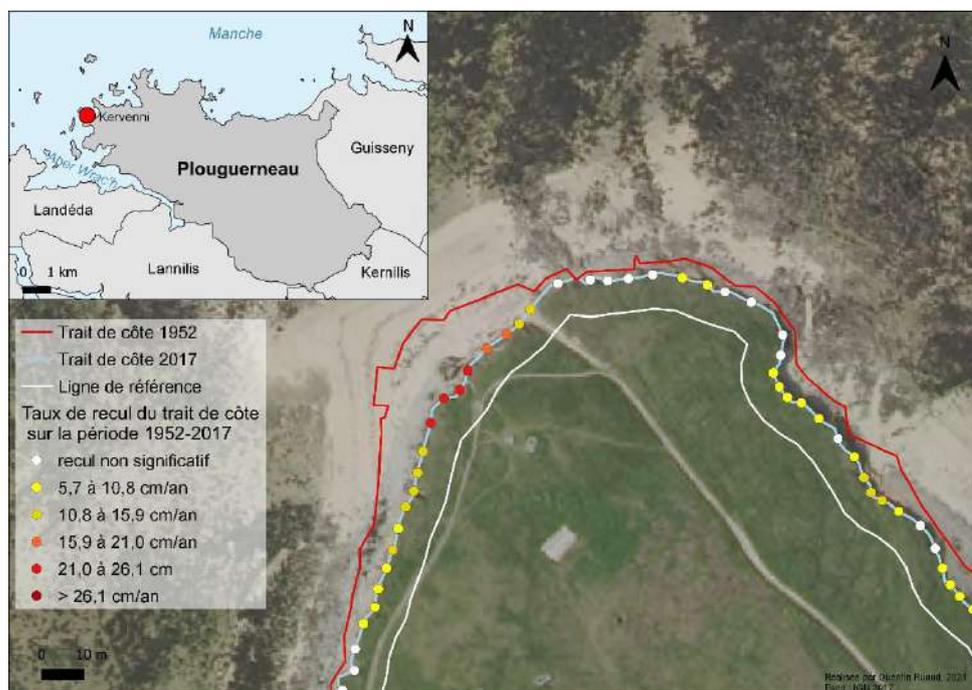


Figure 13 : Intersections entre les transects et le trait de côte 2017 avec valeurs de recul.

partir des transects fractionnés, des points à l'intersection du trait de côte 2017 possédant les valeurs de distance sont obtenus (Figure 13). Cela permet de connaître, la distance en mètre, entre les deux traits de côte étudiés 1952-2017 ou 2000-2017 sur l'ensemble de transects générés. **Toutefois**, quelques manipulations sont nécessaires avant de parvenir à ce résultat. En effet, lorsque l'on fractionne les transects, les valeurs de distance entre les nœuds correspondent au point de début du transect vers le point de fin du transect. En fonction de la position des traits de côte les uns par rapport aux autres, les valeurs seront donc sur l'un ou l'autre des traits de côte. Une petite manipulation de la table attributaire sur Excel permet de mettre les valeurs sur un même trait de côte (Figure 12).

SOMME X ✓ ✗ f_x = (SI(ET(B3=B2;F3=0);C2;C4))

	A	B	C	D	E	F	G
	wkt_geom	TR_ID	distance	X	Y	Code	Distance_bonne
1	Point (150753.53989999741315842 6862255.4090999998152256)	0	6.24454883760539	150753.53989	6862255.409	1	1
2	Point (150756.08959999680519104 6862249.70879999920725822)	0	7.88412416550836	150756.08959	6862249.708	0	0
3	Point (144222.47309999912977219 6860149.46990000084042549)	19	0.68789616839751	144222.47309	6860149.469	1	1
4	Point (144223.12883700669044629 6860149.26202957145869732)	19	7.92212238878576	144223.12883	6860149.262	0	0
5	Point (144223.75500000268220901 6860152.82279999926686287)	20	0.06932550627696	144223.755	6860152.822	1	1
6	Point (144223.82371234850143082 6860152.8136000344529748)	20	7.86696830267979	144223.82371	6860152.813	0	0
7	Point (144224.05330000072717667 6860162.12229999899864197)	22	0.06769239652705	144224.0533	6860162.122	1	1
8	Point (144224.05330000072717667 6860162.12229999899864197)	22	0.06769239652705	144224.0533	6860162.122	1	1

Figure 12 : Manipulation Excel pour positionner les valeurs de 1952 code 1 à la place des valeurs des points de 2017 code 0, pour avoir toutes les valeurs sur le même TDC.

Pour finir, afin d'avoir **toutes les données sur une seule couche vecteur**, l'ensemble des points contenant les valeurs d'avancée ou de recul en mètres des traits de côte sont fusionnés et un signe moins est ajouté pour les zones en recul.

Avant de convertir ces distances en **vitesse de recul en cm/an**, des vérifications manuelles sont réalisées et les valeurs inférieures aux incertitudes sont supprimées. Ces valeurs d'incertitudes, 3,713 m pour la période 1952-2017 et 2,702 pour la période 2000-2017 seront détaillées par la suite. Une fois ces vérifications effectuées, le taux de recul par an sur la période est ajouté dans la table attributaire via la calculatrice de champ en utilisant la formule ci-après.

$$Tx = (x / A) * 100$$

Tx : Taux d'évolution du trait de côte sur la période (1952-2017) ou (2000-2017) en cm / an.

x : Distance entre deux traits de côte de date différente le long d'un transect en m.

A : 65 (1952-2017) ou 17 (2000-2017) : Nombre d'années entre les deux traits de côte.

100 : Conversion des m en cm.

Après quelques vérifications, les points sont reliés pour former des lignes puis 10 classes de valeurs sont générées. Généralement, la distance utilisée entre deux transects est de 50 ou 100 mètres selon les études, ici 5 mètres a été appliqué, ce qui correspond donc à une échelle assez fine. En outre, la méthode de la ligne de référence est **bien adaptée pour les littoraux avec peu d'irrégularités** entre les années comme les plages. Cependant, elle est moins représentative du recul réel pour les côtes à falaises et les côtes irrégulières de manière générale. C'est pour cela qu'**une deuxième méthode a été employée** afin de traiter aux mieux l'ensemble du littoral selon ses spécificités.

A.3.b. Approche basée sur les aires

Cette deuxième méthode est l'approche basée sur les aires. Elle est également réalisée sur Qgis. En plus d'être **mieux adaptée aux côtes irrégulières** (DGPR, 2014), (Basara, 2019), l'utilisation de cette approche via le protocole utilisé, accélère et automatise bien plus les traitements que la méthode précédente.

Ici, la ligne de référence ne sera pas utilisée. En effet, pour permettre les calculs des taux d'évolutions à l'aide des surfaces, la surface entre les deux traits de côte considérés sera quantifiée. Puis, cette surface sera segmentée selon une longueur de côté identique pour toutes les segmentations.

Pour cela, une couche vectorielle avec comme limite le trait de côte le plus récent sur une largeur d'une centaine de mètres vers la mer est générée, ainsi qu'une couche vectorielle débutant du trait de côte le plus ancien sur une largeur d'une centaine de mètres vers les terres. **L'intersection de ces deux couches** (Figure 15) représente la surface d'érosion entre les deux dates (surface blanche, Figure 14). Pour générer les surfaces d'accrétion, il suffit de faire le processus inverse.

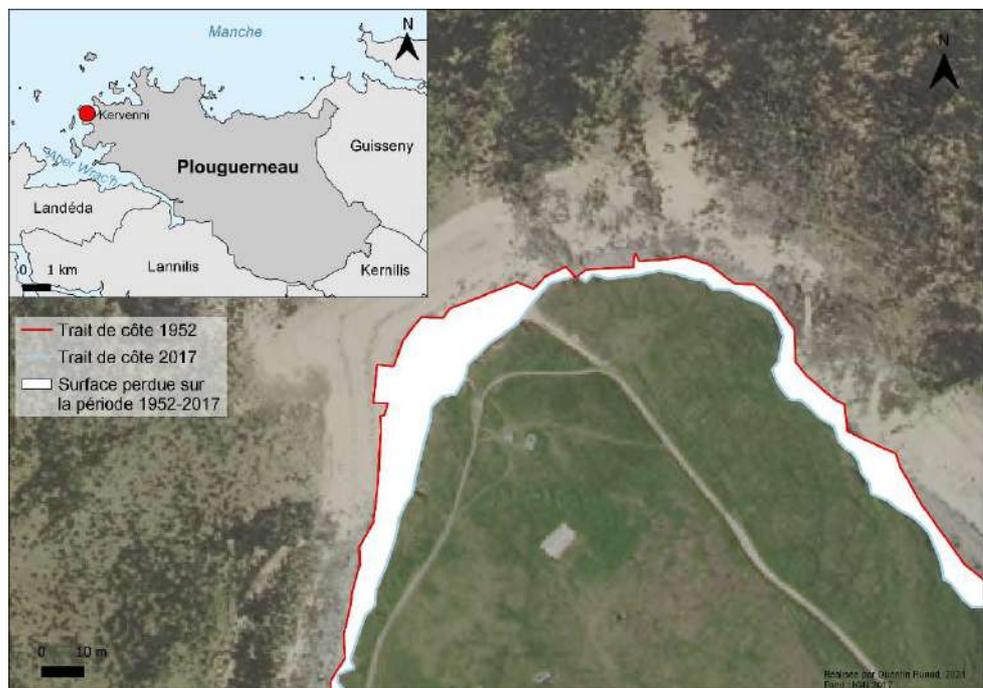


Figure 14 : Surface perdue entre 1952 et 2017.

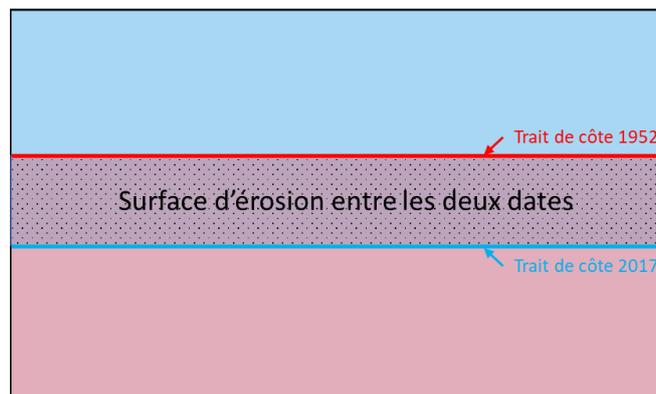


Figure 15 : Intersection des deux couches vecteur permettant de déterminer la surface d'érosion.

L'objectif ensuite est de segmenter cette surface, afin d'avoir des vitesses de recul le long du littoral. Pour cela, une différence a dû être faite entre les portions du littoral en accrétion et les portions en érosion. Pour les portions en érosion, **des transects ont été générés** à partir du trait de côte le plus récent tous les **10 mètres** (en rouge, Figure 16). La distance entre les transects est un compromis entre finesse des données souhaitées et facilité de traitement. En effet, plus les transects

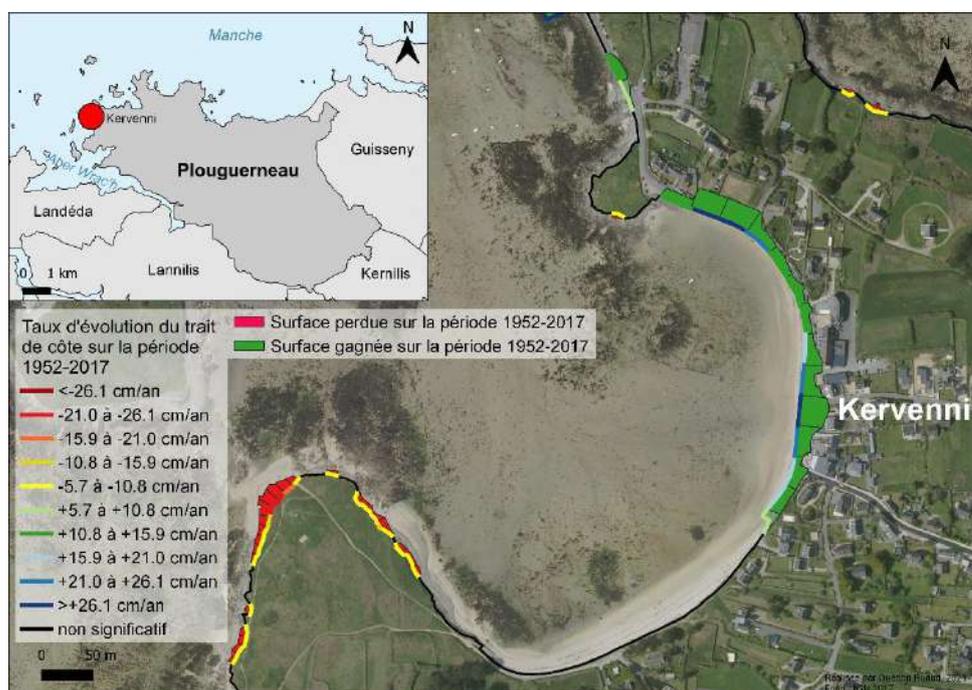


Figure 16 : Segmentation et quantification des surfaces.

sont serrés, et plus ils se croisent entre-eux, ce qui provoque des erreurs. Pour les portions en accrétion, le principe est le même, mais les transects sont générés à partir du trait de côte le plus ancien et la distance entre eux est de **30 mètres** (en vert, Figure 16). La longueur de ces transects peut être de plusieurs centaines de mètres au niveau des zones poldérisées. Ces transects permettent de couper la surface en plusieurs portions ayant un côté identique de 10 ou 30 m de longueur en fonction des zones qui avancent ou reculent. Les transects sont générés de cette manière sur le trait de côte le plus ancien ou le plus récent pour éviter les croisements et permettre de retranscrire l'évolution la plus représentative avec cette méthode.

Une fois les différentes portions générées, **un premier filtre** est réalisé à l'aide d'une zone tampon à partir des traits de côte, afin de supprimer les surfaces trop petites pour être prises en compte. Par la suite, l'objectif est d'exprimer la surface de chaque portion en **vitesse de recul** en cm/an via la calculatrice de champs, à l'aide de la formule ci-après.

$$Tx = ((S / D) / A) * 100$$

Tx : Taux d'évolution du trait de côte sur la période (1952-2017) ou (2000-2017) en cm / an.

S : Surface en m²

D : 30 (accrétion) ou 10 (érosion) : Distance entre deux transects en m.

A : 65 (1952-2017) ou 17 (2000-2017) : Nombre d'années entre les deux traits de côte.

100 : Conversion des m en cm.

Un second filtre et une vérification manuelle sont également réalisés afin de supprimer les taux de recul inférieurs aux incertitudes mentionnées dans la première méthode. Ensuite, afin d'avoir une ligne continue avec les valeurs des taux de recul, il suffit d'intersecter le trait de côte de 2017 avec les portions générées (Figure 16).

Les dernières étapes consistent à rassembler les résultats des deux approches afin de former un trait de côte continu exprimant les vitesses d'évolution pour les deux périodes. Pour cela, les résultats de l'approche de la ligne de référence sont appliqués sur des zones où le trait de côte est peu irrégulier entre deux dates étudiées. C'est le cas des plages de sable avec cordon dunaire. Sur le reste du littoral, l'approche basée sur les aires est appliquée, ce qui correspond à un littoral irrégulier sur les périodes étudiées (Figure 17).

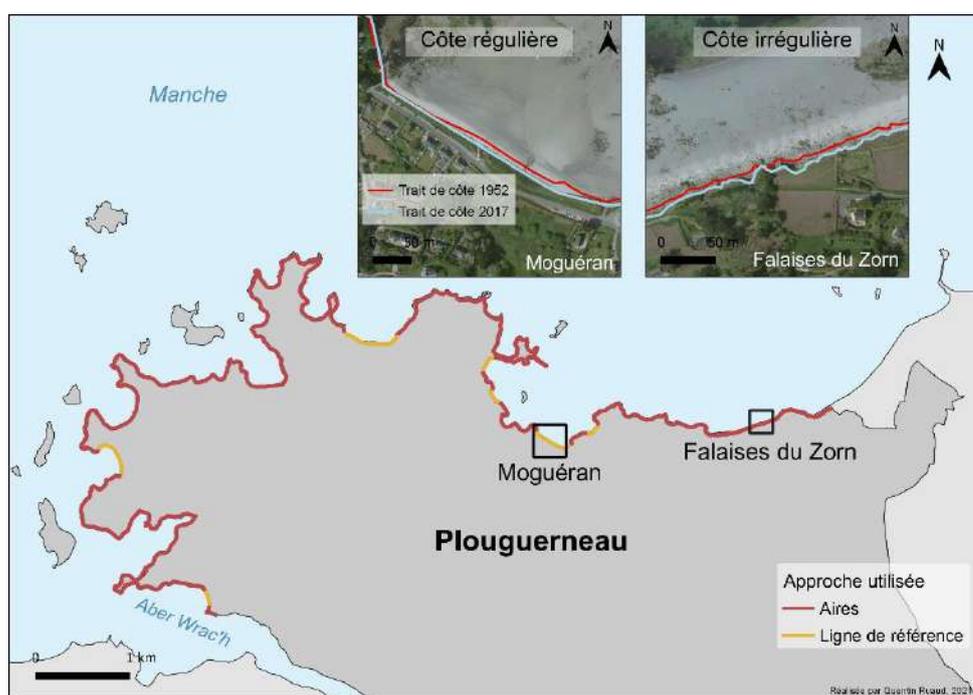


Figure 17 : Approche utilisée selon la localisation.

A.3.c. Incertitudes

Comme précisé plus haut dans les méthodes disponibles pour quantifier l'évolution de la position du trait de côte, les incertitudes liées à cette méthode peuvent être importantes, il est donc nécessaire de les déterminer afin de différencier les résultats significatifs ou non.

Pour cela, plusieurs éléments doivent être pris en compte, comme le précise le rapport de l'atelier sur Plouguerneau⁷. Les incertitudes utilisées pendant l'atelier sont les mêmes dans ce travail et sont rappelées ici.

⁷ <https://www.risques-cotiers.fr/connaitre-les-risques-cotiers/projets/littorisques/>

Ainsi, trois catégories d'incertitudes ont été prises en compte :

- **1) Incertitudes liées à la numérisation** : elle peut varier à la fois du fait des erreurs d'interprétation et de l'échelle de numérisation.

Pour prendre en compte cette première incertitude, deux étudiants ont numérisé le trait de côte de 1952, 2000 et 2017 sur une distance de 600 mètres au niveau de la pointe de Kastell Ac'h pendant l'atelier. Le décalage moyen entre les deux tracés a ensuite été mesuré (Figure 18). Ces décalages ont été conservés au cours de ce stage même s'il faut rappeler que la numérisation a finalement été réalisée par une seule personne et le tracé existant vérifié.

Orthophotographies	Décalage moyen (en m)
1952	1,660
2000	1,185
2017	1,185

Figure 18 : Décalage moyen entre la numérisation de deux étudiants d'une même portion de littoral à partir de différentes orthophotographies.

- **2) Incertitudes liées à la résolution des images utilisées** : cette distance correspond à la taille d'un pixel de l'image et est égale à **50 cm** sur toutes les images utilisées. Ce niveau de résolution a également été conservé malgré le fait que les images en flux WMS offraient un meilleur niveau de résolution.
- **3) Incertitudes liées au référencement des photos** : cela correspond donc au décalage moyen entre les différentes orthophotographies utilisées. Ces orthophotographies de 1952, 2000 et 2017 étaient déjà ortho rectifiées et sont disponibles sur le site de l'IGN. Toutefois, pour tenter de quantifier les décalages, 10 points d'amer ont été positionnés sur les différentes images et le décalage moyen a été mesuré. On obtient donc un décalage moyen de 1,553 m sur la période 1952 - 2017 et 1,017 m sur la période 2000 - 2017.

L'addition de ces trois catégories d'incertitudes permet donc de définir les seuils à partir duquel, le déplacement du trait de côte est significatif.

Ainsi, nous obtenons :

> **3,713 m** pour la période 1952 -2017 et

> **2,702 m** pour la période 2000 - 2017.

Les zones ayant des données inférieures à ces valeurs sont donc considérées comme ayant un déplacement non significatif au regard de la méthodologie utilisée.

A.4. Trait de côte prospectif pour 2100

Une fois la quantification de l'évolution du trait de côte réalisée sur l'ensemble du littoral, il est possible de précéder à des représentations permettant d'avoir une estimation des futures positions du trait de côte. Ici, c'est l'échéance 2100 qui a été prise en compte.

Pour positionner ce trait de côte prospectif, le guide méthodologique du plan de prévention des risques littoraux de 2014 (DGPR, 2014) prévoit d'utiliser la formule suivante en se basant sur les taux d'évolution préalablement mesurés :

$$Lr = x * Tx + Lmax$$

Formule utilisée :

$$Lr = (x * Tx) / 100$$

Lr : Largeur de la zone d'aléa en m.

x : nombre d'années entre l'année du trait de côte le plus récent et 2100, 83 ans (2100-2017).

Tx : Taux d'évolution du trait de côte sur la période (1952-2017) ou (2000-2017) en cm / an.

Lmax : Recul consécutif à un évènement brutal majeur.

100 : Conversion des cm en m.

Étant donné qu'aucune donnée n'existe pour déterminer la valeur du Lmax, le choix a été fait de ne pas utiliser cette donnée. Toutefois, afin de compenser ce manque, la valeur de Tx la plus élevée sur les deux périodes a été prise en compte dans le calcul. Le résultat obtenu représente donc la position du trait de côte en 2100 dans le cas où les vitesses d'avancées ou de recul seraient **constantes sans évènements majeurs**.

Pour la partie technique sur SIG, la formule ci-dessus est donc utilisée et les résultats sont intégrés aux données d'évolution sous forme de lignes via une colonne dans la table attributaire appelée « dista_2100 ». À partir de ces données, des transects sont générés vers la mer pour les zones en accrétion et vers la terre pour les zones en érosion. De plus, la longueur des transects est égale à la valeur inscrite dans la colonne « dista_2100 », l'extrémité de ces transects correspond donc à la projection du

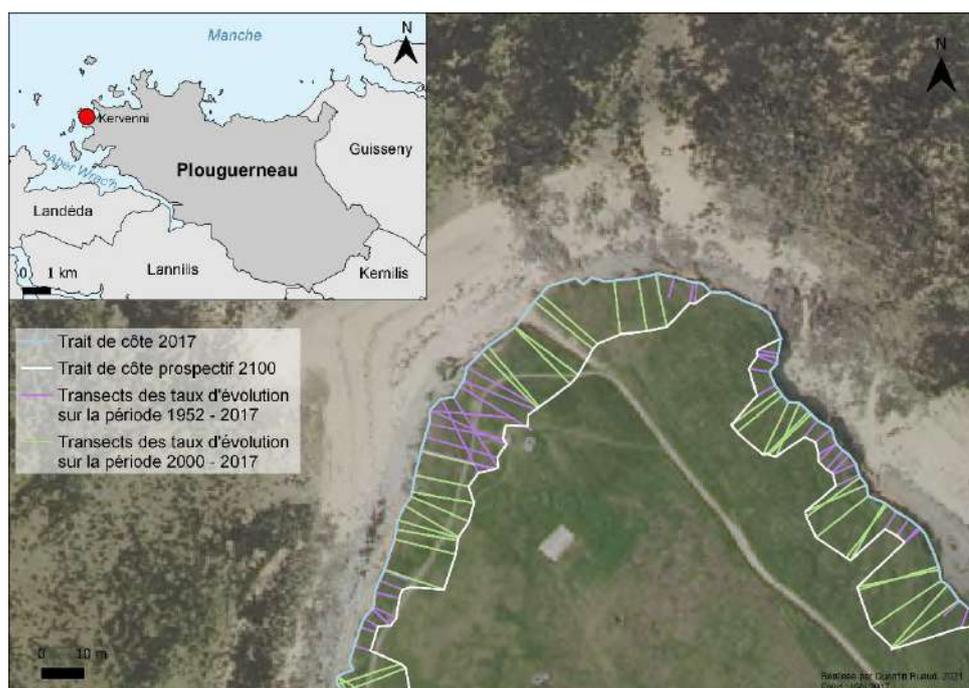


Figure 19 : Projection du trait de côte 2100 à l'aide des données de recul mesurées.

TDC en 2100. Comme précisé avant, cette manipulation est réalisée pour les deux périodes, 1952 - 2017 et 2000 - 2017 et seuls les transects les plus longs sont pris en compte (Figure 19).

L'objectif par la suite est de relier l'extrémité de l'ensemble des transects afin d'avoir un tracé continu représentant le trait de côte 2100 (Figure 19). Après cela, des vérifications manuelles sont nécessaires afin

d'éliminer d'éventuelles aberrations. De plus, les zones où le trait de côte avance de manière artificielle du fait de la construction d'aménagements, ne sont pas prises en compte dans le trait de côte prospectif, car il ne s'agit pas d'une dynamique qui va se poursuivre naturellement dans le temps.

Par la suite, la surface gagnée ou perdue entre le trait de côte de 2017 et le trait de côte prospectif de 2100 est mesurée en générant une « couche vecteur » (Figure 20). Cela permet également de quantifier et représenter les surfaces perdues avec ou sans maintien des ouvrages de protection. Pour cela, le recensement des ouvrages côtiers réalisé pendant l'atelier Litto'Risques permet de positionner de manière précise ces ouvrages.

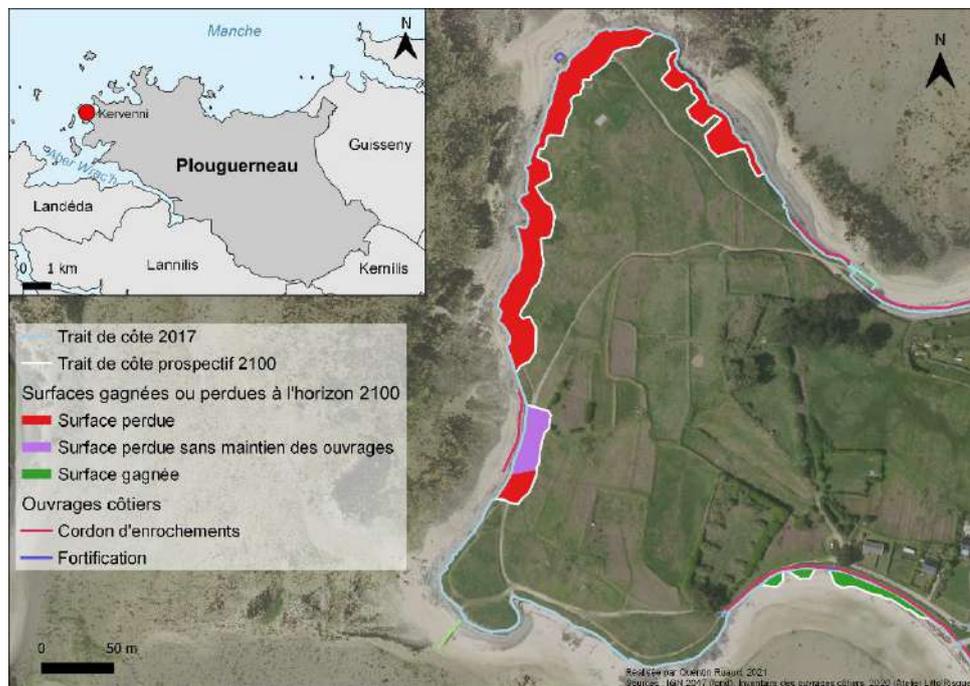


Figure 20 : Représentation du TDC 2100 et des surfaces gagnées ou perdues avec ou sans maintien des ouvrages.

Pour finir, le tracé du trait de côte 2100 n'a été que faiblement modifié par rapport au premier tracé brut généré à l'aide des transects. Pour cette raison, il peut **paraître très irrégulier**. Cependant, pour le cas des côtes sableuses, il y a de faibles chances que le tracé corresponde à celui réalisé, car le transport sédimentaire de ces côtes a plutôt tendance à régulariser les formes. De la même manière, les reculs représentés au niveau des falaises sont souvent rapides et localisés et ne correspondront peut-être pas à ceux représentés dans les résultats. Il faut donc garder en tête que ce sont des tendances d'évolution basées sur les années précédentes.

B. Communication et sensibilisation sur la mobilité littorale et les risques associés

B.1. Réflexion sur les moyens de communication.

B.1.a. Contexte

Le deuxième objectif du stage a été de réfléchir et **mettre en place des moyens de communication** à destination des habitants pour permettre de développer une certaine culture du risque. En effet, pour changer de comportement il faut accepter et comprendre le risque (CEPRI, 2013). Pour cela, l'idée d'une carte narrative en ligne avait été évoquée pendant l'atelier étudiant Litto'Risques. Toutefois, une recherche bibliographique a été nécessaire afin de faire un tour d'horizon de ce qui aurait pu être appliqué sur la commune.

Pour contextualiser un peu, au début de ce travail, le sentier littoral de Plouguerneau au niveau de Saint-Michel était régulièrement empierré afin de combler les zones boueuses du sentier. Des galets de plusieurs kilos étaient donc prélevés sur l'éstran situé en espace naturel sensible puis disposés sur le sentier. En plus d'affecter l'amortissement des houles et de perturber un habitat, les galets pouvaient être dangereux pour les piétons et ajouter du poids sur un sentier déjà fragile. Comme en témoigne un article du Ouest-France (Figure 21), il y avait visiblement une incompréhension dans la manière de gérer le sentier. Or, le sentier est géré par le service Espaces naturels et sentiers de la CCPA, qui a notamment enlevé les galets du sentier à la suite de l'empierrement. Il semblait donc intéressant d'inclure ces problématiques de sentier dans la communication auprès des habitants afin de limiter les comportements néfastes du point de vue de l'érosion, la sécurité ou l'environnement.



Figure 21 : Incompréhension des habitants sur la gestion du sentier littoral, Ouest-France, 03/03/2021.

B.1.b. Idées de communication proposées

Ainsi, plusieurs éléments ont été proposés en fonction des objectifs à atteindre. Ces propositions n'ont pas toutes été réalisées, mais pourront l'être à l'avenir. Elles ont toutefois été une source d'inspiration dans le travail réalisé sur la communication.

1) Conscientiser le risque : Le but est d'expliquer la formation et le fonctionnement des aléas littoraux ainsi que du risque à Plouguerneau. C'est dans cette optique que la carte narrative en ligne a été créée. Son contenu sera détaillé par la suite. De plus, l'idée de randonnées commentées à l'aide d'enregistrements sonores a également été proposée (Calonnec, 2020). Ce dispositif est



Figure 22 : Dépliant disponible à l'office de tourisme, Golfe du Morbihan.

présent au niveau de la presqu'île de Crozon⁸ et permet d'apporter des informations sur la géologie, l'histoire ou la biologie. Ces balades sonores peuvent apporter des éléments de lecture de paysage et peuvent permettre la compréhension des dynamiques du trait de côte de manière autonome.

2) Informer : Pour faire face aux incompréhensions citées plus tôt au sujet de la bonne attitude à adopter sur les sentiers côtiers, un ensemble d'éléments auraient pu être mis en place. En effet, un ensemble de panneaux à des endroits stratégiques du littoral aurait pu être installé afin d'informer les habitants et les promeneurs excursionnistes. En outre, des dépliants disponibles à l'office de tourisme sont un autre moyen d'informer les usagers du sentier (Figure 22).

Cependant, suite à une réunion avec Myriam Diascorn, responsable du pôle environnement et travaux de la CCPA et Mickaël GUILLOU technicien ENS cette idée ne semblait pas la plus pertinente. En effet, leur retour d'expérience montre que c'est principalement **avec les habitants** que les plus grosses incompréhensions peuvent survenir. Que ce soit par **l'empierrement du sentier** ou par le **non-respect de la fermeture de certains chemins**. De plus, l'ajout de panneaux

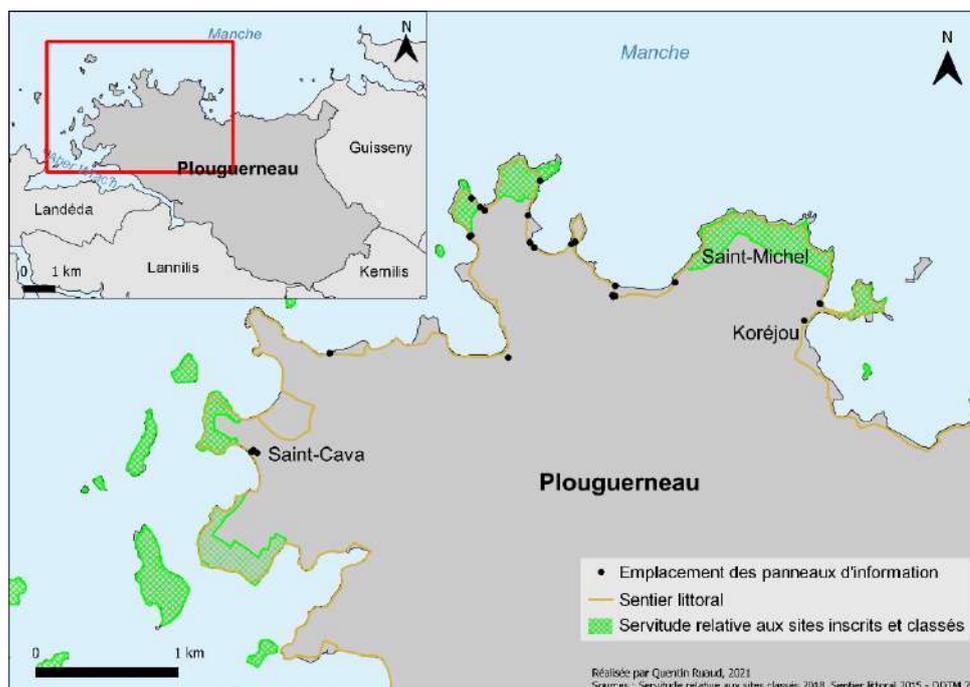


Figure 23 : Localisation des panneaux d'information à Plouguerneau, 2021.

sur le littoral viendrait **ajouter encore plus d'information** sur un espace qui en possède déjà un certain nombre (Figure 23), ce qui augmenterait le risque de ne pas être lu. La zone de Saint-Michel étant en zone ENS, il ne semblait pas non plus pertinent d'installer des panneaux dans cette zone.

Après nos échanges, un suivi participatif du littoral semblait une solution intéressante pour inclure la population dans un projet en lien avec la mobilité littorale comme peuvent le faire des applications comme Coast Snap⁹ (Figure 24) de l'Observatoire Citoyen du Littoral Morbihanais (OCLM) ou Rivage¹⁰ du CEREMA. Pour cela, les personnes en charge d'une application similaire dans le Finistère nommée Coast Appli, qui est toujours en création et qui est développée par l'UBO ont été contactées. Les résultats de ces échanges seront présentés dans la partie résultats et analyse.



Figure 24 : Station pour téléphone utilisée par Coast Snap, OCLM.

⁸ <https://www.territoires-sonores.net/>

⁹ <https://observatoire-littoral-morbihan.fr/coastsnap-morbihan-2-2/>

¹⁰ <https://www.cerema.fr/fr/actualites/rivages-application-smartphone-participer-surveillance-du>

Inform, c'est aussi la **préparation à la gestion de crise**. En effet, un sondage réalisé par l'Ifen en 2008 fait état des premières mesures qui seraient prises en cas d'inondation par les personnes interrogées (Roy, 2008). « On note que 20 % des personnes ne parviennent pas à fournir de réponse à cette question, que 10 % appelleraient les numéros d'urgence et participeraient ainsi à **saturer les réseaux de communication** au moment où les secours et les gestionnaires du territoire en auraient le plus besoin pour s'organiser ». Même si actuellement la submersion sur la commune reste relativement limitée, une meilleure connaissance des risques et des gestes à suivre pourrait être utile afin de diminuer la vulnérabilité des habitants.

Pour cela, l'EPTB Seine Grands Lacs distribue des magnets à coller aux réfrigérateurs afin de rappeler rapidement des gestes à suivre en cas d'inondation fluviale (Figure 25). Ce dispositif pourrait très bien être adapté pour les submersions marines. De plus, dans le cadre de son PAPI, l'EPTB Seine Grands Lacs a également mis en place un dispositif nommé EPISINE (Ensemble pour la **Prévention des Inondations sur le bassin de la Seine**). Ce dispositif consiste à proposer des formations en présentiels ou à distance et propose des vidéos ou des jeux via son site internet¹¹ afin de préparer les habitants à la gestion de crise.



Figure 25 : Magnet distribué par l'EPTB Seine Grands Lacs.

En outre, un document rappelant les risques majeurs d'une commune accompagnée de conseils utiles existe et est disponible sur la commune depuis mars 2021. Il s'agit du **Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM)**. C'est donc un des documents qui sera mis en avant dans les outils de communication mis en place comme la carte narrative.

3) Culture du risque : Dans la continuité des éléments présentés ci-dessus, l'appréhension de la vulnérabilité et la compréhension des aléas peuvent également passer par de la **communication artistique et visuelle**¹². Ainsi, il est possible de citer des œuvres de bandes dessinées comme « Jamais » de Bruno Duhamel (Figure 26), ou « Le signal de l'océan » de Joub, Nicoby et Pierre-Roland Saint-Dizier (Figure 26). Ces histoires accessibles sont inspirées de cas réels et peuvent avec un coût limité toucher un grand nombre d'habitants notamment en développant des actions vers les scolaires.

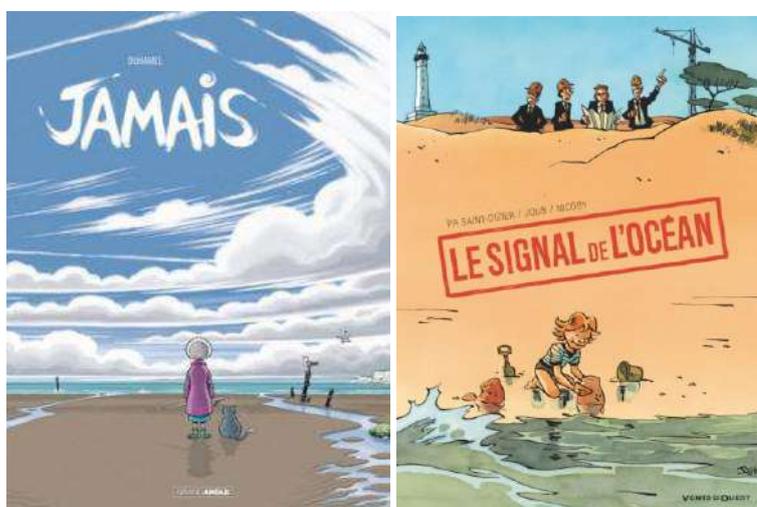


Figure 26 : Couverture des BD "Jamais" et "Le signal de l'océan".

¹¹ <https://episeine.fr/>

¹² <https://www.georisques.gouv.fr/>

Enfin, des représentations lumineuses des niveaux marins centennaux ou des marqueurs de submersion sur le littoral permettent également de rappeler et de prendre conscience du risque. Ce dispositif a pu être mis en place en Sicile ou en Écosse¹³ (Figure 27), avec une ligne lumineuse s'allumant à marée montante et représentant le niveau marin futur si rien n'est fait en ce qui concerne le réchauffement climatique.



Figure 27 : Ligne lumineuse créée par Pekka Niittyvirta et Timo Aho.

Pour finir, seule la carte narrative a été conservée dans les moyens de communication mis en place. En effet, il semblait plus intéressant de se concentrer dessus, tout en utilisant des idées et thématiques des autres moyens de communication.

B.2. Présentation de la carte narrative en ligne

B.2.a. Objectifs et inspirations

L'objectif initial de cette carte narrative est comme il est rappelé plus haut, d'améliorer les connaissances sur le fonctionnement des aléas littoraux sur Plouguerneau et permettre de développer une culture du risque par les habitants. L'intérêt de l'outil est de pouvoir **être accessible n'importe quand et n'importe où** à la condition d'avoir une connexion internet. Le point fort de ce type d'outil est de pouvoir illustrer un récit avec des images, schémas ou graphiques et d'être **lu à la vitesse de chacun** en passant certains passages si nécessaire et revenir dessus plus tard. Cet outil a donc pour vocation d'être le plus accessible possible.

Ce genre d'outil a par exemple été mis en place par le Réseau d'Observation du Littoral de la région Normandie et des Hauts de France (ROL). Cette carte narrative¹⁴ opte pour une approche historique du littoral, débutant par des généralités sur la formation de nos côtes actuelles. Le reste de la présentation permet de visualiser les évolutions du littoral à l'aide de comparaisons entre des cartes anciennes, des images anciennes et images aériennes anciennes avec des cartes et images récentes (Figure 28). Ainsi, l'outil mis en place par le ROL a été une source d'inspiration intéressante pour adapter ce travail à l'échelle de la commune de Plouguerneau. C'est notamment à partir de ce moment-là que l'idée d'une collecte d'images anciennes afin de réaliser des reconductions photographiques a vu le jour. En effet, la technique du balayage également utilisé par le Géoportail¹⁵ sur les images aériennes via le module remonter le temps, est un moyen visuel accessible pour voir les évolutions du littoral. Appliqué à la commune de Plouguerneau, cela permet aux habitants de prendre conscience des changements sur un littoral qu'ils connaissent.

¹³ https://www.wedemain.fr/decouvrir/en-ecosse-la-montee-des-oceans-mise-en-lumiere-par-des-artistes_a3990-html/

¹⁴ http://maps.rolnp.fr/atlas/Approche_historique/#map

¹⁵ <https://remonterletemps.ign.fr/comparer/basic?x=-4.510199&y=48.629610&z=17&layer1=ORTHOIMAGERY.ORTHOPHOTOS&layer2=ORTHOIMAGERY.ORTHOPHOTOS.1950-1965&mode=vSlider>

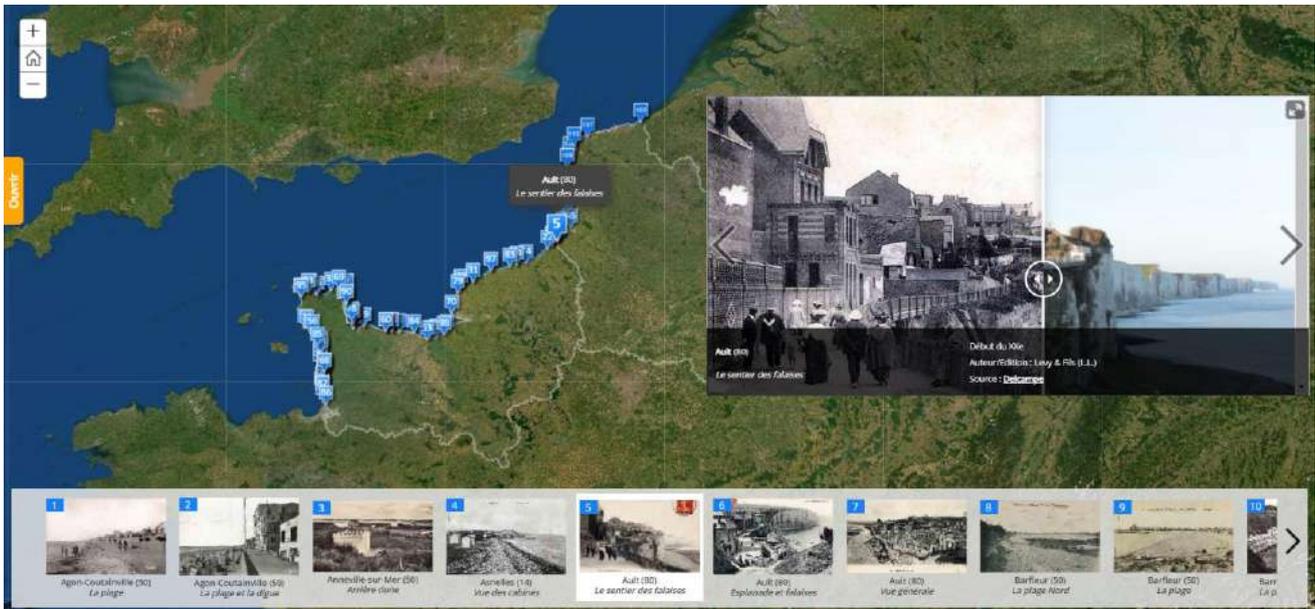


Figure 28 : Carte narrative historique du ROL.

Pour réaliser une carte narrative en ligne, plusieurs plateformes sont disponibles¹⁶. Il a donc fallu trouver une plateforme gratuite, facile à utiliser et adaptée au message à transmettre. En effet, des plateformes comme Tripline ou Google Tour Builder sont des bons moyens pour réaliser une histoire sous forme de parcours sur une carte de manière simple, mais possède peu d'options (Caquart, 2017). Si l'objectif est de représenter le temps à chaque moment d'un récit, l'application Atlascine semble la plus adaptée. Cependant pour cette étude, le choix a été fait d'utiliser une application beaucoup plus polyvalente nommée **ESRI Story Maps**¹⁷. En effet, cette application propose **un nombre important d'options** et est **plus facile à utiliser** qu'une application du même type tel que MapStory. L'application d'ESRI à une version payante permettant d'augmenter les options possibles, mais cette application reste celle qui permet d'avoir le plus de fonctionnalités même dans sa version gratuite. Il faudra toutefois se poser la question de l'archivage et de l'enregistrement des données avec ce genre de plateformes.

B.2.b. Plan de la carte narrative

Élément important du récit, la structure du plan choisi a pour objectif d'être le plus simple possible tout en étant la plus complète avec des liens redirigeant vers des sources, pour ceux souhaitant plus d'informations. En effet, l'objectif initial est d'apporter des éléments de compréhension sur la nature et la formation du risque à Plouguerneau tout en les illustrant avec des images, cartes et graphiques. Ce récit a donc été organisé en traitant le sujet à travers trois échelles temporelles différentes. En effet, selon le guide méthodologique sur la gestion des risques d'érosion et de submersion marines (Hénaff et Philippe, 2014), ces trois échelles permettent de limiter les confusions entre les évolutions locales et temporaires et les tendances sur le long terme.

Ces trois échelles de temps comprennent donc, **l'échelle des temps géologiques de la mise en place des côtes actuelles, l'échelle séculaire de l'évolution historique des traits de côte et les temps courts à moyens de l'action des processus naturels.**

¹⁶ <http://cartonumerique.blogspot.com/2018/11/les-story-maps-un-outil-de-narration.html>

¹⁷ <https://storymaps.arcgis.com/>

Notions préalables

Avant d'évoquer les trois échelles de temps, une partie insérée au début du récit est présente pour **définir certaines notions** comme le risque. Pour cela, des représentations schématiques en 3D (Figure 29) ont été réalisées à l'aide du logiciel google SketchUp et Adobe Illustrator, car peu de schémas sont disponibles et lorsque c'est le cas leur résolution est faible. Cette notion est essentielle afin de comprendre que le risque est provoqué par les aléas, mais qu'il n'existe pas sans les enjeux. Ici les aléas représentés sont la submersion marine et l'érosion côtière. Les enjeux représentés sont les enjeux matériels (ouvrages côtiers), les enjeux humains (habitations) et les réseaux (routes).

Cette première partie permet également de revenir sur la définition et la formation des aléas érosion côtière et submersion marine. Pour cela et comme pour le reste de la carte narrative, des schémas ont été conçus ou simplifiés à partir de schémas existants puis intégrés au récit. En effet, à côté de chaque infographie un texte défilant permet d'apporter des compléments d'information et décrire ce qui est illustré.

Ainsi la formation de l'aléa submersion marine est détaillée à l'aide de l'illustration des facteurs à l'origine du phénomène (Annexe 1). Ensuite, les différents types de submersions marines sont détaillés (Figure 30).

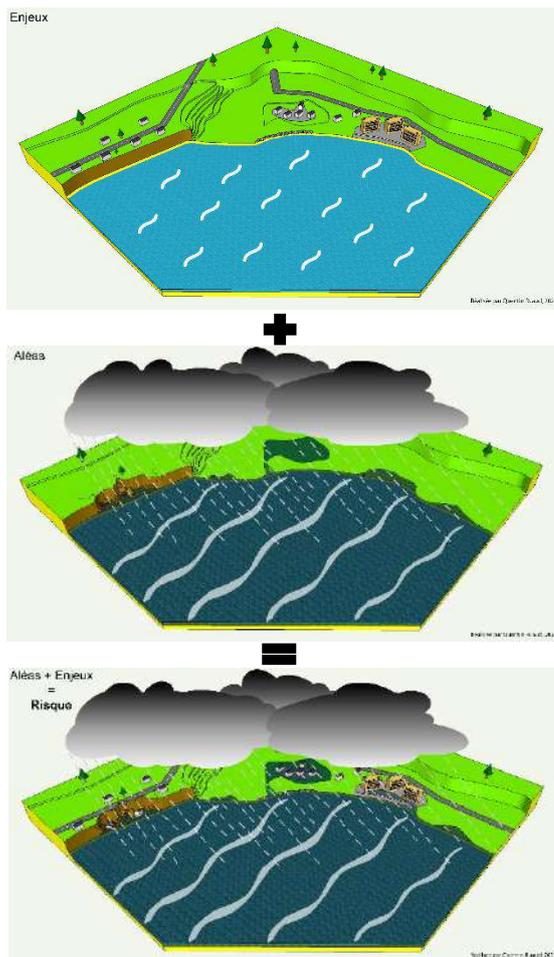


Figure 29 : Schémas 3D de la notion de risque, Quentin Ruaud 2021.

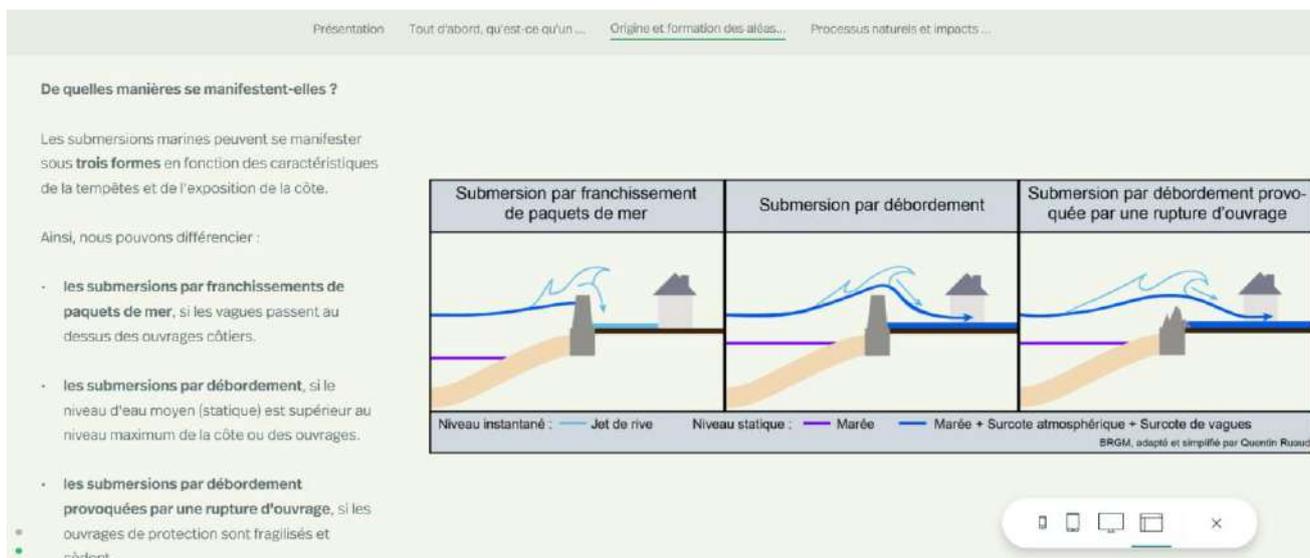


Figure 30 : Explication des différents types de submersions marines sur la carte narrative en ligne, Quentin Ruaud 2021.

En ce qui concerne l'aléa érosion, une représentation systémique a été réalisée afin de retranscrire la complexité et les nombreux facteurs à l'origine du phénomène (Figure 31). Ce genre de représentations a déjà été imaginé par des géomorphologues (Carter et Woodroffe, 1994), mais le but ici était de rendre plus accessible et visuel ce genre de schémas. La notion de trait de côte a également été précisée par la suite notamment afin de faciliter la compréhension des éléments présentés dans les parties suivantes (Annexe 2).

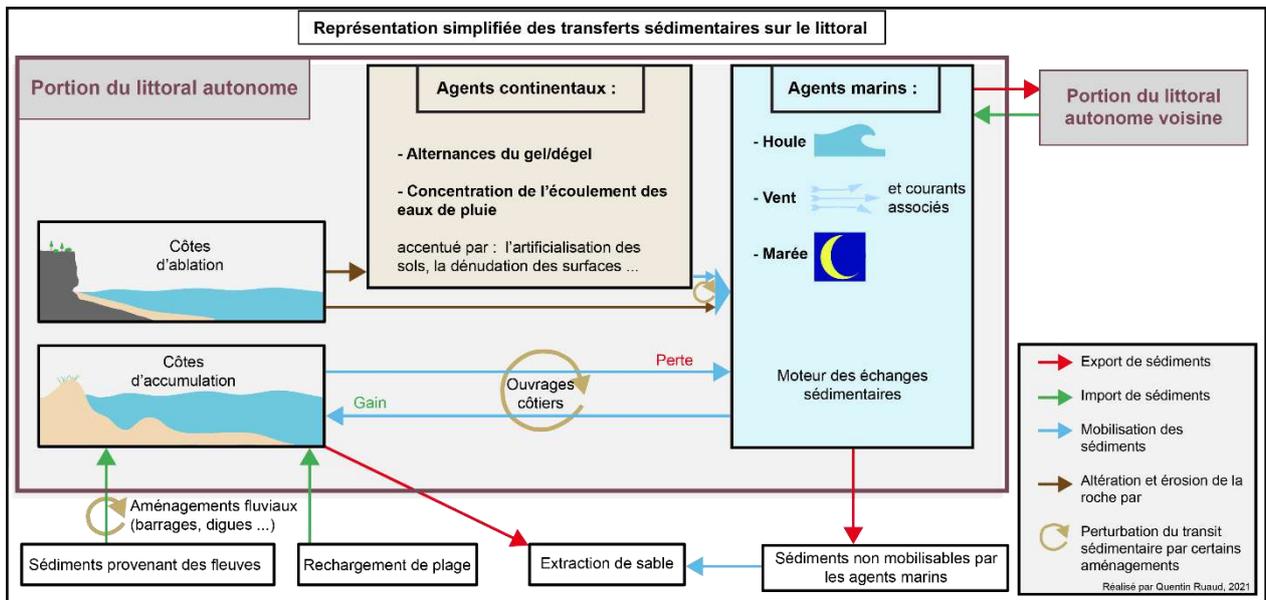


Figure 31 : Représentation simplifiée des transferts sédimentaires sur le littoral, Quentin Ruaud 2021.

Trois échelles temporelles

À la suite des notions préalables, l'évolution littorale est analysée à travers les trois échelles temporelles citées plus tôt. De cette manière, cela permet de contextualiser en termes de temps et d'espace la dynamique des aléas, des enjeux et du risque à Plouguerneau. En outre, à mesure que l'on se rapproche de l'époque actuelle, l'emprise géographique prise en compte se rétrécit. Ainsi, pour la période géologique c'est le monde puis l'Europe qui sont pris en compte alors que pour l'échelle centennale ou court moyen terme c'est Plouguerneau puis des portions du littoral de la commune.

I. Mise en place des côtes actuelles à l'échelle des temps géologiques.

L'objectif de cette partie est de situer les dynamiques actuelles dans un processus qui a débuté il y a plusieurs milliers voire millions d'années. Pour cela les variations du niveau marin depuis 350 millions d'années sont retracées à l'aide de graphiques qui sont adaptés puis simplifiés afin d'avoir une charte graphique homogène (Annexe 3). Certains graphiques sont assemblés afin de limiter le nombre de figures. De plus, des cartes du globe

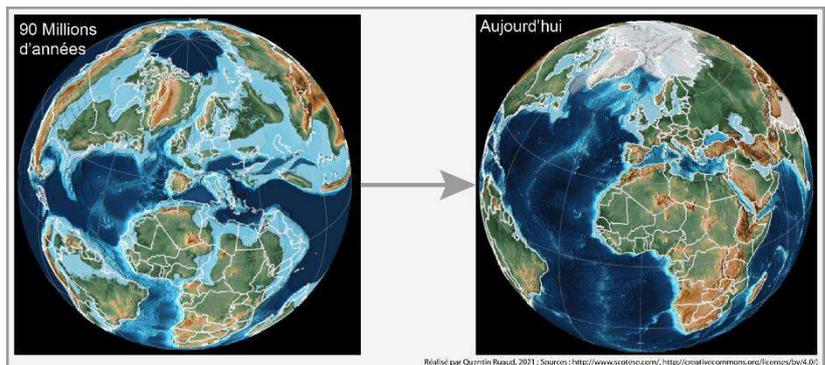


Figure 32 : Représentation de la position des continents lorsque le niveau marin était 250 mètres plus haut qu'aujourd'hui.

sont générées à l'aide du logiciel Gplates¹⁸ et les données du projet Paleomap¹⁹ afin de reconstituer la position ancienne des continents lorsque le niveau marin était 250 plus haut qu'aujourd'hui. Ensuite, un zoom est fait sur les derniers 20 000 ans, ce qui correspond au dernier maximum glaciaire. Par ces illustrations et commentaires, le message est que **le niveau marin évolue constamment de manière naturelle** à des vitesses

¹⁸ <https://www.gplates.org/news>

¹⁹ <http://www.scotese.com/>

diverses pour des raisons qui ne sont pas les mêmes en fonction de la période temps et que **le stock sédimentaire actuel est hérité** de ces périodes froides.

II. Évolution du trait de côte à l'échelle des 100 dernières années

Cette partie qui est la plus longue, a pour objectif de montrer que le risque à l'échelle des 100 dernières années s'inscrit dans **un contexte naturel de pénurie sédimentaire** qui est **accrue par l'augmentation de la présence de l'homme sur le littoral** et par l'augmentation accélérée du niveau marin. En effet, **l'augmentation des enjeux** sur le littoral découle d'un changement de vision et d'utilisation du littoral principalement depuis les années 1950 (Corbin, 1988). De ce fait, l'urbanisation y est plus importante (Figure 33) et les activités sont différentes (Meur-Férec, 2006). Dans cette partie, l'impact de

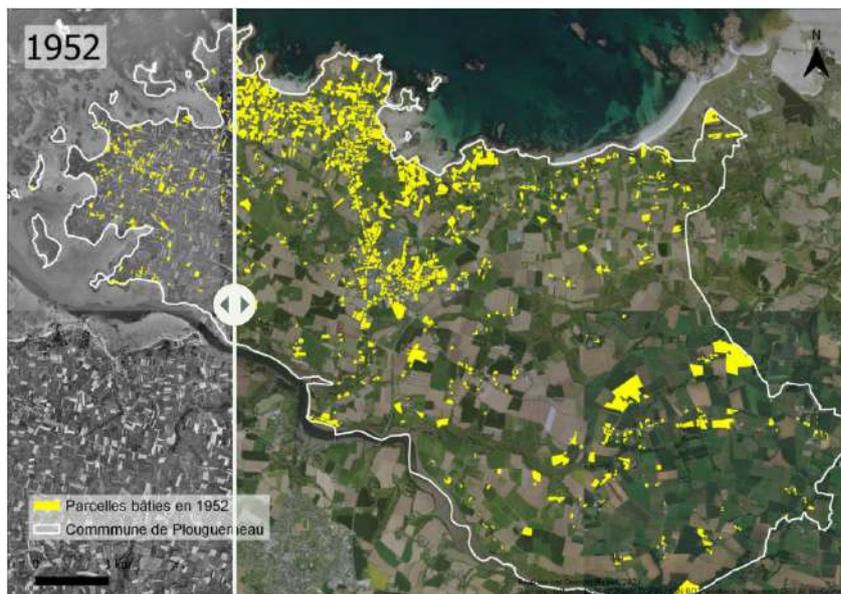


Figure 33 : Balayage de l'évolution de l'urbanisation en 1952 et 2017 sur Plouguerneau.

l'artificialisation du littoral sur le transport sédimentaire est rappelé ainsi que la prise en compte de l'élévation récente du niveau marin causé par les émissions de gaz à effet de serre. Enfin, une carte générale des taux d'érosion sur la commune depuis 1952 est affichée afin d'avoir un ordre de grandeur des dynamiques en cours et d'expliquer qu'elles peuvent être quantifiées.

À la suite de cette partie, un ensemble de reconductions photographiques organisées en fonction de grandes zones est intégré au récit. Ces images permettent de se rendre compte des évolutions du littoral sur son territoire (Figure 34). Le travail réalisé sur ces reconductions photographiques étant important, une partie y est totalement consacrée dans la méthodologie de cette étude.



Figure 34 : Balayage d'un reconduction photographique disponible sur la carte narrative, Kervenni, (à gauche) date inconnue (à droite) 2021.

III. Les temps courts à moyen de l'action des processus naturels

Dans cette dernière partie, l'accent est principalement mis sur le risque de submersion marine. L'objectif est de rappeler les événements passés ayant impacté la commune pour développer **une mémoire du risque**. Pour cela, des photos des tempêtes de 2014 ou des textes anciens sont utilisées. De plus, afin de **préparer à la gestion de crise**, les gestes à adopter en situation de crise sont rappelés et un lien vers le DICRIM (Figure 35) est intégré. En outre la cartographie de l'aléa submersion marine réalisée pendant l'atelier Litto'Risques puis corrigée pendant le stage (suppression des artefacts) est également présente pour rappeler l'ampleur de cet aléa sur la commune.

Un ensemble de représentations 3D effectué grâce au modèle numérique de terrain Litto 3D a également été réalisé (Figure 36). Elles simulent le bâti impacté par des submersions marines projetées pour différents niveaux d'eau. Ces représentations n'ont cependant pas été intégrées à la carte narrative par peur de mauvaise interprétation de ces résultats par les habitants.



Figure 35 : Page de couverture du DICRIM de Plouguerneau.



Figure 36 : Représentation 3D du bâti impacté par une submersion marine à plus ou moins long terme, Porz Gwenn – Porz Grac'h.

B.3. Méthode des reconductions photographiques

Un des points forts de la carte narrative en ligne est de pouvoir illustrer un message de manière très accessible. C'est donc pour cette raison que l'idée des reconductions photographiques semble pertinente. L'objectif est de montrer via les évolutions paysagères littorales, l'évolution de la position du littoral, l'évolution de l'urbanisation, de la végétation ou encore des aménagements côtiers ou du changement d'activités présentes sur le littoral. C'est également l'occasion d'inclure la population dans ce travail et d'inciter à lire le reste de la carte narrative par un format attractif.

B.3.a. Collecte d'images

La première étape de ce projet consiste donc à collecter le plus grand nombre de cartes postales anciennes via différentes sources. Si les données sont suffisantes, qu'elles sont compatibles avec le principe de la reconduction photographique et qu'elles permettent de montrer une évolution, alors il est possible de passer à l'étape suivante.

Pour cela, il est nécessaire de collecter un nombre de clichés suffisant, il semblait donc intéressant de faire appel aux habitants de Plouguerneau. Ainsi, ce travail a été réalisé en collaboration avec le chargé de communication de la mairie, Tony Cotton. En effet, une collecte d'images a été lancée auprès des habitants via le site internet et la page Facebook de la mairie ainsi que par le bulletin d'information municipal le 22 et le 29 juin afin d'expliquer le projet et sa finalité (Figure 37).

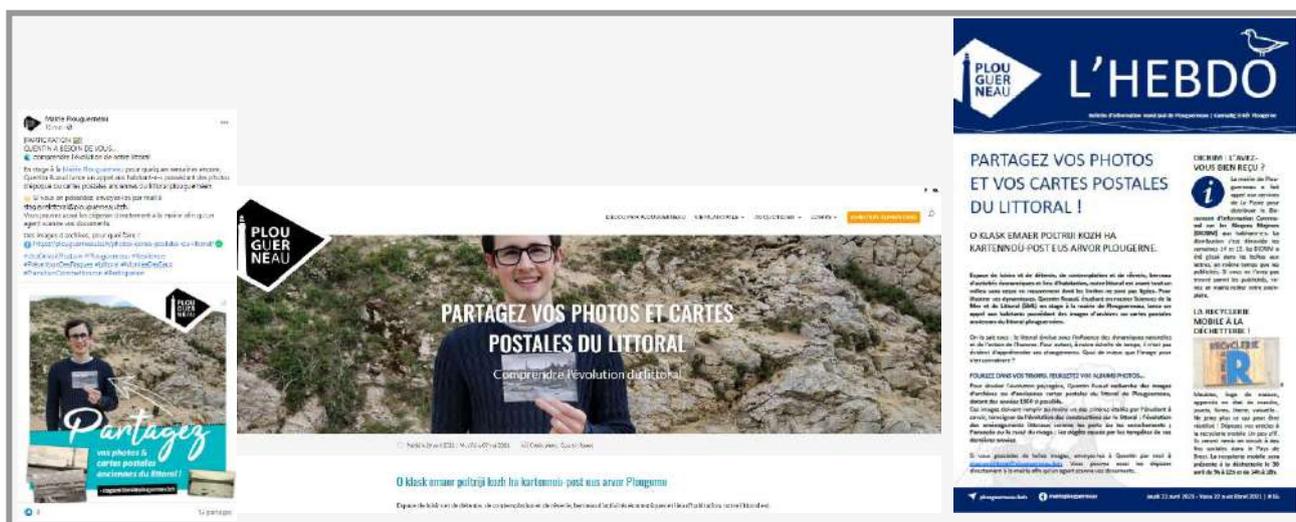


Figure 37 : Post Facebook, site internet de la mairie et Première page du Bulletin d'Information Municipal (BIM).

En parallèle, **pour toucher d'autres habitants de Plouguerneau** ou des communes alentours, plusieurs articles sont parus dans la presse via le Télégramme le 22 avril, le Ouest-France le 28 avril et Abers Info début juin (Figure 38). Le contenu de ces articles explique rapidement le cadre du stage, l'objectif de la collecte et les images recherchées. Les articles détaillés en grand format sont disponibles en Annexe (Annexe 6, Annexe 7 et Annexe 8).

Les retours des habitants se sont effectués à **70% par mail** via l'adresse transmise pendant la collecte. Les autres photographies ont été déposées à l'accueil de la mairie et la majorité des photographies ont été transmises en direct au cours de rendez-vous individuels. Ces entretiens ont permis de compléter des informations sur les images comme le contexte, la date ou la localisation. Ainsi, la collecte d'images s'est clôturée début juin afin de poursuivre les autres étapes nécessaires aux reconductions photo. Pour cela les images ont dans un premier temps été classées dans des dossiers en fonction de l'origine de l'image.

En complément de ces images, une recherche sur le site internet des archives départementales du Finistère²⁰ a également permis d'ajouter des clichés ou d'en avoir de meilleure qualité. En effet, la série Fi contient des tirages photographiques et des cartes postales anciennes datant du XIX^e et du XX^e siècle sur la commune de Plouguerneau, qui ont pu être exploités.



Figure 38 : Articles du Télégramme (1), du Ouest-France (2) et d'Abers Info (3).

²⁰ <https://recherche.archives.finistere.fr/archives/classification-scheme>

B.3.b. Datation et localisation des images

Une fois les images acquises, il est nécessaire de déterminer si elles sont pertinentes. Plusieurs tris sont donc réalisés afin de sélectionner les images potentiellement utilisables pour les prochaines étapes des reconductions. Après ces premiers tris, les images sélectionnées sont toutes localisées et datées sur SIG lorsque c'était possible (Figure 39). L'objectif étant d'avoir le meilleur rendu possible et de faciliter les reconductions sur le terrain.

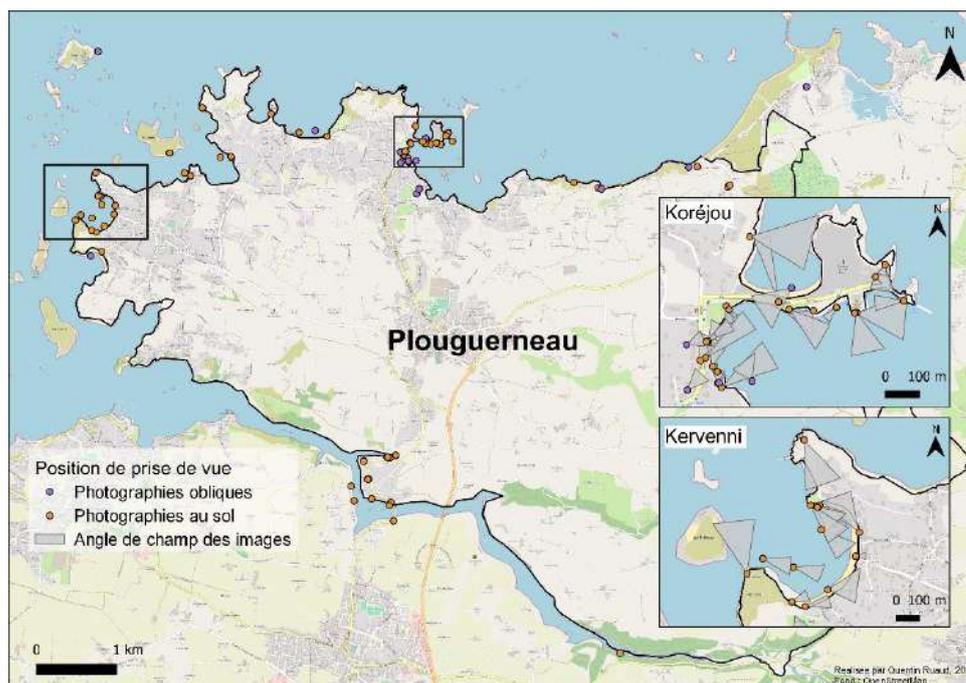


Figure 39 : Position de prise de vue et angle de champ des images.

Pour cela, les précisions des habitants sont très utiles. Cependant, il est nécessaire d'utiliser d'autres moyens pour localiser et dater au mieux les images avant d'aller sur le terrain. Les constructions comme les habitations ou le phare de l'île vierge en service depuis 1902, permettent dans de nombreux cas de trouver plus précisément la **localisation des clichés** (Figure 40). Des éléments géologiques peuvent également aider du fait de leur persistance dans le temps. Ces éléments peuvent ensuite être retrouvés sur d'anciennes photographies aériennes afin de confirmer puis préciser la localisation (Figure 41).

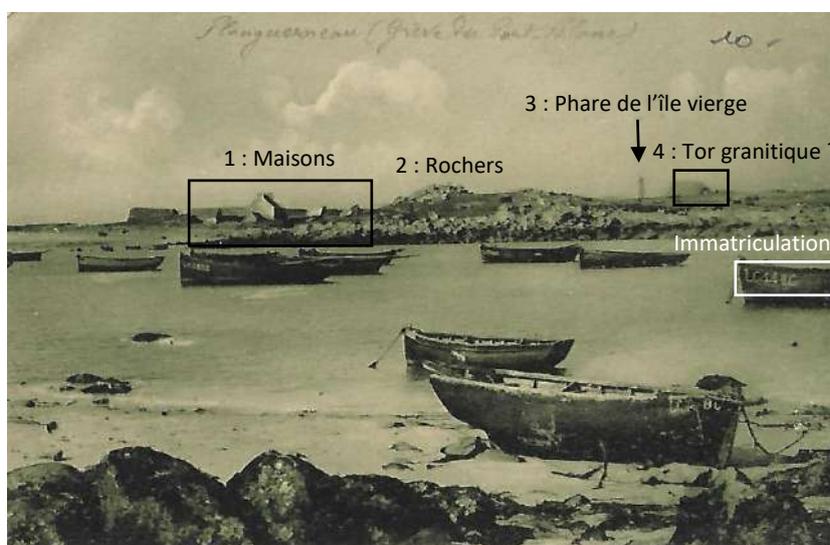


Figure 40 : Éléments de paysage permettant de situer et dater la photographie, Porz Gwenn [1910-1929].

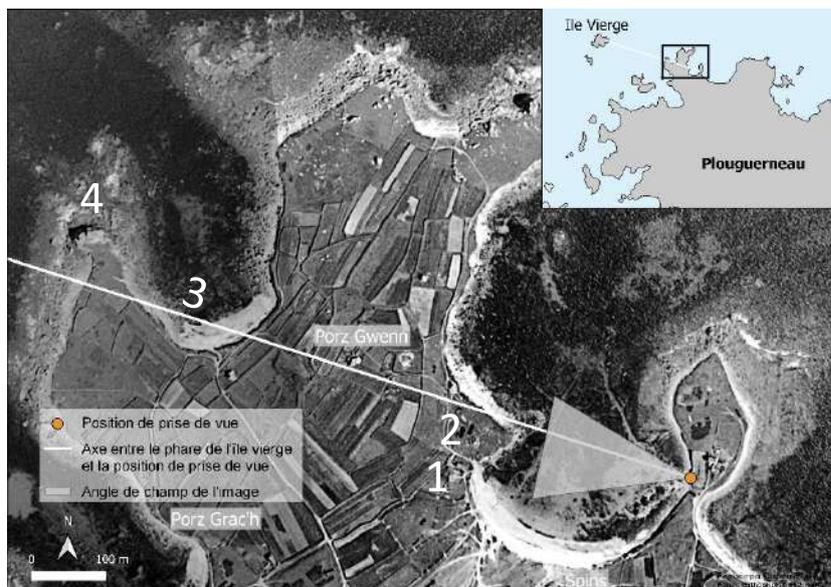


Figure 41 : Éléments de paysage que l'on peut retrouver sur les photographies aériennes, orthophotographie de l'IGN (1952).

Outre la localisation, **la date des clichés** est importante et peut être précisée par d'autres éléments lorsque ce type d'information n'est pas indiqué. En effet, **la présence ou non sur la photo de constructions** comme des cales ou des remblais dont la date de construction est connue peu préciser la date de l'image (notamment dans la zone de Penn Enez). Pour retrouver la date approximative de construction des ouvrages, il est possible de comparer plusieurs images aériennes sur Géoportail via le module remonter dans le temps²¹. De plus, des recherches sur **l'histoire des maisons d'édition** à l'origine de certaines cartes postales peuvent également préciser la date de prise de vue. La maison d'édition Artaud a par exemple utilisé la marque Gaby sur ses cartes postales entre 1934 et 1945, ce qui permet de restreindre la plage temporelle de prise des photographies. Enfin, **l'immatriculation des bateaux** visible sur certains clichés peut également préciser la date à laquelle ils ont été pris. En effet, l'immatriculation des bateaux est organisée selon des « quartiers » qui définissent le port d'attache des bateaux. Pour le Conquet, les deux lettres « LC » sont indiquées sur les plaques d'immatriculation et pour Brest il s'agit des lettres « BR ». Or, ces quartiers ont changé régulièrement depuis le XIXe siècle (Figure 42). Ainsi, en connaissant la date de rattachement à tel ou tel quartier, il est possible de connaître approximativement la date des photographies lorsqu'une plaque d'immatriculation est visible.



Figure 42 : Chronologie des ports d'attache de Plouguerneau de 1882 à 2021, Yves Bramoullé.

²¹ [https://remonterletemps.ign.fr/telecharger?x=-4.552940&y=48.617406&z=13&layer=GEOGRAPHICALGRIDSYSTEMS.MAPS.SCAN-EXPRESS.STANDARD&demat=DEMAT.PVA\\$GEOPORTAIL:DEMAT;PHOTOS&missionId=missions.4983780](https://remonterletemps.ign.fr/telecharger?x=-4.552940&y=48.617406&z=13&layer=GEOGRAPHICALGRIDSYSTEMS.MAPS.SCAN-EXPRESS.STANDARD&demat=DEMAT.PVA$GEOPORTAIL:DEMAT;PHOTOS&missionId=missions.4983780)

B.3.c. Reconductions photographiques sur le terrain

C'est seulement après ces précédentes étapes que le terrain peut débuter. À ce stade, les images sont relativement bien localisées, datées et plusieurs tris ont été effectués afin de sélectionner les images les plus pertinentes. L'objectif de cette étape est de prendre des photographies à partir de l'endroit qui se rapproche le plus de l'image ancienne initiale. Plus cette position se rapprochera de la position initiale et plus le rendu final sera réussi. Afin de parvenir à cet objectif, l'ensemble des données SIG sur la position, l'angle de champ et des informations sur la photo sont intégrés dans un smartphone à l'aide de l'application QField afin de gagner du temps sur le terrain (Figure 43). En effet, la position des images peut être retrouvée rapidement et la photo peut être comparée sur place avec la photo récente prise sur le terrain. En outre, la majorité des images anciennes sont prises d'une hauteur assez conséquente. Cela doit s'expliquer par la taille des appareils de l'époque, pour limiter cet impact sur les reconductions photographiques **un escabeau a parfois été utilisé** afin d'augmenter la hauteur de prise de vue.

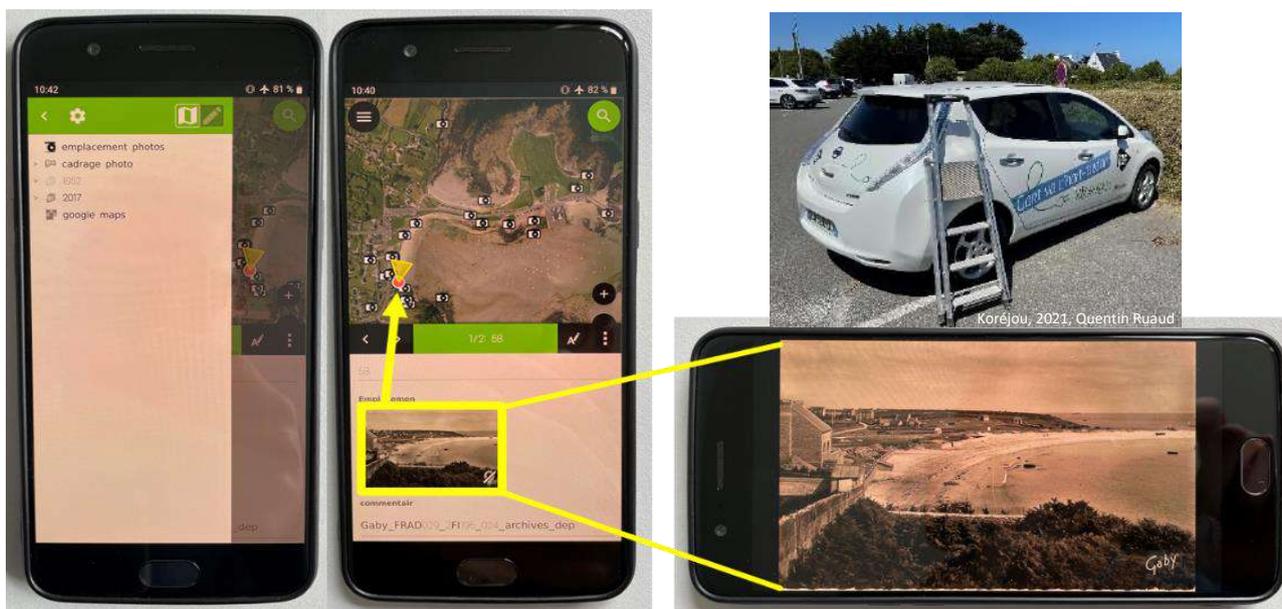


Figure 43 : Système SIG de terrain, véhicule et escabeau, Koréjou, 2021, Quentin Ruaud.

Afin d'avoir la meilleure luminosité possible, les jours de terrain ont été sélectionnés en fonction de la météo et l'organisation des tournées en fonction de grandes zones afin de limiter les déplacements. L'heure de marée a également été prise en compte lorsque c'était possible. Finalement, trois jours complets et quelques heures ont été nécessaires pour réaliser environ 70 reconductions

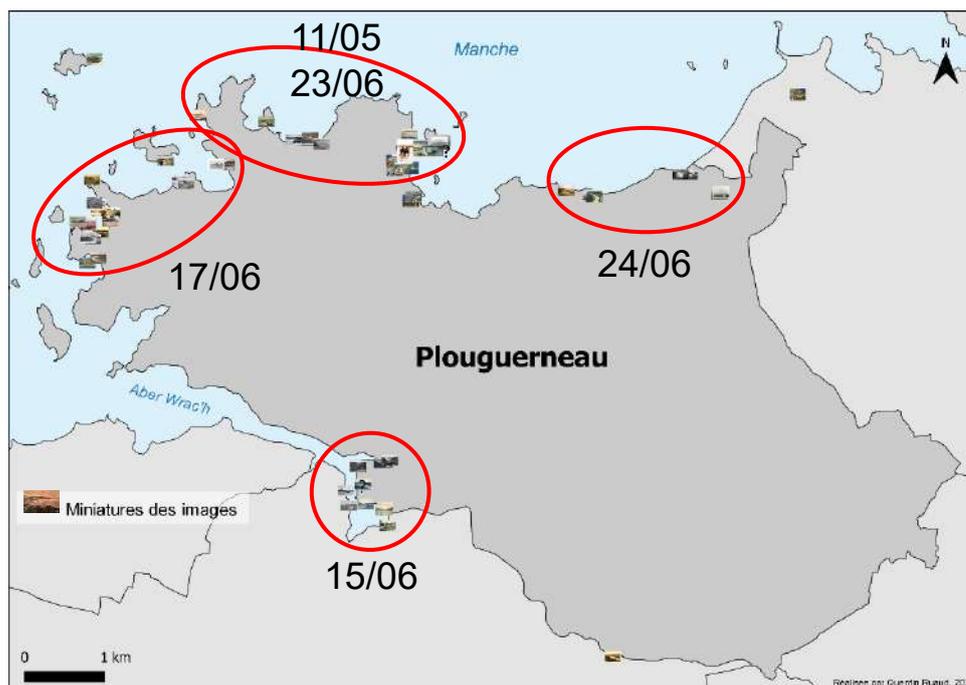


Figure 44 : Date et localisation des journées de terrain.

photographiques (Figure 44).

Enfin, au cours de l'étape de terrain, un **ensemble de difficultés** peut être rencontré.

- **La hauteur de prise de vue** peut-être trop élevée ou inatteignable malgré l'utilisation d'un escabeau (Figure 45). De plus, l'accès au site peut être difficile ou se situer sur une propriété privée.



Figure 45 : Beg ar C'hastell, à gauche date inconnue, à droite 2021 Quentin Ruaud.

- **L'évolution de la végétation** ou la présence de nouvelles constructions peut masquer la vue et rendre compliquée la comparaison dans le temps (Figure 46).



Figure 46 : Moulin du traon, à gauche 1900, à droite 2021 Quentin Ruaud.

- **L'évolution de la topographie**, peut rendre la position de la prise de vue inaccessible (Figure 47).

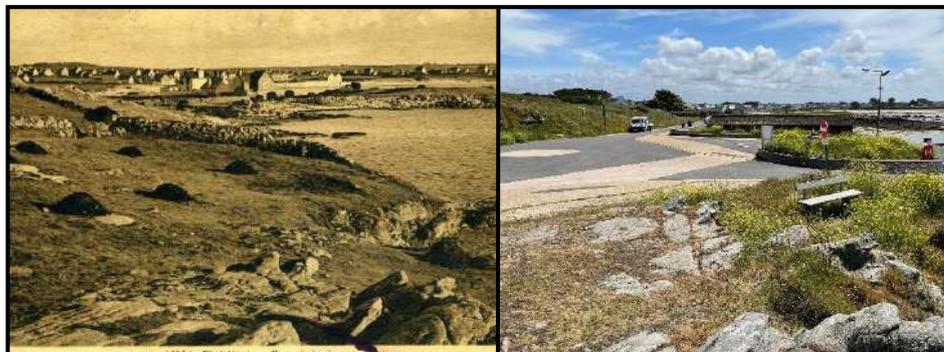


Figure 47 : Kastell Ac'h, à gauche [1934-1945] Gaby, à droite 2021 Quentin Ruaud.

- Enfin, la **différence de distance focale** entre l'appareil d'origine et l'appareil récent force à choisir entre le premier plan, où se situe généralement un repère, ou l'arrière-plan, ce qui oblige à zoomer sur l'image et à supprimer le premier plan (Figure 48). L'utilisation d'un appareil photo où la distance focale peut être réglée permet de passer outre cette limite.



Figure 48 : Kervenni, à gauche date inconnue Jos, à droite 2021 Quentin Ruaud.

B.3.d. Intégration à la carte narrative

La dernière étape consiste à **caler les photographies** anciennes et récentes entre-elles puis de **les intégrer à la carte narrative** en ligne (Figure 49). De cette manière, l'angle de champ des deux images correspond parfaitement, ce qui permet une représentation sous forme de balayage. Pour cela, le principe de base utilisé est de **ne pas modifier l'image ancienne d'origine**. L'image récente est donc modifiée pour correspondre au mieux à l'image d'origine. Certains agrandissements sont également nécessaires afin de limiter l'effet des différences de focales détaillé plus haut. L'ensemble des manipulations sont réalisées manuellement et dans certains cas il est nécessaire d'ajouter des marges à l'image récente afin que le fichier final corresponde parfaitement à l'image ancienne. C'est le cas lorsque la sélection de la zone à conserver est plus grande que l'image récente. Ensuite, l'ensemble des images sont intégrées à la carte narrative avec en face de chacune d'elles un texte avec des informations sur les images et des éléments de lecture de paysage.

Enfin, l'ensemble des images sont rassemblées dans un diaporama avec un aperçu des deux images et leur position et angle de champ relatif grâce à une carte de localisation pour chacune des images.

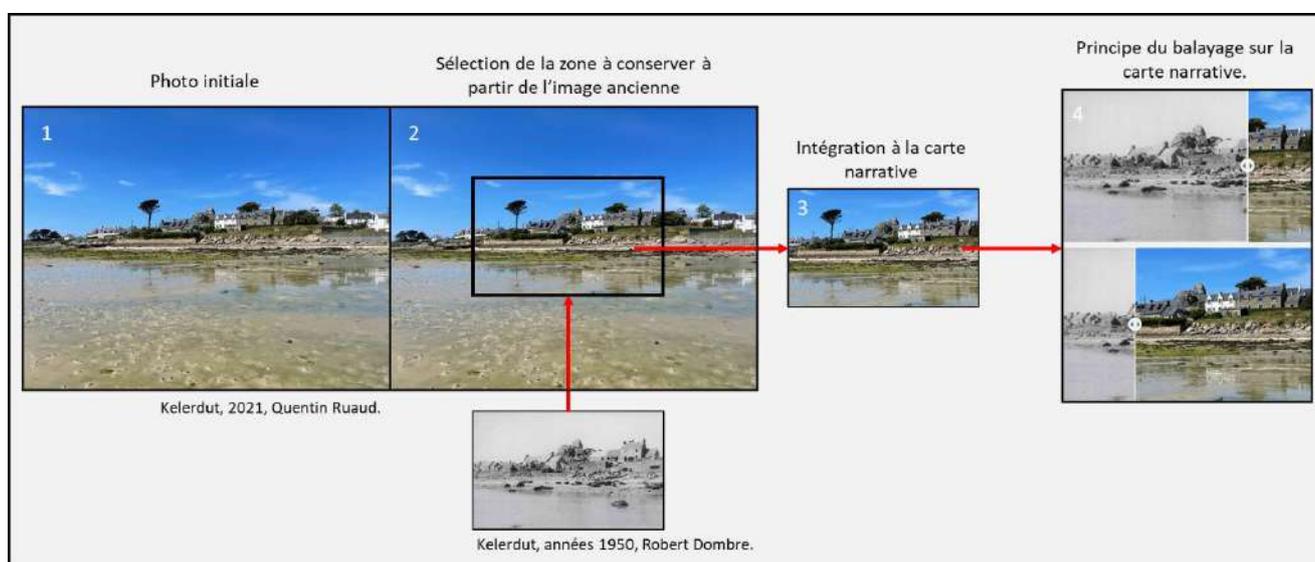


Figure 49 : Étapes du calage des images et intégration à la carte narrative.

IV. Résultats et analyse

A. Évolution du trait de côte

A.1. Quantification des vitesses d'évolution

D'après la méthode utilisée sur la commune de Plouguerneau, sur les 26,3 km de trait de côte numérisés, entre **10%** (2000-2017) et **13%** (1952-2017) sont en recul significatif. En ce qui concerne les vitesses d'érosion, sur la période 1952-2017, les vitesses sont comprises entre **5 et 31 cm/an** (couleurs chaudes, Figure 51). Ces valeurs sont similaires aux valeurs calculées pendant l'atelier Litto'Risques sur une partie de la commune.

De la même manière, comme a pu le souligner le rapport de l'atelier, sur la période 2000-2017, les vitesses d'érosion sont plus élevées et sont comprises entre **16 et 114 cm/an** (couleurs froides, Figure 52). La limite haute est moins élevée dans cette étude, 114 au lieu de 118 pendant l'atelier sur la même zone, car la méthode utilisée basée sur les aires permet de limiter les biais liés aux irrégularités du littoral et permet d'obtenir des résultats plus représentatifs du recul réel. Des cartes plus précises des différentes portions de Plouguerneau sont disponibles en Annexes (Annexe 9, Annexe 10, Annexe 11, Annexe 12, Annexe 13 et Annexe 14).

L'accélération des vitesses d'érosion mesurées sur la période 2000-2017 peut s'expliquer par plusieurs éléments déjà abordés au cours de l'atelier. En effet, des événements tempétueux comme la tempête de 2014, ou l'augmentation du niveau marin pourraient en partie être à l'origine de cette augmentation. L'extraction de sable, l'artificialisation du littoral ou la fréquentation sont d'autres éléments ayant pu contribuer à cette augmentation.

En termes de surface, la commune a perdu **1,6 ha** sur la période 1952 – 2017 et **quasiment 1 ha** sur la période 2000 – 2017 (Figure 50). À l'inverse la commune a gagné 5 hectares sur la période 1952-2017 et 2,4 hectares sur la période 2000-2017. Ces données confirment donc l'augmentation des vitesses d'érosion sur la période 2000 - 2017 et montrent une forte diminution de la surface d'avancée du trait de côte entre les deux périodes. Cela s'explique par le fait que les remblais artificiels ont principalement été construits avant 2000 et que seule l'avancée naturelle du trait de côte se poursuit après 2000.

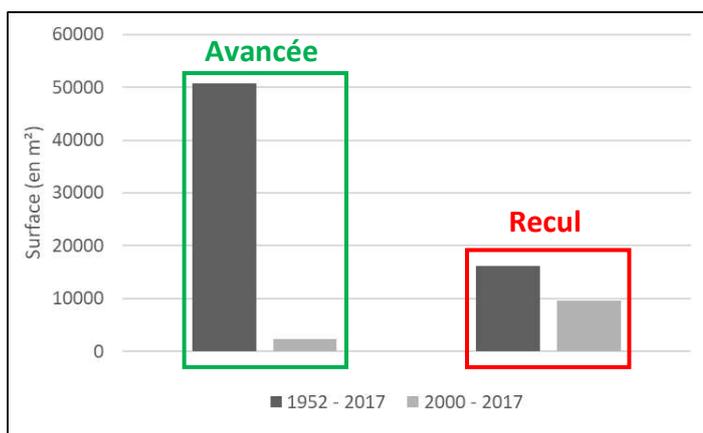


Figure 50 : Surfaces de terrain gagnées ou perdues sur les deux périodes.

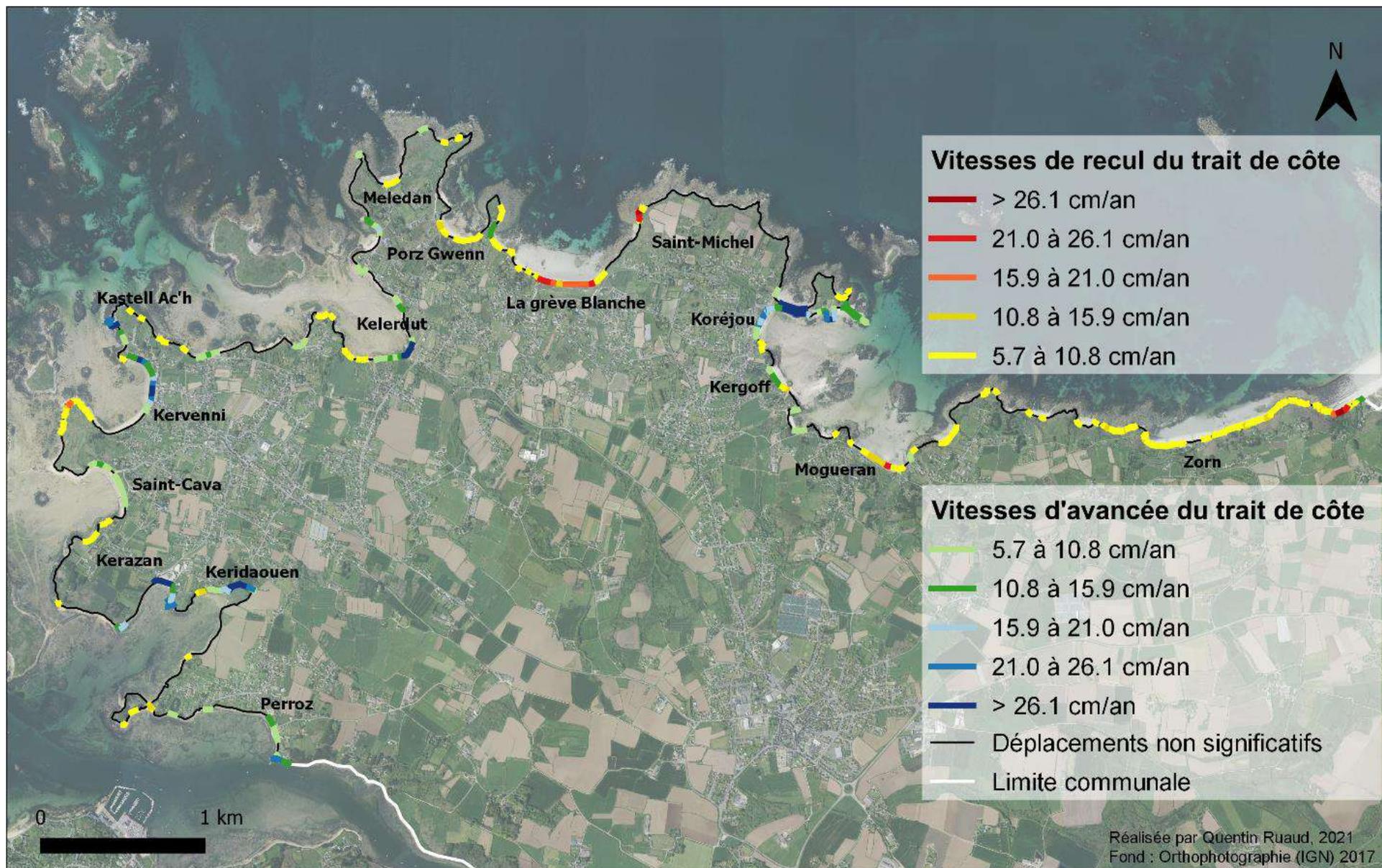


Figure 51 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 1952 et 2017.

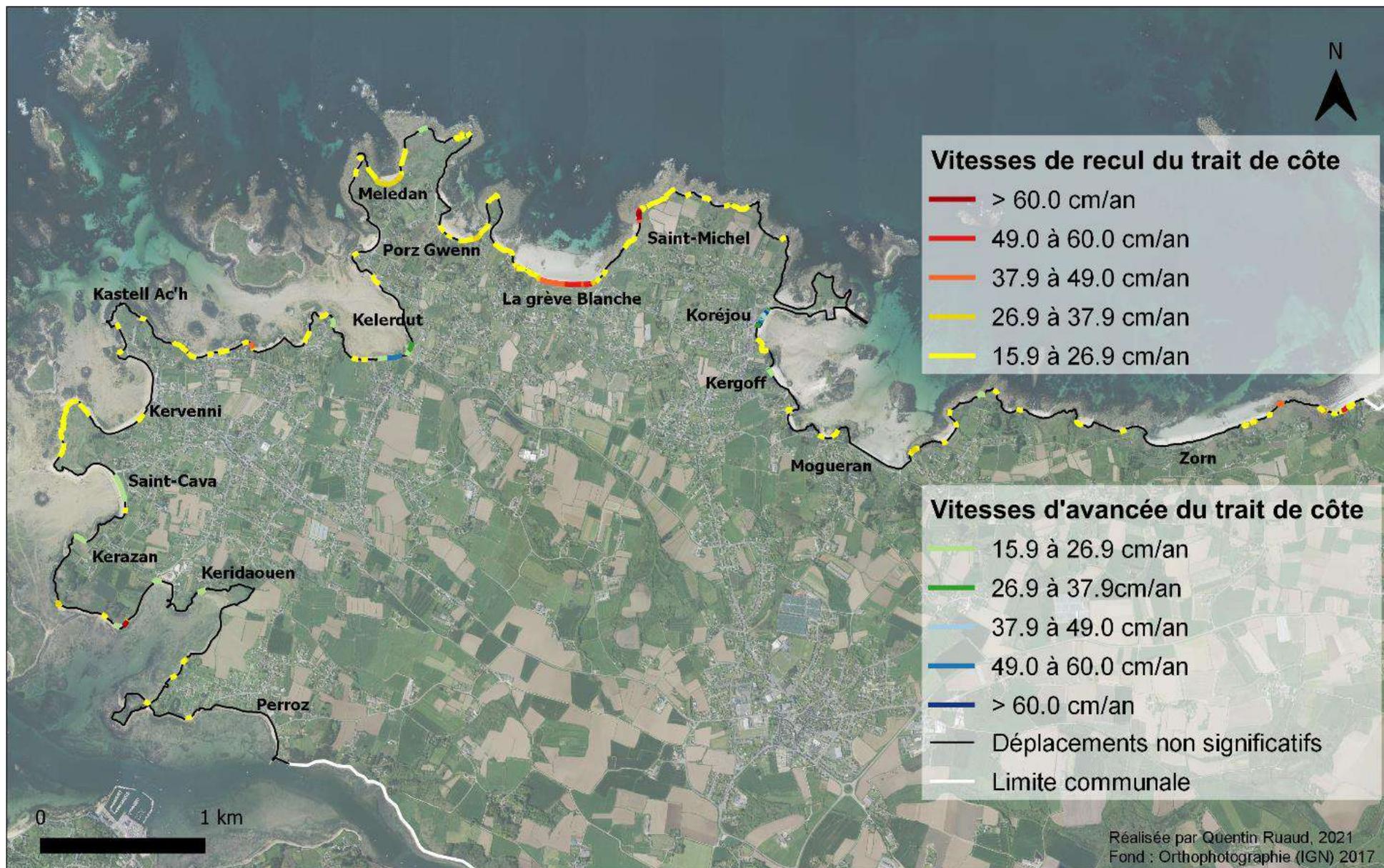


Figure 52 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 2000 et 2017.

En outre, en comparant les deux périodes, il est possible de remarquer que les zones impactées par l'érosion sont parfois différentes. Ces modifications récentes peuvent également être dues aux facteurs à l'origine de l'accélération des vitesses d'érosion cités ci-dessus. Ainsi, les portions du littoral en recul significatif sont globalement moins importantes **du Koréjou aux falaises du Zorn ou la plage de Porz Gwenn** sur la période 2000 - 2017 (Figure 51, Figure 52). A contrario, le **nord-ouest de Saint-Michel, la plage de la grève blanche, la plage de Meledan, le début du sentier de Kastell Ac'h ou l'ouest de Kervenni** sont plus impactés en termes de surface et de vitesse de recul. D'une manière générale, le littoral situé à l'ouest au niveau de l'aber à partir de la plage de Saint-Cava est moins impacté par l'érosion (Figure 51, Figure 52). Ce constat vient probablement du fait que la zone est moins exposée à la houle par sa localisation dans l'aber ou la présence de nombreuses îles. Il est également possible que les sédiments qui proviennent de la zone d'érosion de l'ouest de Kervenni alimentent la plage par dérive littorale.

Enfin, plusieurs portions du littoral de la commune avancent de manière naturelle ou ont avancé de manière artificielle par le passé. Pour les zones artificielles, ce n'est pas le transport sédimentaire qui est à l'origine de cette avancée et donc ces zones n'avanceront plus pour la plupart (Figure 50). Pour les zones en progradation naturelle on peut citer **la plage de Kergoff, la plage du Koréjou, l'anse de Kelerdut, la plage de Saint-Cava ou l'anse de Keridaouen**. Pour la plage du Koréjou et probablement la plage de Kergoff, l'avancée pouvant atteindre **73 cm/an** est provoquée par une modification de la circulation sédimentaire depuis le raccordement de Penn Enez par la route. Pour l'anse de Kelerdut, une première avancée est due à un remblai artificiel datant de la fin des années 1970 d'après les images aériennes²². Depuis, le TDC continue d'avancer dans sa partie sud-est ce qui explique l'ensablement des enrochements dans cette zone. Cependant le TDC recule dans sa partie sud-ouest principalement sur la période 1952-2017. Pour ce qui est de la plage de Saint-Cava, la plage avance en moyenne de 10 à 20 cm/an en fonction de la période prise en compte. De la même manière, ici **les enrochements sont pratiquement tous recouverts par la dune** ce qui montre leur inutilité. Enfin l'anse de Keridaouen étant très peu exposée, avance de 10 à 75 cm/an sur la période 1952 - 2017, mais n'avance plus ensuite sur la période 2000 - 2017.

A.2. Projections et Enjeux impactés

A.2.a. Projection des surfaces perdues

Comme précisé dans la partie méthode (A.4), à l'aide des vitesses de recul calculées sur les deux périodes, un trait de côte prospectif pour 2100 a été numérisé (Figure 53). Pour rappel, ce trait de côte permet d'avoir une idée des évolutions du littoral **si les dynamiques actuelles se poursuivent**. De plus, le choix a été fait de ne pas appliquer trop de modifications sur les zones où les évolutions sont imperceptibles, par conséquent, le tracé sur certaines zones apparaît très irrégulier. Or il est très probable que le recul réel soit beaucoup plus homogène, en particulier sur les côtes sableuses.

Ensuite, à partir du trait de côte prospectif 2100, les surfaces de **gain** ou de **perte** de territoire ont été mesurées. Pour cela, deux cas de figure ont été appliqués. En effet, à l'aide du recensement actualisé des ouvrages littoraux réalisé pendant l'atelier Litto'Risques, une différence a été faite entre les portions du littoral ayant ou non des **ouvrages de fixation du trait de côte**. Ainsi il est possible de différencier :

²² [https://remonterletemps.ign.fr/telecharger?x=-4.552940&y=48.617406&z=13&layer=GEOGRAPHICALGRIDSYSTEMS.MAPS.SCAN-EXPRESS.STANDARD&demat=DEMAT.PVA\\$GEOPORTAIL:DEMAT;PHOTOS&missionId=missions.4983780](https://remonterletemps.ign.fr/telecharger?x=-4.552940&y=48.617406&z=13&layer=GEOGRAPHICALGRIDSYSTEMS.MAPS.SCAN-EXPRESS.STANDARD&demat=DEMAT.PVA$GEOPORTAIL:DEMAT;PHOTOS&missionId=missions.4983780)

- **en rouge**, la surface perdue par érosion à l'horizon 2100 avec entretien des ouvrages, par conséquent, seules les zones sans ouvrages reculent.

- **en violet**, la surface perdue par érosion à l'horizon 2100 sans entretien des ouvrages. Ainsi, l'érosion totale sans entretien comprend les portions du littoral où les ouvrages ne sont pas entretenus (en violet) et le reste du littoral qui est susceptible de reculer (en rouge).

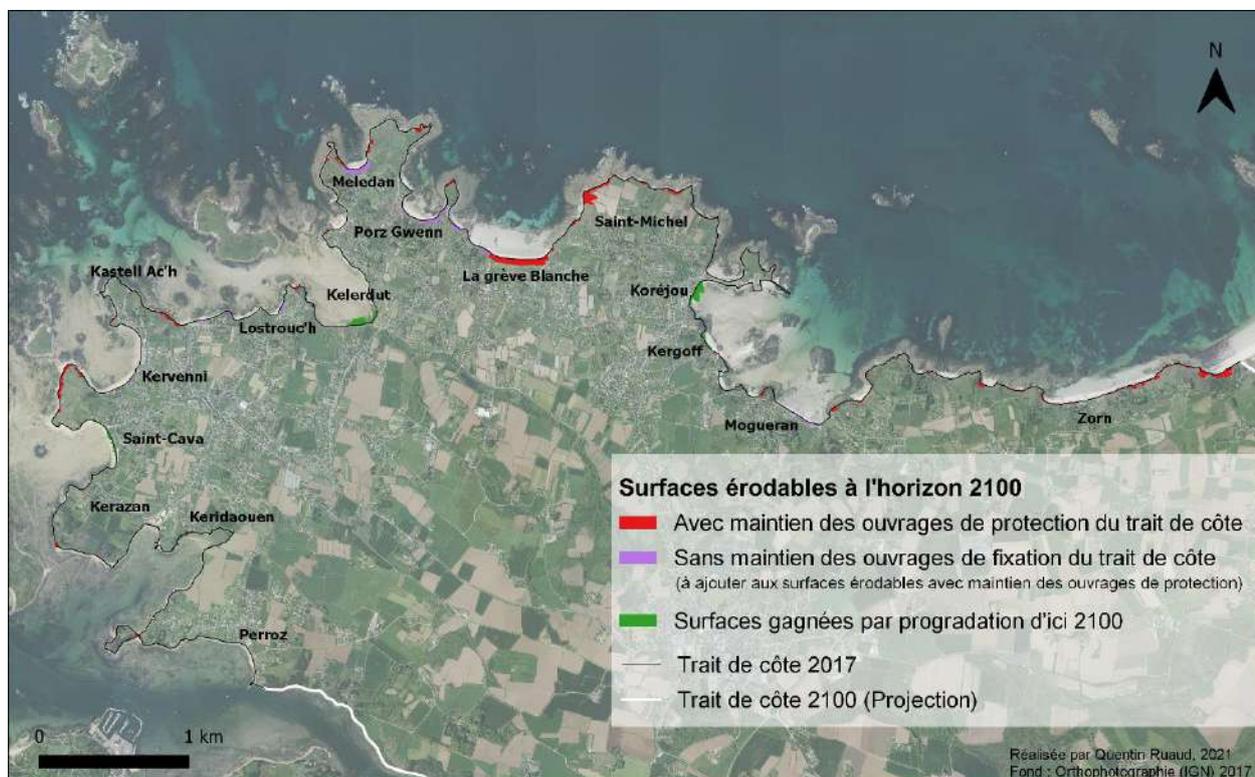


Figure 53 : Surfaces gagnées ou perdues sur la commune de Plouguerneau à l'horizon 2100.

Avec l'entretien des ouvrages de protection, la surface perdue par l'érosion à l'horizon 2100 s'élèverait potentiellement à **6,8 hectares** et pourrait atteindre **9,3 hectares** sans entretien des ouvrages (Figure 54).

Il faut noter que l'entretien des ouvrages peut avoir un coût non négligeable. En effet, en se basant sur les coûts engendrés sur l'enrochement de Porz Gwenn, l'atelier avait estimé une dépense annuelle d'au moins 43 000 € pour entretenir l'ensemble des ouvrages de la commune.

Cependant, les impacts causés par les tempêtes de 2014 ont engendré à eux seuls 260 000 € de dépenses pour remettre en état les murs, les enrochements, les cales et le sentier. Ce chiffre pourrait donc être sous-estimé en prenant en compte les événements extrêmes.

Enfin, d'une manière générale, la partie ouest de la commune à partir de la plage de Saint-Cava est peu sujette à l'érosion sauf de manière ponctuelle sur quelques portions.

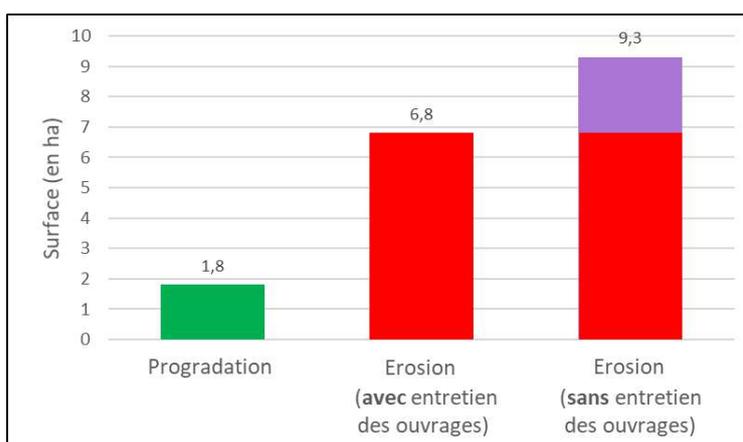


Figure 54 : Projections des surfaces gagnées ou perdues avec ou sans entretien des ouvrages d'ici 2100.

A.2.b. Enjeux impactés

Le croisement des zones soumises à l'aléa érosion à l'échéance 2100 avec les deux principaux enjeux recensés sur la commune qui sont le bâti et le sentier côtier, a permis de quantifier sur l'ensemble de la commune les dommages potentiels.

Tout d'abord, le recensement des ouvrages bâtis produit par la Direction Générale des Finances Publiques (DGFIP) en 2019 a permis de relever **huit entités** situées en zone érodable à l'échéance 2100 sans entretien des ouvrages (Figure 55). Finalement, si l'on sélectionne seulement les lieux d'habitation, **cinq habitations** sont situées en zone potentiellement érodable sans entretien des ouvrages et **une seule** si les ouvrages sont maintenus.

Les habitations en arrière d'ouvrages sont situées, a **Kervenni, Lostrouc'h** et **Meledan** (Figure 57). Le bâtiment composé de deux parties qui n'est en arrière d'aucun ouvrage est situé à **Kréac'h an Avel**.

Ces projections sont inférieures à celles réalisées durant l'atelier Litto'Risques. Ces différences proviennent de la méthodologie de calcul des vitesses de recul et la méthode pour tracer le trait de côte 2100. De plus, dans certains cas comme au sud-est du koréjou, les habitations potentiellement impactées sont situées sur un substrat rocheux, les vitesses d'érosion sont donc beaucoup plus faibles et ne peuvent pas être intégrées aux projections.

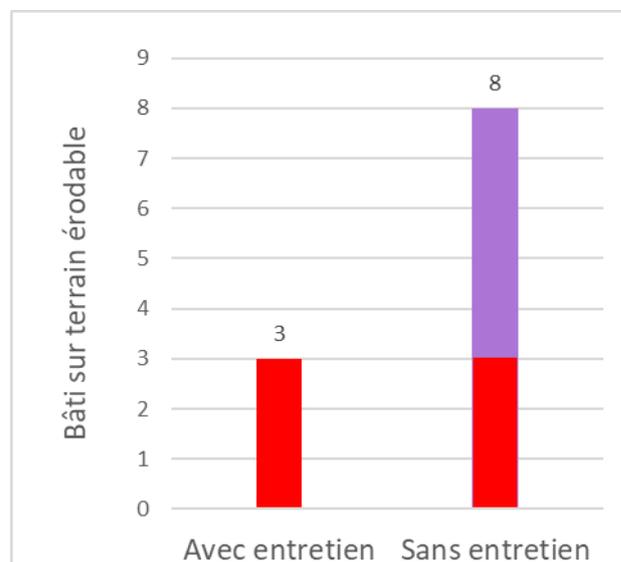


Figure 55 : Nombre d'entités bâties sur terrain potentiellement érodable à l'horizon 2100 avec et sans entretien des ouvrages.

Pour ce qui est du sentier côtier, et en se basant sur le tracé de la DDTM sur l'ensemble du littoral étudié, **4,2 km** seront impactés par l'érosion côtière sur Plouguerneau à l'horizon 2100 (Figure 56). **Si les ouvrages de fixation du trait de côte sont maintenus** alors ce nombre descend à **3 km** ce qui reste relativement important.

Ainsi, les mêmes zones que pendant l'atelier sont mises en avant telles que le Zorn, Saint-Michel ou Kastell Ac'h même avec l'entretien des ouvrages (Annexe 15). Toutefois, des portions importantes du littoral sont également impactées et mises en avant dans cette étude. Il s'agit des portions situées à l'ouest de Kervenni et au nord de Meledan (Figure 57).

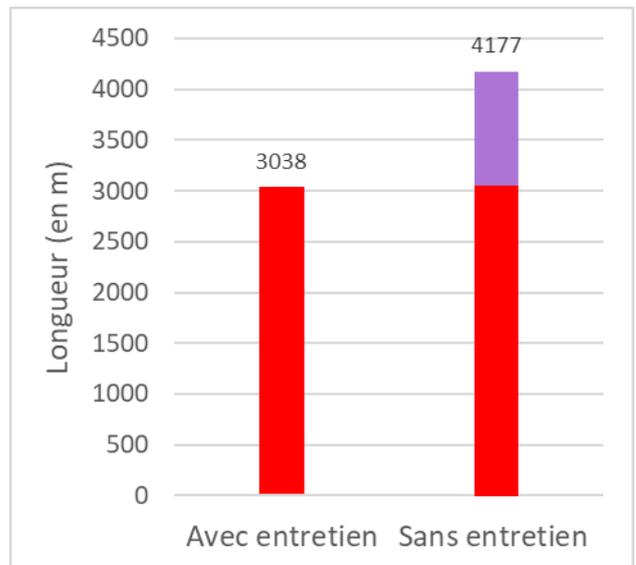


Figure 56 : Longueur de sentier potentiellement érodable de Plouguerneau à l'horizon 2100 avec et sans entretien des ouvrages.

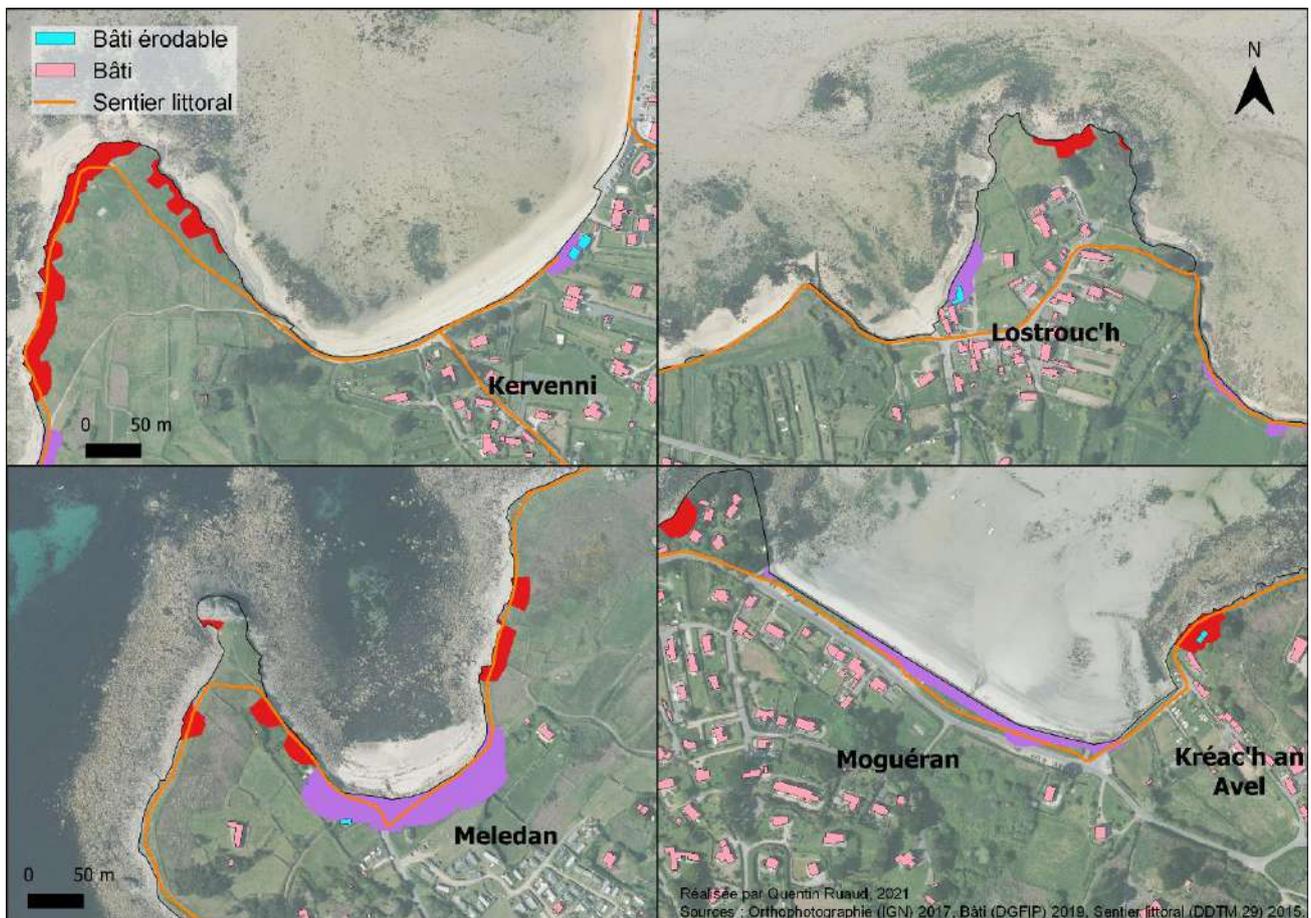


Figure 57 : Enjeux bâtis et sentier impacté par l'aléa érosion.

A.3. Résumé, limites et perspectives

A.3.a. Résumé

Au cours de cette étude, l'aléa érosion côtière a été cartographié sur l'ensemble de la commune (hors îles et Aber), ce qui permet d'avoir une idée globale des tendances en termes de recul ou d'avancée. La projection des surfaces érodables à l'horizon 2100 obtenu à partir de ces données a permis de dégager les ordres de grandeur des enjeux potentiellement menacés. Ainsi, il apparaît que le bâti semble peu menacé par l'aléa érosion côtière. Cependant, le sentier côtier est fortement impacté sur les sites du Zorn, de Saint-Michel, de Kastell Ac'h, mais également à l'ouest de Kervenni et au nord de Meledan (Figure 58).



Figure 58 : Meledan, 05/10/2020 Quentin Ruaud

A.3.b. Limites

Il est nécessaire de garder quelques précautions dans la lecture et l'utilisation des cartes réalisées. En effet, pour réaliser ce travail des choix ont été faits, comme le fait de projeter le trait de côte en utilisant les vitesses de recul actuelles.

Tout d'abord, comme pour l'étude Litto'Risques, sur le terrain il est possible d'observer des formes d'érosion sur des zones qui sont représentées comme en recul "non-significatif" sur les cartes produites, c'est le cas au sud-ouest du tor granitique de Meledan (Figure 58). Cela permet de rappeler que ce travail possède des limites intrinsèques et que les évolutions présentées permettent de déterminer les grandes tendances sur l'ensemble du littoral. De la même manière, les vitesses d'érosion ne sont pas linéaires dans le temps, des phases d'accélération ou de ralentissement peuvent avoir lieu. Toutefois avec la probable augmentation des événements extrêmes et l'élévation du niveau marin, il est possible qu'à l'échelle de la commune, les prédictions soient optimistes. A contrario, la position de la falaise morte et du substrat rocheux n'a pas été déterminée, si ce niveau est atteint, les vitesses d'érosion devraient fortement ralentir. Il est donc possible que la position du trait de côte 2100 ne dépasse pas cette limite sur certaines portions du littoral tel que les falaises du Zorn.

En outre, l'utilisation des surfaces pour quantifier les reculs a sûrement permis d'être plus représentatifs des vitesses d'évolution, ce qui dans certains cas, a abaissé les vitesses d'évolution.

A.3.c. Perspectives

Ce travail est donc intéressant pour avoir une vision globale des dynamiques du littoral Plouguernéen. Il pourra être actualisé à l'avenir en utilisant les dernières images aériennes disponibles afin de confirmer ou non les projections. De plus, sur certains sites, un suivi sur le terrain pourra être effectué afin de mieux comprendre le fonctionnement des transports sédimentaires.

Ces suivis peuvent notamment être réalisés en collaboration avec l'Université de Bretagne Occidentale. Ainsi, dans cette optique et afin de faire participer la population dans la compréhension des risques érosion et

submersion marine, l'équipe en charge de l'application **Coast Appli** a été contactée au cours de ce stage. Cette application développée par l'UBO et en phase de test au moment du stage sur la commune de Guissény pourrait être utilisée sur Plouguerneau par les habitants et gestionnaires. En effet, le suivi de l'évolution du trait de côte en limite de camping au niveau de Saint-Michel notamment, permettrait de quantifier plus précisément le recul.

Pour étudier les possibilités de déploiement sur la commune, une sortie sur trois sites de Plouguerneau a permis de mettre en avant le potentiel de la commune. En effet, d'après Pauline Letortu, enseignante-chercheuse à l'UBO et Jean-Marie Derval, stagiaire sur le développement de Coast Appli, des protocoles sont applicables sur les trois sites, à savoir : **les falaises du Zorn** (Figure 59), **les falaises de Saint-Michel/plage de la grève blanche** et enfin **la plage du Koréjou**. La présence de falaises permettrait également



Figure 59 : Exemple de repères pour les protocoles, plage du Zorn, Plouguerneau (J.M. Derval, 9/08/2021).

de développer un protocole basé sur la photogrammétrie (Figure 60). Deux protocoles de submersion sont également disponibles sur le site du Koréjou, plus sensible à cette problématique. Le nombre important de protocoles permet de s'adapter à de nombreuses configurations littorales et au public visé. En effet, sur l'application, **trois profils** (novice, expérimenté, expert) seront disponibles en fonction du type d'utilisateur. De cette manière la complexité des protocoles est **adaptée au public**. Ainsi, le suivi photographique permet par exemple de prendre en photo le littoral à partir d'un même point et de comparer les images dans le temps sur le même principe que les reconductions photographiques.

Cette application ayant un volet de science participative pourrait permettre aux habitants de s'impliquer dans le suivi de leur littoral et de mieux comprendre son fonctionnement. L'une des difficultés sera donc de fédérer un réseau d'habitants en passant notamment par des associations (ou la réserve citoyenne) afin que la participation reste constante.

Enfin, la sortie officielle de l'application étant prévue pour fin septembre 2021, il sera nécessaire qu'une personne soit chargée d'adapter les protocoles pour la commune de Plouguerneau et de procéder aux tests terrain.

	Zorn	Koréjou	Saint-Michel	Grève Blanche
Distance entre un repère et le trait de côte	X	X	X	X
Profil de plage (plusieurs méthodes : profil général, de précision et par cordage gradué)	X	X		X
Suivi photographique	X	X	X	X
Possibilité de tester la photogrammétrie, pour la version future de l'application	X		X	
Mesure verticale sur bas d'estran		X		
Mesure verticale sur un repère		X		X
Mesure verticale sur bas d'estran				X
Pente de plage		X		X
Profil de précision de plage par télémètre laser ou tachéomètre		X		X
Profil général de plage par télémètre, distancemètre		X		X
Surface/Volume érodée sur une côte rectiligne		X		

Figure 60 : Protocoles applicables sur les différents sites.

B. Carte narrative

B.1. Mise à disposition et résultats des reconductions photographiques

Le contenu de la carte narrative présenté dans la partie méthodologie (III.B.2) a donc pour fonction d'être disponible et visualisable par tous via le site internet de la mairie. La durée de lecture est variable en fonction du niveau de connaissance initial du lecteur. Au niveau de l'organisation finale de la carte narrative et la proportion des différentes parties, elle est organisée comme ceci (Figure 61) :

L'explication de la notion de risque fait suite à une courte présentation de la carte narrative. Ensuite un ensemble de schémas permet d'expliquer quelques termes et la formation des aléas érosion/submersion. Ensuite les trois parties suivantes traitent des risques littoraux selon les trois échelles temporelles. La partie II. est la plus longue, car les reconductions photographiques sont intégrées dans cette partie. En effet elles représentent le littoral du début du XXe siècle à aujourd'hui et permettent d'expliquer en image les évolutions décrites au début de cette partie comme le changement de vision et d'occupation du littoral ou l'évolution de l'urbanisation.

Cette collecte est un succès en termes de retours, mais a nécessité un ensemble d'étapes afin d'arriver au nombre d'images disponible en ligne. En effet, à l'origine, **210 images** ont été collectées avec la participation de 10 habitants. S'ajoutent à ce nombre 17 images issues des archives départementales du Finistère (Figure 62). Parmi ces nombreux clichés, un premier tri a été effectué afin d'éliminer les doublons, les images de trop mauvaise qualité, les images sans la présence de littoral ou les images incompatibles avec le principe de reconduction photographique.

Après ce premier tri, **83 images** ont donc été localisées sur SIG, dont 14 sont des images obliques. La phase de terrain a donc nécessité de réaliser **69 reconductions photographiques** (Figure 44). La localisation des clichés est très disparate et est concentrée aux alentours de Paluden, de Kervenni et du Koréjou. Ainsi, aucun cliché n'est disponible sur la majorité de l'aber et peu de clichés sont disponibles au niveau du Zorn et quand c'est le cas ils sont inexploitable. Comme précisé dans la méthode, au cours de ce troisième tri, les clichés où les reconductions sont impossibles pour un ensemble de raisons ne sont pas utilisés. Finalement, un peu plus de 30 images ont été correctement calées dans le but de faire des reconductions photographiques et seulement **27 ont été intégrées à la carte narrative**. Sur ces 27 images, **12 lieux** de Plouguerneau sont représentés. Chaque image montre un élément d'évolution du littoral de Plouguerneau, pour cette raison, certaines images n'ont pas été intégrées lorsqu'elles montraient le même lieu et la même évolution d'un endroit qu'une autre image.

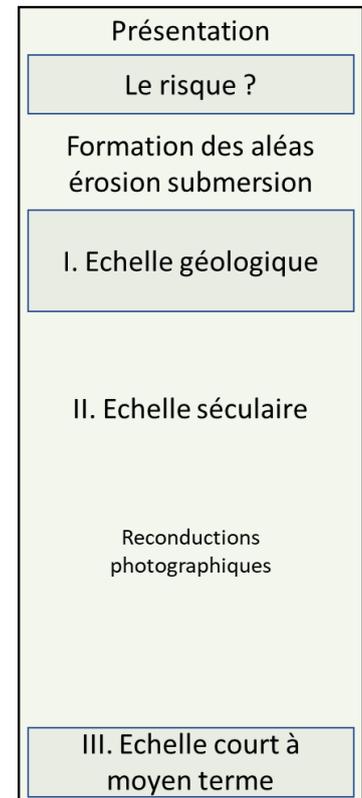


Figure 61 : Proportion des différentes parties de la carte narrative en ligne.

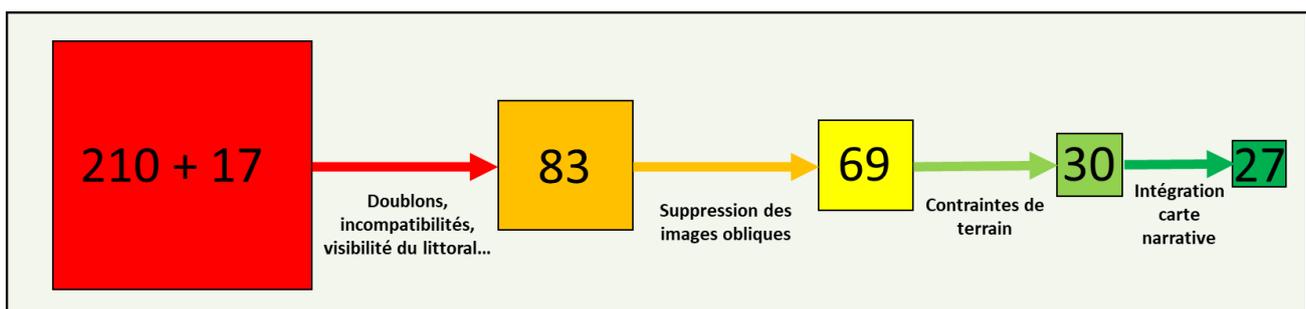


Figure 62 : Tris des images nécessaires aux reconductions photographiques.

De plus, chaque image étant détaillée dans la carte narrative, le nombre d'images obtenu permet de ne pas trop alourdir la carte narrative tout en proposant un contenu conséquent et diversifié.

B.2. Limites et perspectives

B.2.a. Limites

Pour produire cette carte narrative, un soin a été apporté pour correspondre au format du rendu. En effet, la charte graphique a été homogénéisée, les images intégrées sont de haute résolution et les sources sont constamment citées. De plus, un effort a été fait afin que le message soit compréhensible par tous. Toutefois, plusieurs limites peuvent apparaître dans ce travail.

- Tout d'abord, ce récit en ligne n'a pas été réalisé par un professionnel dans le domaine de la communication et donc plusieurs éléments peuvent être améliorés. Dans cette optique, l'ensemble de la carte narrative est modifiable par la mairie et l'ensemble des illustrations intégrées à celle-ci sont disponibles parmi les livrables fournis à la fin du stage.

- Ensuite, la plateforme utilisée ne permet pas une liberté totale dans l'agencement des éléments ou l'organisation des textes. Par ailleurs, les couleurs mises à disposition pour la police ou le fond de la carte narrative ne sont pas très nombreuses. Ces limites viennent du fait qu'il s'agit d'une version gratuite. C'est toutefois, la plateforme qui offre le plus de possibilités en termes d'options.

B.2.b. Perspectives

Ce travail de communication est un donc un bon début pour informer et améliorer la compréhension des habitants sur les risques côtiers. Le travail effectué au cours de ce stage sera donc présenté aux habitants via la presse et autres réseaux ainsi que par le biais du bulletin d'information municipal. De plus, ce travail pourra également être valorisé par la suite. En effet, plusieurs projets ont été évoqués, comme l'installation d'une exposition du bourg au Koréjou le long de la « coulée verte ». En outre, les images anciennes collectées pourraient également faire l'objet d'expositions photo. Par la même

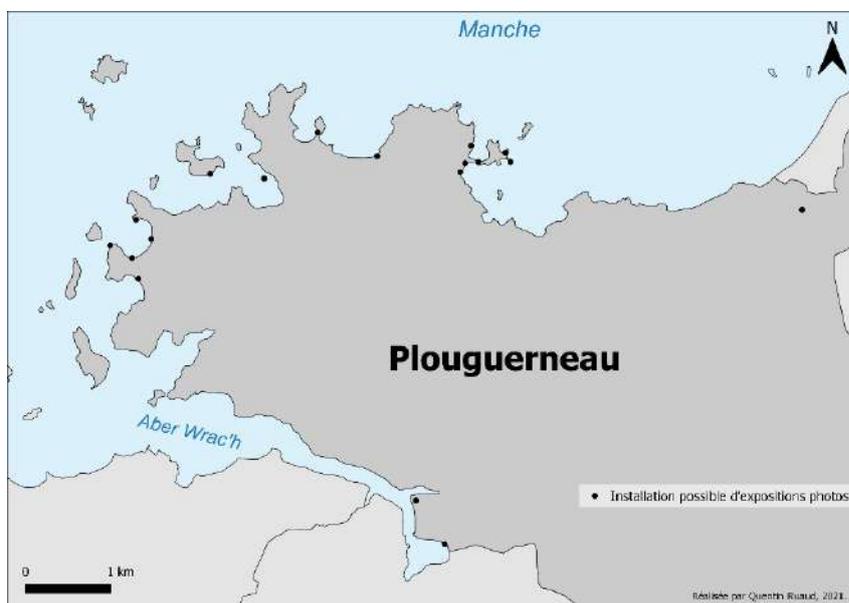


Figure 63 : Emplacement possible de panneaux photo.

occasion, ces images pourraient rediriger vers la carte narrative en ligne, ce qui permettrait ainsi de valoriser plus longtemps ce travail. Dans cette optique, les images seraient placées à l'endroit où a été prise la photo, ce qui permettrait de voir directement les évolutions sur le terrain. En tout, seulement 18 images seraient compatibles avec ce genre d'exposition voire moins si l'on prend en compte les ENS (Figure 63). En effet, la majorité des clichés recensés ont été pris depuis le littoral vers les terres, ce qui complique l'installation des panneaux. D'autres limites viennent du fait que certains clichés ont été pris dans des parcelles privées avec l'accord des propriétaires ou qu'elles ont été prises d'une commune voisine.

Enfin, en lien avec le développement du projet de science participative via l'application Coast Appli, la mise en place actuelle de la réserve citoyenne communale pourrait permettre d'avoir des personnes relais vers la population, dans le but de communiquer sur les risques à Plouguerneau. Ces personnes relais auront également pour mission de participer pendant la gestion de crises au cours d'évènements de submersion marine. En outre, l'organisation d'ateliers participatifs ou de réunions d'information avec des publics diversifiés permettrait de passer une seconde étape dans l'amélioration de la culture du risque des habitants. Cela pourrait s'organiser sous forme d'une réunion annuelle présentant les résultats obtenus avec le suivi réalisé par les habitants via Coast Appli, si celle-ci est développée sur la commune. Ces réunions peuvent également être organisées sous forme d'ateliers participatifs comme peut le faire la CLCL dans le cadre de la GEMAPI. Toutefois, cela nécessiterait une organisation et des moyens qui sont plus compatibles à l'échelle intercommunale et donc à l'échelle de la CCPA.



La Mer ! MONTE !

LES RISQUES LITTORAUX S'ANTICIPENT AUJOURD'HUI

JEUDI 1^{ER} JUILLET 2021 - 18h30
COMPLEXE DE KERJÉZÉQUEL - LESNEVEN

Atelier gratuit, ouvert à tous les habitants
Inscription avant le 28 mai sur www.clcl.bzh



Photo : © Arévia

Figure 64 : Affiche du troisième atelier participatif organisé par la CLCL, 01/07/2021.

V. Conclusion

Ce travail sur la quantification de la mobilité littorale depuis les années 1952 dans le prolongement du diagnostic littoral réalisé par l'atelier Litto'Risques a permis de mettre en avant plusieurs éléments.

Tout d'abord, la commune a désormais **une vision d'ensemble des vitesses de recul** de l'ensemble du littoral sujet au risque d'érosion. En effet, un des points mis en avant par ce diagnostic était que l'aléa submersion impactait bien plus d'enjeux que l'aléa érosion. Cependant, l'aléa érosion n'a pas été évalué sur l'ensemble du littoral Plouguerneen. Il est donc maintenant possible de dire que **le risque d'érosion impacte faiblement le bâti** présent sur Plouguerneau. En outre, les projections sont plus faibles que durant l'atelier du fait des méthodes utilisées. Il est donc nécessaire de rester très prudent sur l'analyse des projections et de comprendre comment elles ont été réalisées. Pour ce qui est du sentier littoral en revanche, **le recul causé par l'érosion à l'échéance 2100** s'élève à 3 à 4 km, ce qui amène à poursuivre les réflexions sur le sujet. Une attention particulière devra donc être portée sur la modification de son tracé dans les années à venir. Cette quantification des vitesses de recul, a également permis de mettre en avant d'autres sites où le trait de côte avance de manière naturelle. En effet, la plage de Saint-Cava ou l'anse de Kelerdut dans sa partie sud-est pourraient être mis en avant si une volonté de désenrochement venait à naître. De manière générale, **l'ensemble de l'Aber Wrac'h est très peu soumis au risque d'érosion** mis à part certains sites très localisés.

Pour aller plus loin dans ce travail et mieux connaître l'évolution de certaines portions du littoral, des suivis pourraient être effectués. De plus, pour mêler ces suivis à une volonté de d'impliquer la population dans le suivi et la compréhension du littoral par le principe de la science participative, un **partenariat avec l'application Coast Appli** pourrait être intéressant. Cette application est d'ailleurs favorable à une adaptation de ses protocoles et de nouveaux protocoles sur la commune.

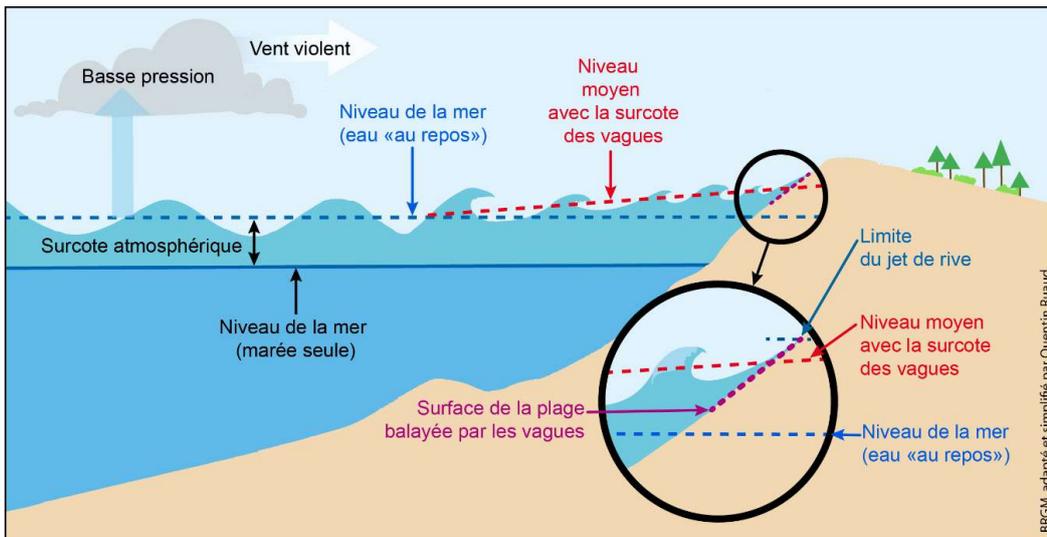
Ensuite, une réflexion sur les moyens de communication applicables sur la commune de Plouguerneau à permis de produire **une carte narrative en ligne** qui sera disponible sur le site internet de la mairie. Ce document Web vise à développer la culture du risque des habitants notamment à l'aide de **reconductions photographiques** du littoral de Plouguerneau des années 1950 à 2021. Ces images, accompagnées d'explications sur les aléas littoraux et de clés de lecture du paysage permettent de prendre conscience des évolutions et donc de mieux comprendre certaines notions essentielles à la compréhension des dynamiques littorales.

Enfin, le travail effectué sur la carte narrative et les reconductions photographiques pourra être poursuivi à l'avenir. En effet, des expositions photos redirigeant vers la carte narrative pourraient permettre de valoriser encore plus longtemps ce travail. En termes de communication, la réserve communale citoyenne pourrait également servir de personnes relais au sein de la population pour améliorer la gestion de crise mais également permettre de mieux comprendre les problématiques littorales.

VI. Bibliographie

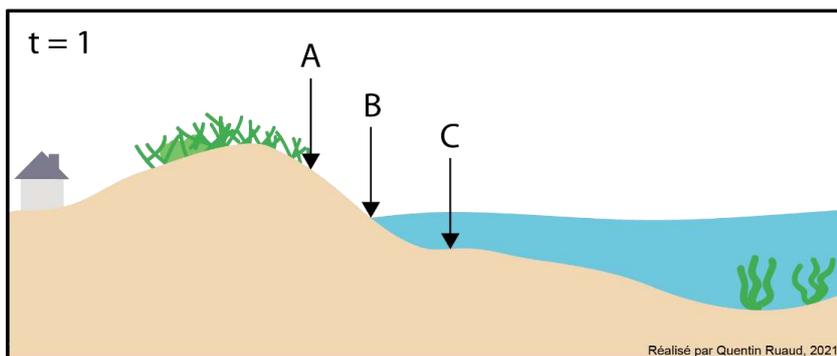
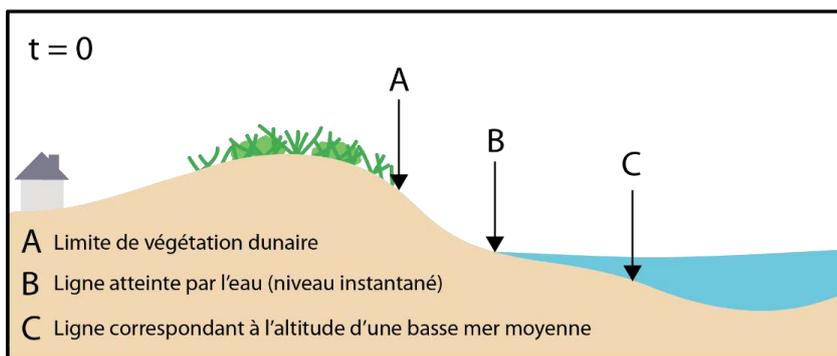
- Basara N.** (2019) – L'érosion des littoraux à falaises meubles en Bretagne : aléa, enjeux et gestion du risque, Thèse, 415 p., Brest, NNT : 2019BRES0066.
- Boak E.H and Turner I.L.** (2005) - Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, 21(4), 688-703. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.
- Calonnec B.** (2020) - Fiches action de communication / sensibilisation, Stage M1 EGEL, UBO/IUEM, 32p.
- Carter R.W.G., Woodroffe C.D.** (ED.) (1994) - Coastal Evolution, Late Quaternary shoreline morphodynamics, Cambridge University Press, 85p.
- Caquart S.** (2017) - Story Maps & Co. Un état de l'art de la cartographie des récits sur Internet, *Revue M@ppemonde*, n° 121.
- CEPRI** (Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation). (2013) - Sensibiliser les populations exposées au risque d'inondation, Comprendre les mécanismes du changement de perception et du comportement, 60 p., 2 Ann.
- Corbin A.** (1990) – Le territoire du vide, l'Occident et le désir de rivage, 1740-1840, Paris, Flammarion (coll. Champs, n°218), 407 p.
- Direction Générale de la Prévention des Risques.** (2014) – Services des Risques Naturels et Hydrauliques, Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux, Ministère de l'Écologie, du Développement durable, et de l'Énergie, 196 p.
- Hénaff A.** (ED.) , **Philippe M.** (2014) – Gestion des risques d'érosion et de submersion marines, guide méthodologique, Projet Cocorisco, 156p.
- Letortu P.** (2013) - Le recul des falaises crayeuses haut-normandes et les inondations par la mer en Manche centrale et orientale : de la quantification de l'aléa à la caractérisation des risques induits, Thèse, 408 p., Caen.
- Litto'Risques : Adam M, Coneau C., Dupuich A., Huchet T., Masquelier A., Ruaud Q., Sahuquet M., Stephan G.,** encadré par **Le Berre I et Hénaff A.,** maîtres de conférences en géographie à l'Université de Bretagne Occidentale, (2021) - Diagnostic du littoral de Plouguerneau, Rapport d'atelier, 154 p., 93 fig., 5 Ann.
- Mallet C., Michot A.** avec la collaboration de **De La Torre., Lafon V., Robin M. et B. Prevoteaux.** (2012) - Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte, Rapport BRGM/RP-60616-FR, 162 p., 100 fig., 7 Ann.
- Meur-Ferec C.** (2006) - De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral : un itinéraire de géographe, thèse, Université de Nantes.
- Roy A.** (2008) - Le 4 pages Ifen, Les Français clairvoyants sur leur exposition au risque d'inondation, Institut français de l'environnement, n° 123.

VII. Annexes

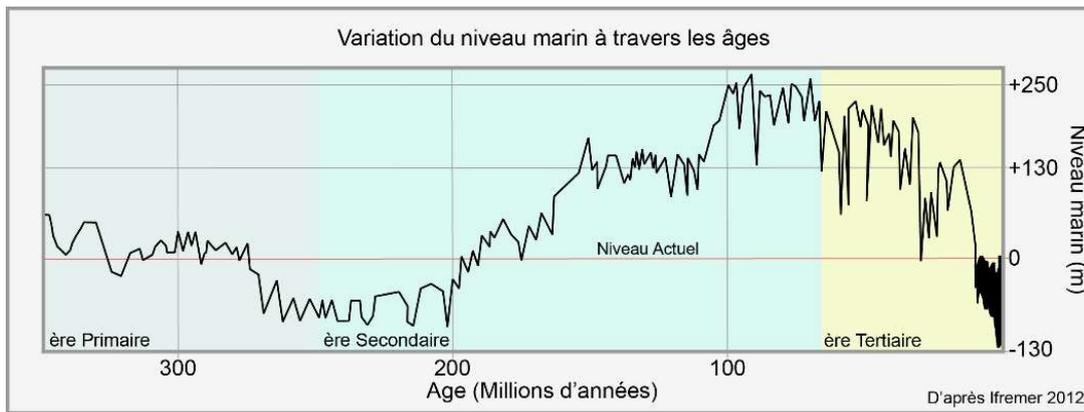


Annexe 1 : Schéma des facteurs à l'origine d'une submersion marine, BRGM : adapté et simplifié.

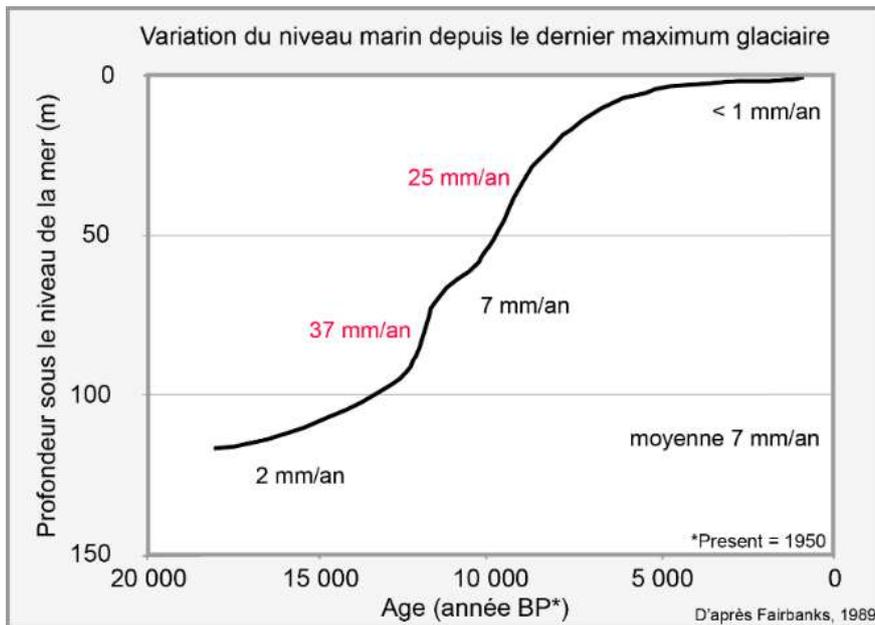
Exemples de marqueurs du trait de côte



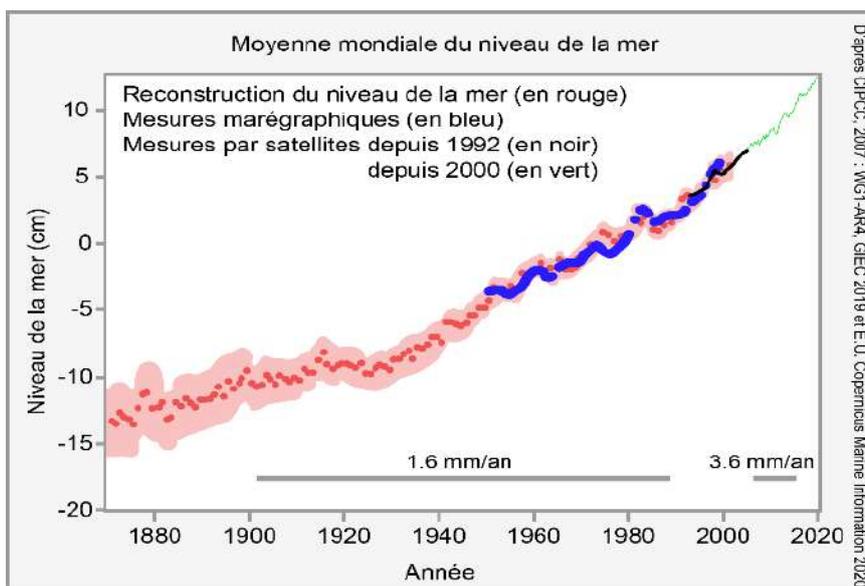
Annexe 2 : Exemples de marqueurs du trait de côte.



Annexe 3 : Variation du niveau marin depuis 350 millions d'années, d'après Ifremer 2012, adapté et simplifié par Quentin Ruaud.



Annexe 4 : Variation du niveau marin depuis le dernier maximum glaciaire, d'après Fairbanks 1989, adapté et simplifié par Quentin Ruaud.



Annexe 5 : Variation du niveau marin depuis la période préindustrielle, d'après CIPCC 2017, GIEC 2019, E.U. Copernicus Marine Information 2020, adapté et simplifié par Quentin Ruaud.

6 | Le Télégramme

EMEZVOIS

PLOUGUERNEAU

Des photos pour suivre l'évolution du littoral

C'est à partir d'anciennes photos et cartes postales que Quentin Ruaud analyse l'évolution de la bande côtière, à Plouguerneau, sur la période 1950-2017.



Quentin Ruaud, étudiant en master Sciences de la Mer et du Littoral (SMML), en stage à la mairie de Plouguerneau, lance un appel aux habitants possédant des photos ou cartes postales anciennes du littoral.

Consignes
à des dates différentes. Ces précieuses sources d'information permettent notamment de réaliser des reconductions photographiques, c'est-à-dire « des comparaisons de photographies prises à des dates différentes, mais partageant le même angle de vue ». Ce travail alimentera par la suite une carte narrative en ligne, qui sera à disposition de la population sur le site de la mairie.

Partagez
chaque document par mail : quentin@ploeguerneau.bzh ou en déposant les documents à la mairie.

Annexe 7 : Article du Télégramme 22/04/2021.

À la recherche de photos anciennes du littoral

Plouguerneau — Le projet de Quentin Ruaud est d'étudier l'évolution paysagère du littoral de la commune, en s'appuyant sur des photos et cartes postales anciennes. Appel est lancé aux Plouguerneais.

L'initiative
Le littoral est avant tout un milieu sans cesse en mouvement dont les limites ne sont pas figées. Pour illustrer ces dynamiques, Quentin Ruaud, étudiant en master Sciences de la mer et du littoral (SMML), en stage à la mairie, lance un appel aux habitants possédant des images d'archives ou de cartes postales anciennes du littoral plouguerneais.

Amorcé par l'atelier Littor'risques — dont la restitution du 12 février dernier est disponible sur la chaîne YouTube de la mairie — le diagnostic du littoral plouguerneais se poursuit aujourd'hui avec Quentin Ruaud.

Pour étudier l'évolution paysagère, Quentin Ruaud organise une collecte de photographies et de cartes postales anciennes auprès des habitants : « Je recherche des images d'archives ou d'anciennes cartes postales du littoral de Plouguerneau, datant des années 1950 si possible, j'appelle donc les habitants à fouiller dans leurs tiroirs et à fournir leurs albums photos à la recherche de la perle rare ! »

Ces images permettront de témoigner de « l'évolution des constructions sur le littoral, l'évolution des aménagements littoraux comme les ports ou les enrochements, l'avisé ou le recul du rivage, les dégâts causés par les tempêtes de ces dernières années », détaille-t-il.

Mise en ligne d'un récit géographique
Ces précieuses sources d'information permettront également de réaliser des reconductions photographiques, c'est-à-dire « des comparaisons de photographies prises à des dates différentes, mais partageant le même angle de vue », précise-t-il. Ce travail alimentera par la suite une carte narrative en ligne (storymap) qui sera à la disposition de la population sur le site de la mairie. « Un formidable outil, assure l'étudiant, pour expliquer ce qu'est un trait de côte et pour voir concrètement son évolution dans le temps. »

Les images peuvent être envoyées par courriel, directement à Quentin Ruaud, stagiairelittoral@ploeguerneau.bzh. Elles peuvent également être déposées à la mairie afin qu'un agent les scanne avant de restituer l'original.

Quentin Ruaud, en stage à la mairie de Plouguerneau, lance un appel aux habitants. (Photo: Ouest-France)

Annexe 6 : Article du Ouest-France, 28/04/2021.

PLOUGUERNEAU · DES PHOTOS POUR COMPRENDRE L'ÉVOLUTION DU LITTORAL.

Des photos pour comprendre l'évolution du littoral

Comment faire prendre conscience de l'évolution du littoral Plouguerneais ? Quentin Ruaud en stage à la mairie de Plouguerneau à la solution : passer par l'image ! Pour y arriver, il recherche des photos et cartes postales anciennes.



Quentin Ruaud en stage à la mairie de Plouguerneau lance un appel auprès des habitants pour collecter des images anciennes du littoral.

Origine du projet
Initié par l'atelier Littor'risques avec un diagnostic du littoral, ce travail se poursuit avec Quentin Ruaud, étudiant en master 2 Sciences de la Mer et du Littoral (SMML), en stage à la mairie de Plouguerneau. Il a pour mission d'analyser la bande côtière et de réfléchir à des moyens de sensibilisation à destination des habitants. Ainsi, il organise une collecte de photographies et cartes postales anciennes auprès du public.

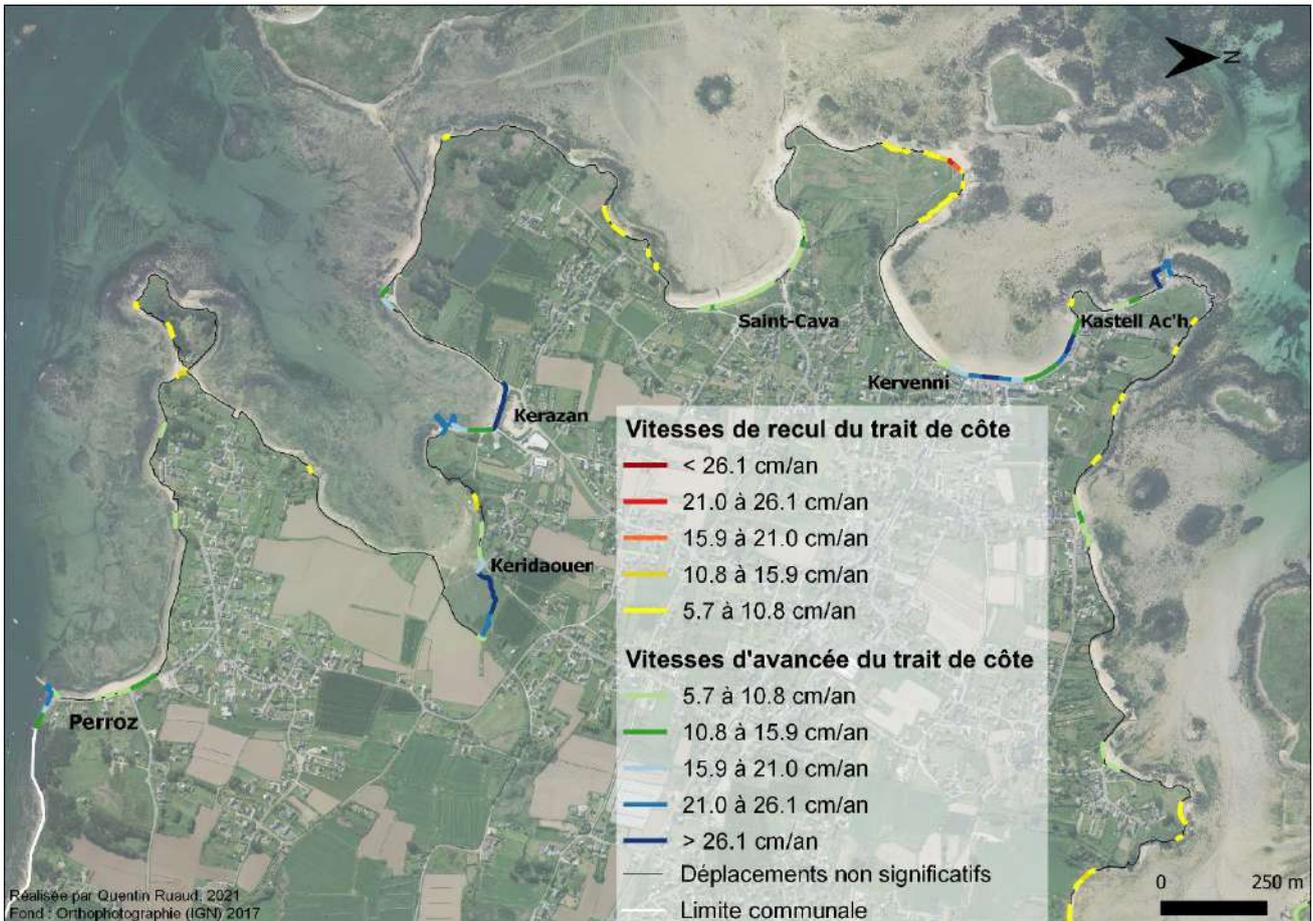
"Témoigner de l'évolution"
Ces images permettront de réaliser des reconductions photographiques, c'est-à-dire des comparaisons entre deux photographies prises dans les mêmes conditions, mais à des dates différentes.

L'intérêt est de pouvoir témoigner de l'évolution des constructions, des aménagements, de la position du rivage ou des dégâts des tempêtes sur le littoral. Ce travail alimentera par la suite une carte narrative en ligne qui sera disponible sur le site internet de la mairie.

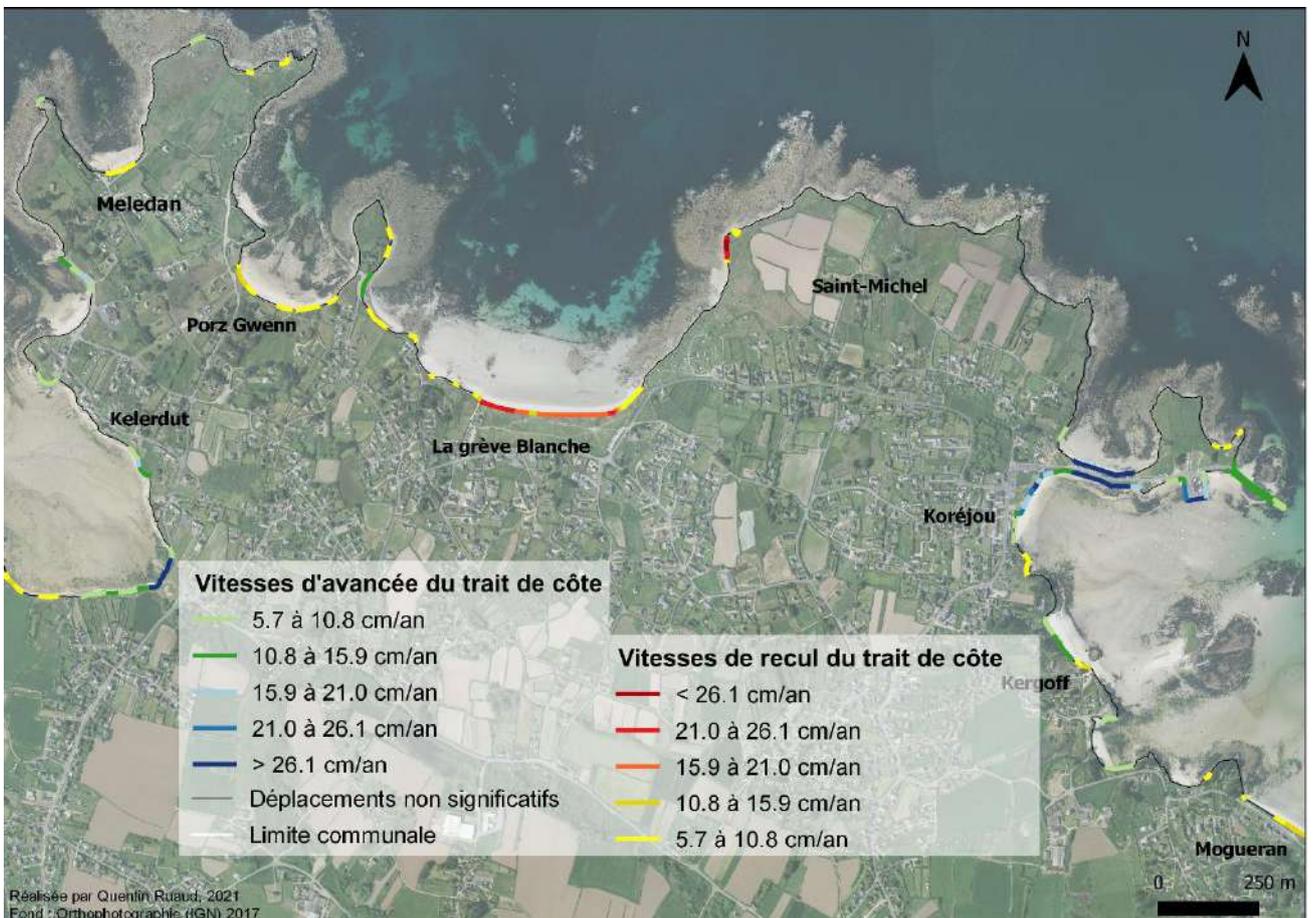
Partagez vos photos !
Les personnes souhaitant participer à cette collecte peuvent adresser leurs images par mail à quentin@ploeguerneau.bzh. Il est également possible de les déposer directement en mairie afin de les faire scanner par un agent.

Toutes les informations sur [ploeguerneau.bzh/photos-cartes-postales-du-littoral/](mailto:quentin@ploeguerneau.bzh)

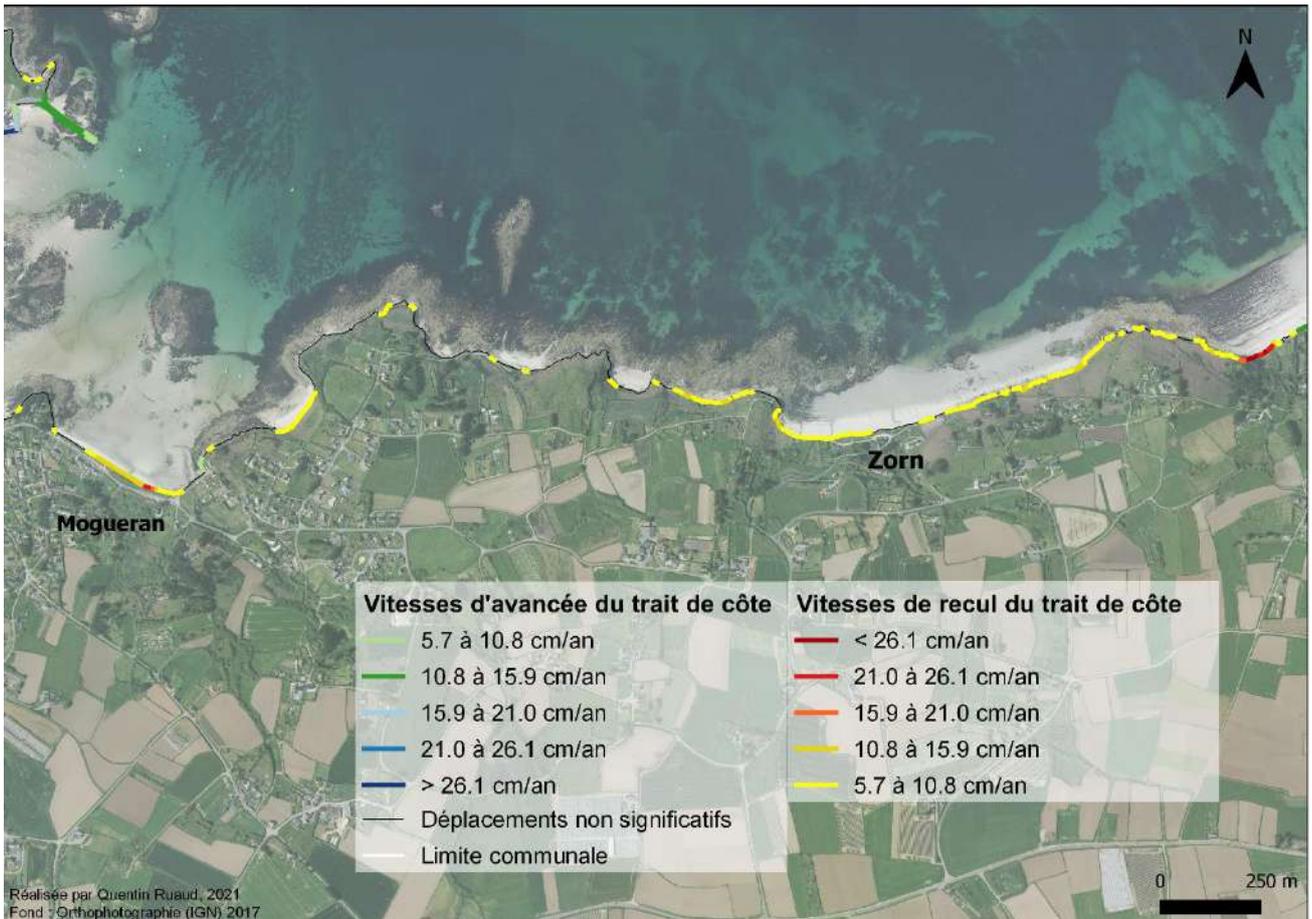
Annexe 8 : Article d'Abers Info, 06/2021



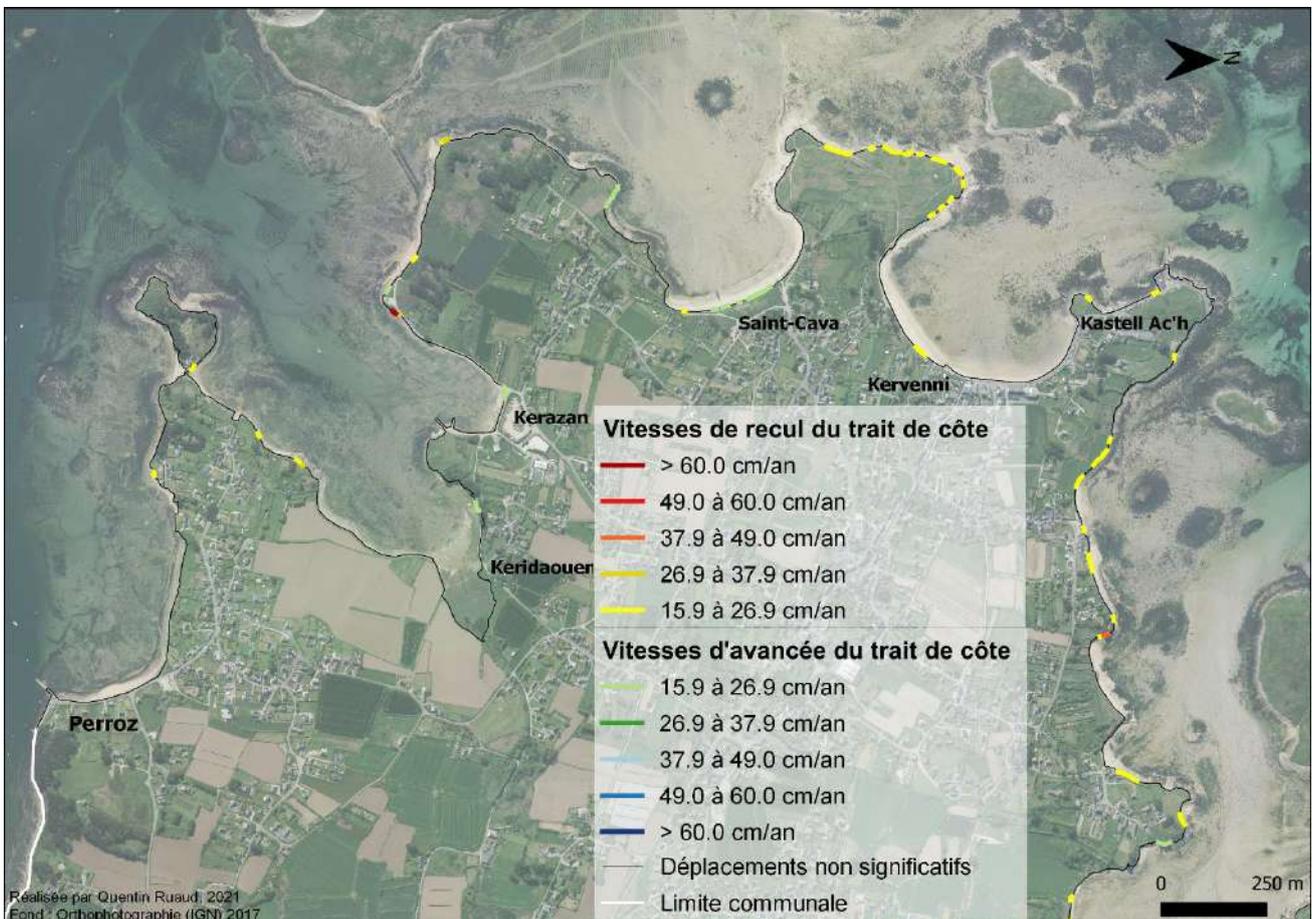
Annexe 10 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 1952 et 2017 - zoom 1



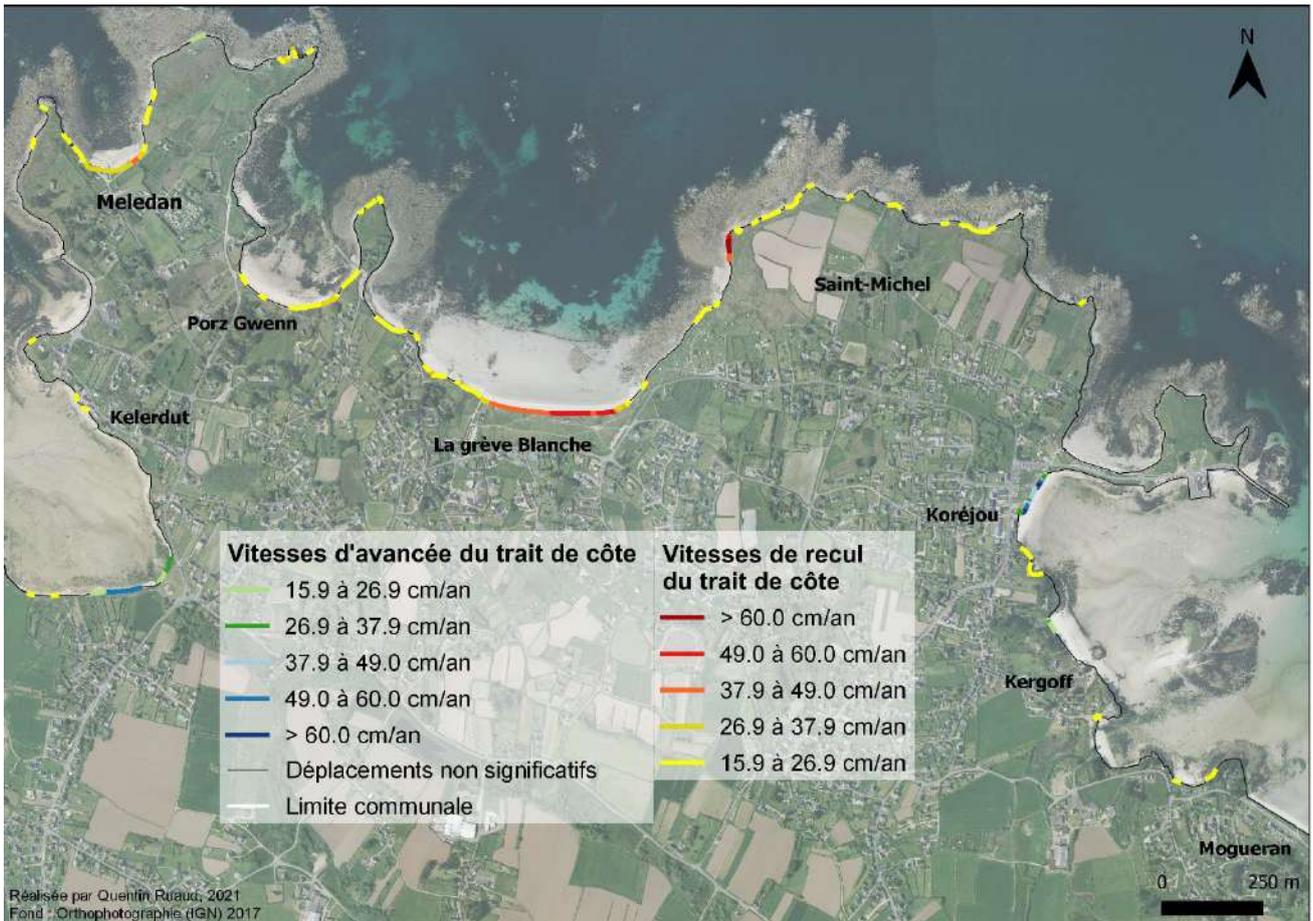
Annexe 9 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 1952 et 2017 - zoom 2



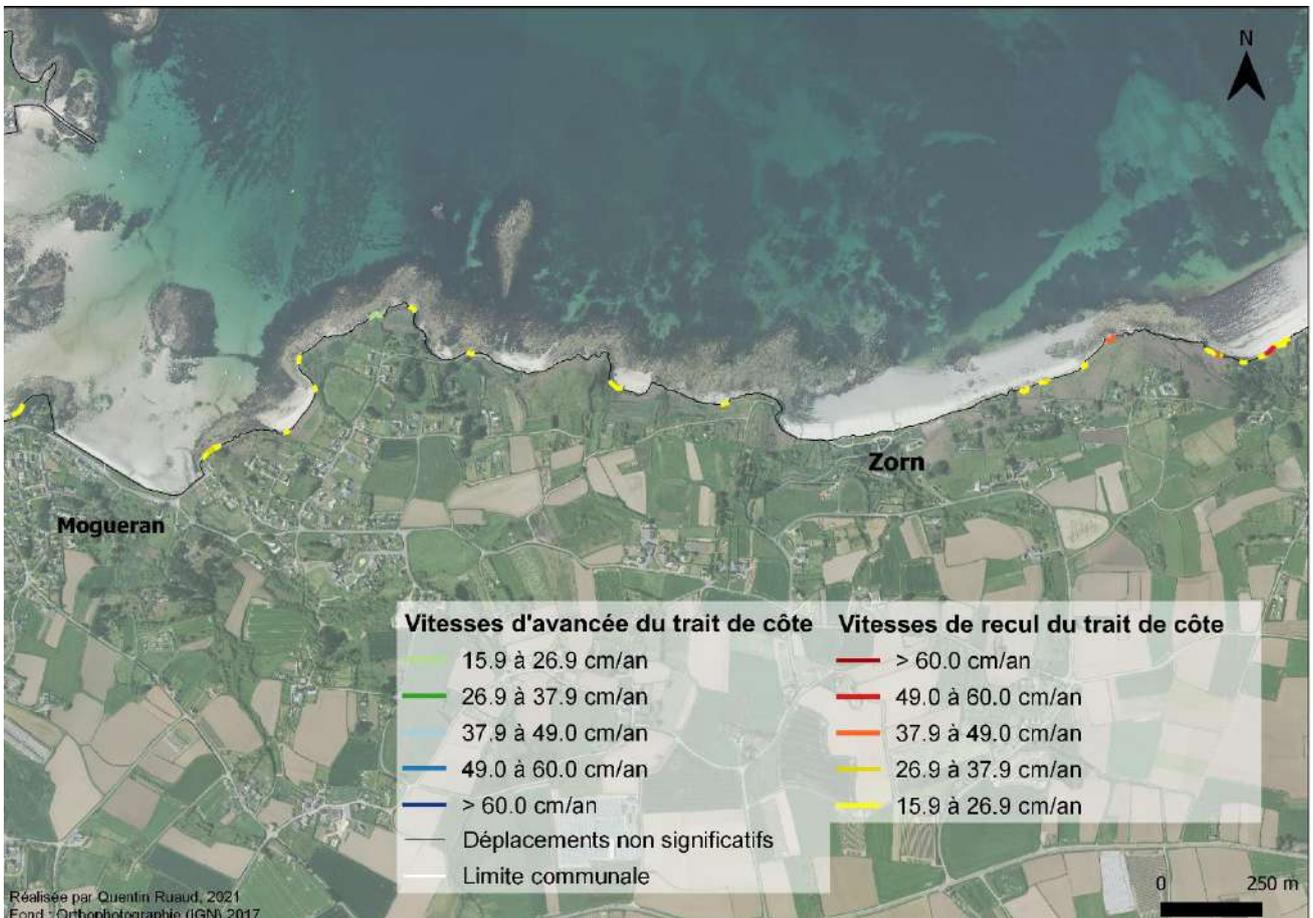
Annexe 12 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 1952 et 2017 - zoom 3



Annexe 11 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 2000 et 2017 - zoom 1



Annexe 14 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 2000 et 2017 - zoom 2



Annexe 13 : Quantification de l'aléa érosion sur la commune de Plouguerneau entre 2000 et 2017 - zoom 3



Annexe 15 : Enjeux bâtis et sentier impactés par l'aléa érosion.



Diplôme : Master de Sciences de la Mer et du Littoral

Mention : Expertise et gestion de l'environnement littoral

Année : M1 M2

Enseignant référent : **Iwan Le Berre**

Auteur(s) : **Quentin Ruaud**

Date de naissance : **30 / 08 / 1998**

Nb pages : 47 Annexe(s) : 15

Année de soutenance : 2021

Organisme d'accueil : **Mairie de Plouguerneau**

Adresse : 12 Rue du Verger, 29880 Plouguerneau

Maître de stage : **François Goarin (Directeur général des services)**

Titre : Étude du trait de côte et communication sur la commune de Plouguerneau.

Title : Study of the coastline and communication in the commune of Plouguerneau.

Résumé (1600 caractères maximum) :

La prise en compte et la compréhension des risques littoraux est une thématique ayant toute son importance à une époque où les enjeux sont toujours plus présents et où les aléas s'amplifient sur le littoral. C'est dans ce contexte que la mairie de Plouguerneau a souhaité participer à un partenariat nommé Litto'Risques afin de réaliser un diagnostic de son littoral. Cette étude fait donc suite à ce diagnostic.

Ce stage a notamment permis la poursuite du travail effectué sur la quantification de l'aléa érosion sur l'ensemble de la commune. Grâce à ce travail, une méthode plus adaptée au littoral plouguernéen a été développée. En parallèle, une carte narrative en ligne à destination des habitants a été élaborée afin d'informer et d'expliquer le fonctionnement des aléas littoraux et du risque à Plouguerneau selon trois échelles temporelles. Pour cela, une série de reconductions photographiques a été réalisée sur l'ensemble de la commune de Plouguerneau.

Les résultats de cette étude montrent que l'aléa érosion à l'échéance 2100 n'aura qu'un faible impact sur les enjeux bâtis de la commune, mais que la préservation du sentier côtier sur certaines portions du littoral, pourrait être un défi à l'avenir. Le retour important des habitants concernant la collecte d'images anciennes est un élément positif qui a permis de mettre en place une carte narrative et qui pourra intéresser les habitants et les aider à développer une culture du risque.

La carte générale des dynamiques du trait de côte sur l'ensemble de la commune pourra maintenant permettre de cibler les zones plus ou moins importantes et de mettre en place des suivis si nécessaires. Pour cela et afin de faire participer la population, des outils comme Coast Appli pourraient être utilisés sur la commune et la réserve communale de sauvegarde pourrait également avoir son rôle à jouer en tant que personne relais.

Abstract (maximum 1600 characters) :

Taking into account and understanding coastal risks is a theme of great importance at a time when the stakes are ever more present and when hazards are increasing on the coast. It is in this context that the town hall of Plouguerneau wished to participate in a partnership called Litto'Risques in order to carry out a diagnosis of its coastline. This study therefore follows on from this diagnosis.

This internship enabled the continuation of the work carried out on the quantification of the erosion hazard on the whole of the municipality. In particular, it made it possible to develop a method more suited to the Plouguernean coast. At the same time, an online narrative map for residents was developed to inform and explain the functioning of coastal hazards and risk in Plouguerneau according to three time scales. To do this, a series of photographic renewals was carried out throughout the municipality of Plouguerneau.

The results of this study show that the erosion hazard at the 2100 deadline will have only a weak impact on the built issues of the municipality, but that the preservation of the coastal path on certain portions of the coast, could be a challenge to the future. The significant feedback from the inhabitants concerning the collection of old images is a positive element which made it possible to set up a narrative map and which could interest the inhabitants and help them develop a culture of risk.

The general map of the dynamics of the coastline over the entire municipality will now be able to target more or less important areas and to set up monitoring if necessary. For this and in order to involve the population, tools such as Coast Appli could be used in the municipality and the municipal safeguard reserve could also have its role to play as a relay person.

Mots-clés : trait de côte, littoral, risques côtiers, érosion côtière, submersion marine, sensibilisation, communication, carte narrative, Litto'Risques.

Keywords : coastline, littoral, coastal region, coastal risks, coastal erosion, marine submersion, awareness, communication, story map, Litto'Risques.



Phare de l'île vierge, Quentin Ruaud 2021