



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES

Liberté
Égalité
Fraternité

Journées scientifiques du trait de côte

Quimper - Finistère 25 et 26 juin 2024



Sommaire

Propos introductifs.....	5
L'observation collaborative du trait de côte, des risques côtiers et de la vulnérabilité globale aux aléas d'érosion et de submersion marines : OSIRISC et OSIRISC-Litto'Risques en Finistère	5
Le contexte régional et les risques côtiers en Bretagne (OSIRISC)	11
1. Géomorphologie littorale de la Région Bretagne	11
2. Etat des connaissances des évolutions du trait de côte en Bretagne	11
3. Connaissance de l'aléa submersion à l'échelle de la région	13
Les risques côtiers en Finistère (OSIRISC - Litto'Risques)	15
1. Géomorphologie et nature du trait de côte	15
2. Connaissances des aléas érosion et submersion à l'échelle départementale	16
a. Aléa érosion.....	16
b. Aléa submersion.....	17
c. Exemples d'enjeux exposés.....	17
d. Impacts des aléas côtiers sur les territoires côtiers du Finistère	18
Visites de terrain.....	20
Contextes topographique et géologique du sud-ouest du Finistère	20
a. Typologie des côtes	21
b. Conditions marégraphiques	21
c. Exposition.....	21
d. Cellules hydrosédimentaires	22
Visite n°1 : Cleut-Rouz - Fouesnant.....	23
1. Trait de côte communal et caractéristiques du littoral d'accumulation de Mousterlin	23
2. Evolutions historiques et récentes des cordons sableux dunifiés de Mousterlin	24
a. Evolutions historiques du cordon oriental de Mousterlin	25
b. Evolutions récentes du trait de côte de la commune de Fouesnant : 1952-2011	25
3. Dynamique hydro-sédimentaires littorales	26
4. Perturbation des dynamiques et des transits sédimentaires par les ouvrages sur le trait de côte.....	26
a. Impacts des enrochements	27
b. Evolutions du trait de côte après la pose de l'enrochement de Cleut-Rouz	27
5. Bilan sédimentaires (Casagec - ISL)	32
6. Les risques côtiers à Fouesnant	33
Visites n°2 et n°3 en baie d'Audierne	34
1. Types de côte et côtes d'accumulations méridionales de la baie d'Audierne	34
2. Histoire du littoral d'accumulation du sud de la baie d'Audierne	35

3. Bilan sédimentaire d'avant-côte en baie d'Audierne - 1959-2012.....	35
4. Evolutions historiques et récentes du trait de côte	36
Visite n°2 : Site de la Torche/Prad-an-Dorchenn - Plomeur	37
Evolution du paysage littoral entre 1952 et 2018	37
a. Impacts du ruisseau de Prat-an-Dorchen sur le littoral au droit de l'exutoire	37
b. Risques côtiers à Plomeur : recul du trait de côte et conséquences multiples.....	39
c. Travaux de résorption de la décharge de la Torche.....	40
Visite n°3 : Site de Poultréhen - Plozévet	42
1. Falaises meubles en Bretagne.....	42
2. Poultréhen.....	43
a. Exposition.....	43
b. Contexte géomorphologique.....	44
c. Proximité des enjeux en sommet de la falaise : habitations et sentier côtier.....	44
d. Quantification de l'aléa érosion	45
Les observatoires OSIRISC et OSIRISC-Litto'Risques	50
1. Les objectifs d'OSIRISC et OSIRISC-Litto'Risques	50
2. Des observatoires collaboratifs.....	51
OSIRISC : co-design of an integrated observatory to monitor vulnerability to coastal risks of erosion and marine flooding in Brittany	53
1. Introduction	53
2. Site description	58
3. Objectives of OSIRISC pilot.....	61
4. Data handled by the pilot	63
4.1. Combining multi-source data.....	63
4.2. Creating indicators and indices.....	64
5. Citizens' involvement and platforms	65
5.1. AGEO app.....	65
5.2. CoastAppli app	66
5.3. Deployment of Centipède geolocation system	68
5.4. Data cataloguing and diffusion : MADDOG and OSI platforms.....	69
6. Interaction with stakeholders and risk management.....	71
7. Conclusion and recommendations	73
Acknowledgements.....	74
References	74
Guide méthodologique de gestion du trait de côte.....	76



Journées scientifiques du trait de côte

Finistère - 25-26 juin 2024

Propos introductifs

L'observation collaborative du trait de côte, des risques côtiers et de la vulnérabilité globale aux aléas d'érosion et de submersion marines : OSIRISC et OSIRISC-Litto'Risques en Finistère

Les Journées scientifiques du trait de côte (JSTC) 2024 ont pour thème « l'**observation collaborative** » menée par les membres du Réseau national des observatoires du trait de côte (RNOTC). Cette démarche est intégrée dans le fonctionnement des observatoires des risques côtiers **OSIRISC** en Bretagne et **OSIRISC-Litto'Risques en Finistère**. Ces deux observatoires montrent tout l'intérêt de renforcer progressivement ce mode d'observation, notamment dans le cadre de la gestion des risques côtiers, des diagnostics de vulnérabilité et de suivis de trajectoires de vulnérabilité globale des territoires littoraux. Les diverses actions conduites en partenariat avec les EPCI bretons et en particulier finistériens par ces observatoires, sont présentées les 25 et 26 juin 2024, à la fois lors de la journée de communications et lors des ateliers de terrain.

Au-delà des actions propres à OSIRISC et OSIRISC-Litto'Risques, les Journées s'attachent à mettre en valeur des démarches similaires engagées sur d'autres territoires littoraux suivis par des observatoires membres du RNOTC. Le but est de partager les pratiques, les expériences acquises dans leur mise en œuvre, l'organisation qui en découle et les résultats obtenus. Ces Journées tentent

de montrer ainsi la pertinence de développer ce type d'observation, afin de nourrir des processus de collaboration, de médiation, de partage de connaissances, voire idéalement de co-construction de connaissances sur le littoral, l'érosion et les risques côtiers.

A l'image de la recherche collaborative (Lieberman, 1986), l'**observation collaborative** peut être définie comme une observation menée par les chercheurs et les professionnels des risques littoraux et des territoires côtiers, en l'occurrence ici les professionnels de la gestion du trait de côte, avec l'objectif de définir des manières de **pratiquer une observation qui leur seraient aussi utile**.

Conjointement faire de l'observation collaborative, c'est aussi pouvoir **connecter la recherche à des questions pratiques** (Artois et al., 2022) qui participent alors à l'élaboration de questions de recherche.

Pour des raisons de moyens humains et de coûts, les observatoires académiques et scientifiques du trait de côte focalisent généralement leurs observations sur un nombre de situations délimité intentionnellement. Considérées comme représentatives de contextes spécifiques et aux marges d'incertitudes contraintes dans la mesure du

possible, ces situations observées produisent des résultats a priori transposables à des contextes comparables et sont considérées comme généralisables dans des modèles. Dans des objectifs d'aménagement, de gestion du littoral et de gestion des risques côtiers, les collectivités territoriales, notamment les EPCI et les communes, sollicitent, lorsqu'elles en ont connaissance, les données produites par la science au sein des observatoires du trait de côte. Ce mode de fonctionnement entre une production de données dissociée de l'utilisation à des fins pratiques n'apparaît cependant satisfaisante qu'en de rares cas. Lorsque les contextes géomorphologique, hydrodynamique et sociétal sont trop diversifiés au sein d'un territoire couvert par un observatoire, la représentativité des situations observées est alors incomplète. C'est ce qui se produit pour les territoires littoraux bretons et finistériens.

Pour plusieurs raisons, la collaboration sur les tâches d'acquisition récurrente de données thématiques entre ces deux utilisateurs finaux constitue une alternative intéressante à l'organisation plus classique qui attribue à l'un les mesures et permet l'utilisation de celles-ci par l'un et l'autre, avec généralement, dans le cadre des observatoires du trait de côte, certaines finalités communes. Elle permet ainsi d'accroître substantiellement l'effort d'observation en augmentant l'échantillon de sites suivis et la diversité des situations analysées. Elle conduit aussi à une connaissance partagée de ce qu'est la donnée, son incertitude, son acquisition, sa validation, sa bancarisation, son

traitement, son interprétation et ses multiples utilisations possibles dont les retombées sont profitables aux deux parties.

Sa mise en œuvre doit néanmoins interroger professionnels et chercheurs sur la pertinence de la démarche, sur sa faisabilité et la fiabilité des acquisitions menées conjointement et en parallèle pour des objectifs souvent similaires mais parfois divergents et sur des temporalités qui peuvent ne pas toujours être communes. Elle suppose une transmission réciproque de savoirs et de pratiques et nécessite des adaptations des méthodes et des outils de la science pour les professionnels. Elle questionne également l'engagement sur le long terme et la pérennisation des séries d'observation. Si celles-ci s'inscrivent naturellement dans les intentions des observatoires scientifiques, elles ne sont pas nécessairement pensées, au préalable, comme des actions essentielles par les gestionnaires élus et praticiens.

Pourtant, de telles démarches s'avèrent désormais indispensables. Elles seront d'ailleurs probablement renforcées au regard des perspectives d'évolution du trait de côte et des territoires côtiers dans un contexte où, d'une part, la prise en compte des changements globaux et climatiques et de l'élévation corrélative du niveau de la mer dans les prospectives d'occupation des territoires côtiers est devenue nécessaire et, d'autre part, les EPCI se voient confier de plus en plus de responsabilités en matière de gestion intégrée de la bande côtière et de prévention des risques naturels.



Mardi 25 juin : Journée de communications

Maison du département, 32 boulevard Dupleix, Quimper

8h30 - 9h : Accueil des participants

9h - 9h45 : Ouverture des Journées scientifiques

9h - 9h30 : Propos introductifs

- Le Conseil départemental du Finistère – CD 29
[Lenaig Saout](#), responsable de l'unité milieux aquatiques et littoral
- L'Institut universitaire européen de la mer – IUEM
[Fred Jean](#), directeur pour l'IUEM
- La Direction de l'eau et de la biodiversité – MTECT
[Simon Vidal](#), chef du bureau de la gestion des espaces maritimes et littoraux

9h30 - 9h45 : Actualités du Réseau national des observatoires du trait de côte – RNOTC

[Marc Robin](#), co-président du RNOTC, responsable scientifique de l'Observatoire des risques côtiers (OR2C), Nantes Université
[Ella Cazaux-Debat](#), chargée de mission connaissance du trait de côte, MTECT

9h45 - 12h30 : Les dispositifs d'observation collaboratifs : objectifs, mise en œuvre et résultats (1^{ère} partie)

- **Les observatoires Osirisc et Litto'Risques**
[Nicolas Le Dantec](#), ingénieur de recherche, UBO - Osirisc
[Vincent Ducros](#), chargé de mission risques fluviaux et littoraux, CD 29 - Litto'Risques

10h30 - 11h : Pause-café

- **Les outils de collecte et d'analyse des données sur la vulnérabilité des territoires côtiers aux risques d'érosion et de submersion**
[Matthias Rouan](#), Ingénieur géomatique, CNRS - Osirisc
[Quentin Ruaud](#), Ingénieur d'études, UBO
- **Les apports de l'observation collaborative sur l'engagement des démarches de cartes locales : exemple de Morlaix Communauté**
[Lucille Bozec](#), chargée de mission risques littoraux et fluviaux, Service public de l'eau An Dour
- **Les outils pédagogiques : guide méthodologique de la gestion des risques côtiers et série documentaire sur l'évolution du niveau marin**
[Vincent Ducros](#), chargé de mission risques fluviaux et littoraux, CD 29 - Litto'Risques

12h30 - 14h : Déjeuner-cocktail

14h - 16h30 : Les dispositifs d'observation collaboratifs : objectifs, mise en œuvre et résultats (2^e partie)

- **Les frises chrono-systémiques : utilisation dans le cadre de la sensibilisation des élus, des gestionnaires et du public aux risques côtiers**
[Iwan Le Berre](#), enseignant-chercheur, UBO - Osirisc
[Laurence David](#), ingénieure d'études, CNRS - Osirisc

14h30 – 16h15 : Les processus de collaboration au sein des autres observatoires du trait de côte

- Un nouvel observatoire pour La Réunion : présentation du partenariat Nout Bord'Mer
[Verane Vidoni](#), chargée d'opérations risques littoraux et observatoire du littoral, DEAL Réunion
- Les processus collaboratifs au sein de l'observatoire de la côte Nouvelle-Aquitaine
[Antoine Deburghgraeve](#), ingénieur risques côtiers, BRGM
- L'accompagnement des collectivités par l'observatoire régional des risques côtiers en Pays de la Loire
[Riwan Kerguillec](#), ingénieur de recherches, coordinateur de l'OR2C, Nantes Université
- Les démarches collaboratives de collecte de données en Normandie Hauts-de-France et la contribution à la mise à jour de l'indicateur national de l'érosion côtière
[Arnaud Thulie](#), géomaticien, ROLNHdF
- Le modèle participatif de l'observatoire citoyen du littoral morbihannais
[Mouncef Sedrati](#), enseignant-chercheur, UBS - OCLM

16h15 - 16h30 : Conclusion de la journée

- La Direction de l'eau et de la biodiversité – MTECT
[Simon Vidal](#), chef du bureau de la gestion des espaces maritimes et littoraux

17h - 19h30 : En option, **Jeu sérieux** en équipe "Risques côtiers à Plonevez-les-Flots"

Mercredi 26 juin : Ateliers de terrain sur la côte sud du Finistère

8h15 : Rendez-vous Place de la Résistance (arrêt de bus au sud de la place - au pied de la statue du Frugy)
8h30 : Départ de Quimper

9h - 10h15 : Cleutz-Rouz - Fouesnant

- **Cordon littoral subissant une érosion particulièrement forte.**

Projet de renaturation de la lagune arrière-littorale et problématique de protection des enjeux. Rencontre avec la Communauté de communes du Pays Fouesnantais, gestionnaire du site.

[Alain Henaff](#), enseignant-chercheur, UBO – Osirisc

[Ewen Lyvinec](#), responsable du pôle environnement, CC du Pays Fouesnantais

11h - 12h30 : Isthme de la Pointe de la Torche - Plomeur

- **Site du Conservatoire du littoral, géré par la Communauté de communes du Pays bigouden sud, soumis à l'érosion dunaire.**

Traitement d'une ancienne décharge dévoilée par l'érosion et protection de l'atterrissement de câbles sous-marins soumis à l'érosion.

[Gwenal Hervouët](#), délégué adjoint Bretagne, Conservatoire du littoral

[Benjamin Buisson](#), responsable littoral et biodiversité, CC du Pays Bigouden Sud

12h30 – 14h : Déjeuner au Restaurant-Crêperie « Le Rayon vert » - Plomeur

14h45 - 16h : Baie d'Audierne - Plozévet

- **Site de falaises meubles avec enjeux, soumis à l'érosion.**

Organisation des suivis de relevés topographiques et photogramétriques.

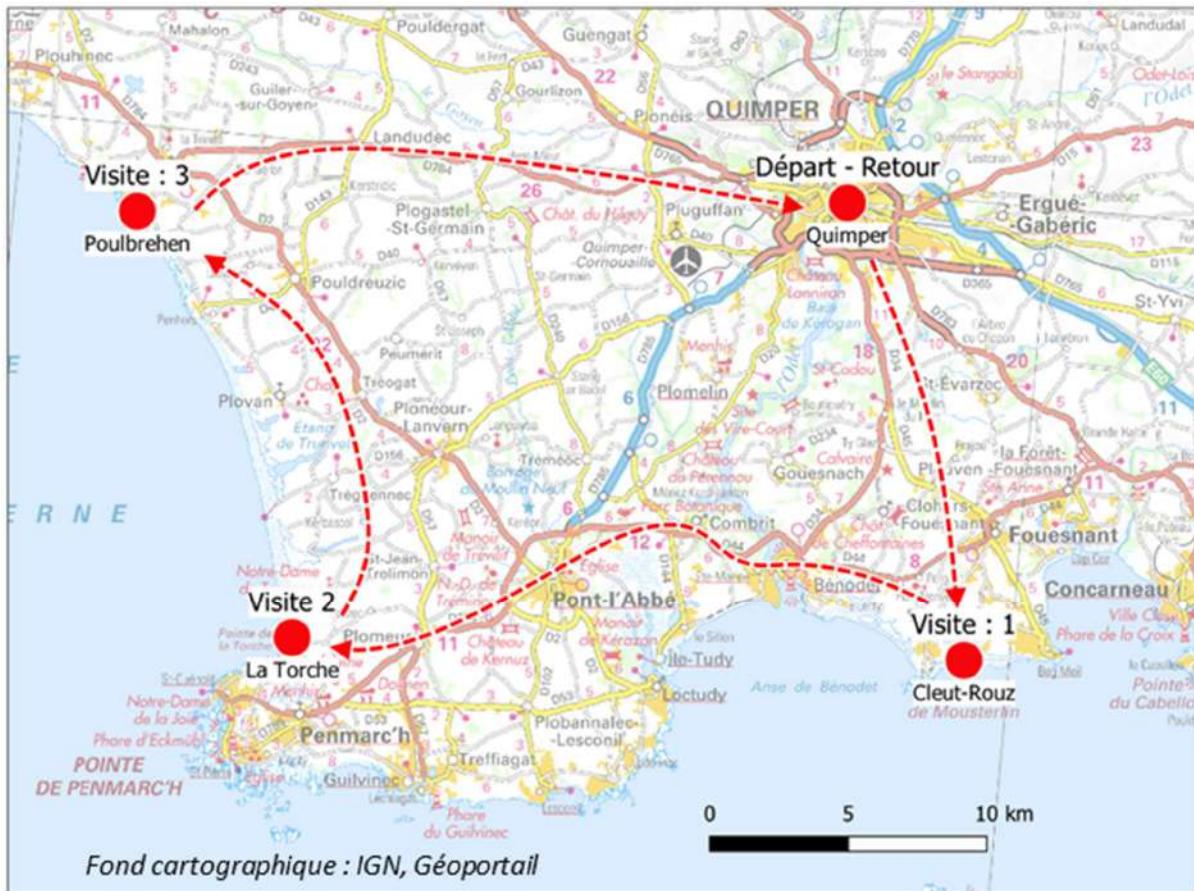
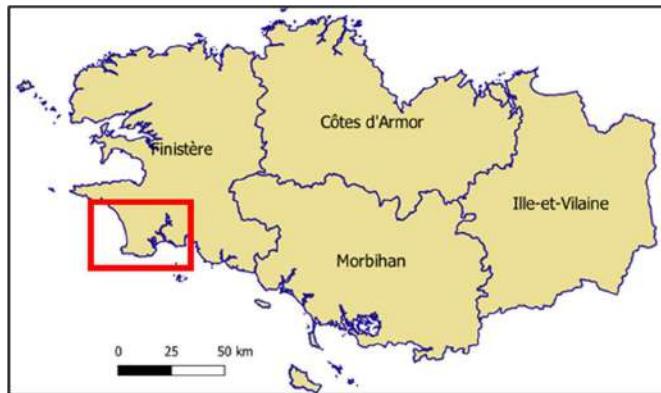
[Alain Henaff](#), enseignant-chercheur, UBO – Osirisc

[Nicolas Le Dantec](#), ingénieur de recherche, UBO – Osirisc

16h : Clôture des Journées scientifiques

16h45 : Retour sur Quimper (Place de la Résistance)

Circuit des visites

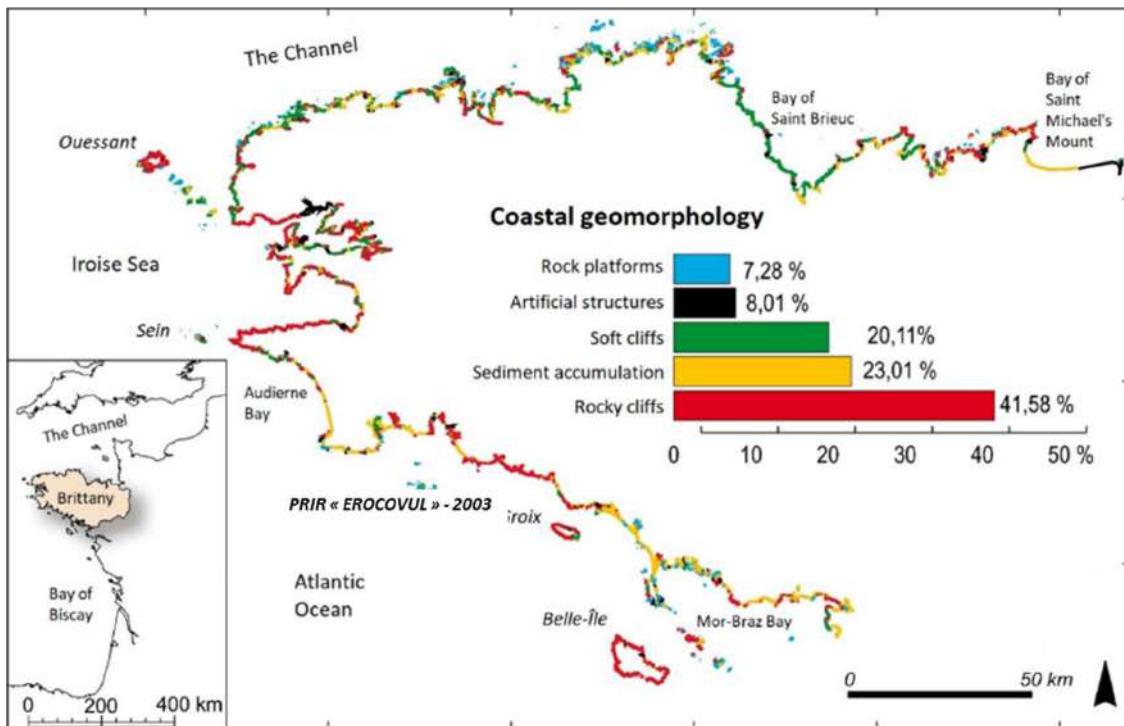


Fond cartographique : IGN, Géoportail

Le contexte régional et les risques côtiers en Bretagne (OSIRISC)

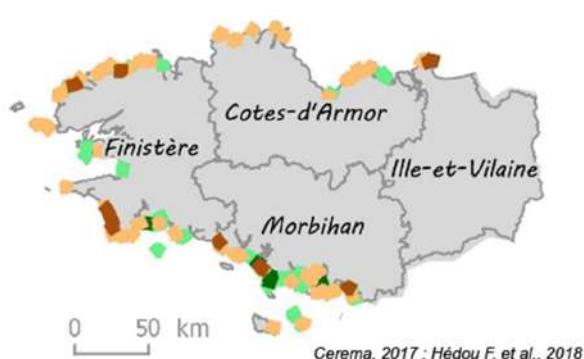
1. Géomorphologie littorale de la région Bretagne

⇒ Longueur du trait de côte régional : 4 324 km (îles, îlots et rias inclus)



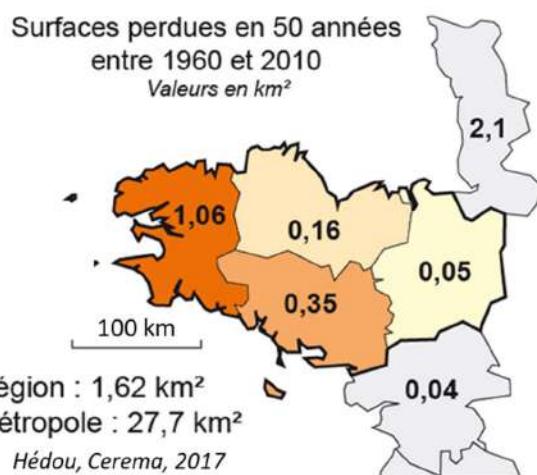
Linéaire côtier très étendu et très segmenté, grande diversité des types de côtes et évolutions contrastées du trait de côte.

2. Etat des connaissances des évolutions du trait de côte en Bretagne

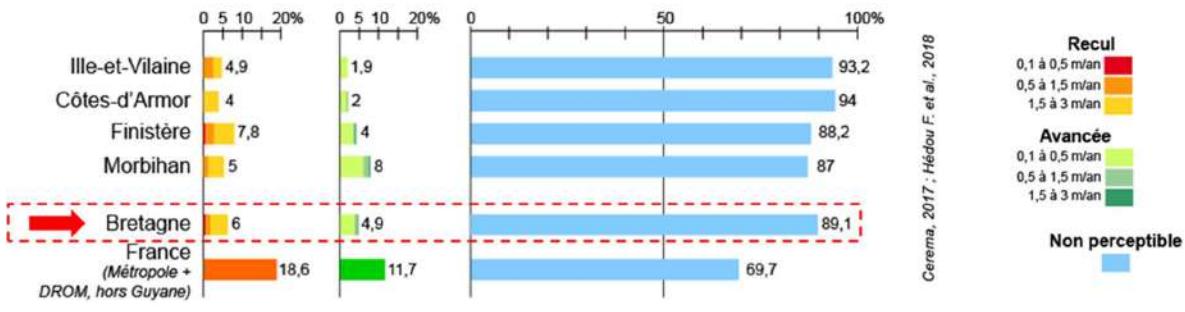


Secteurs en évolution remarquable

- Avancée supérieure à 0,5 m/an
- Avancée inférieure à 0,5 m/an
- Recul inférieur à 0,5 m/an
- Recul supérieur à 0,5 m/an

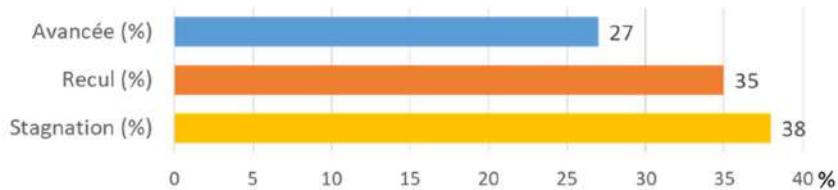


Aléa érosion selon INEC : l'érosion concerne de l'ordre de 6% du trait de côte de manière perceptible 1950 -2011



Aléa érosion selon les données régionales de l'INEC entre 1950 et 2011 (INEC, Cerema)

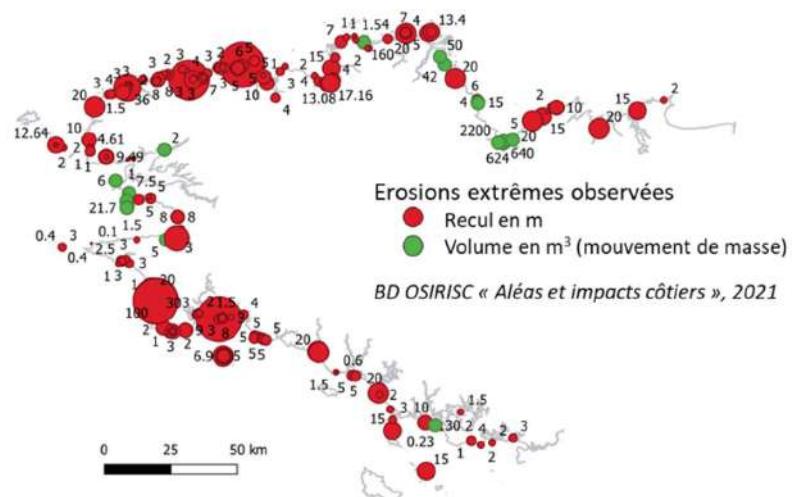
Bilan régional : plages de sables et de galets non artificialisées de 1950 à 2010
 (Stéphan et al., 2019)



	Longueur (km)	Proportion (%)
Avancée	90,45	27
Recul	117,25	35
Stagnation	127,3	38

Stéphan et al., 2019

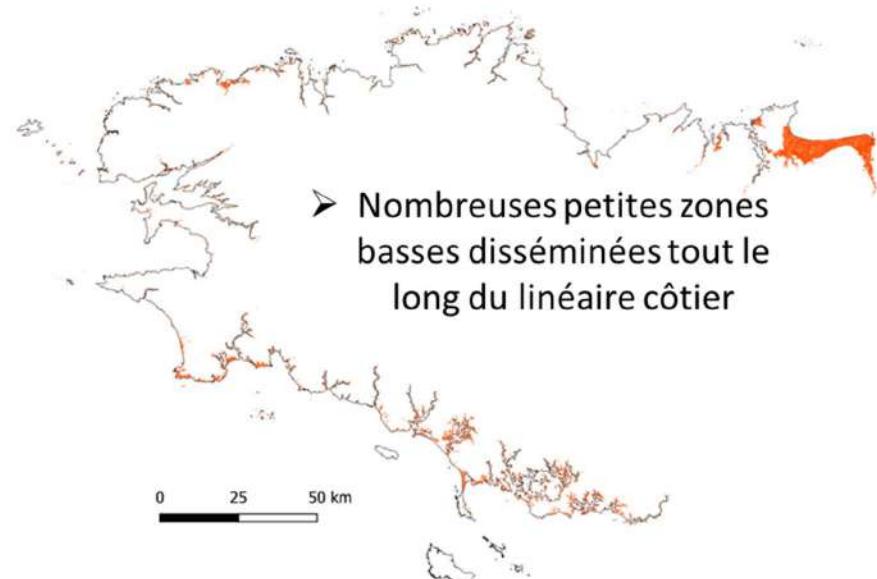
Événements ponctuels de recul.
 (BD « Aléas et impacts » OSIRISC, 2023)



3. Connaissance de l'aléa submersion à l'échelle de la région

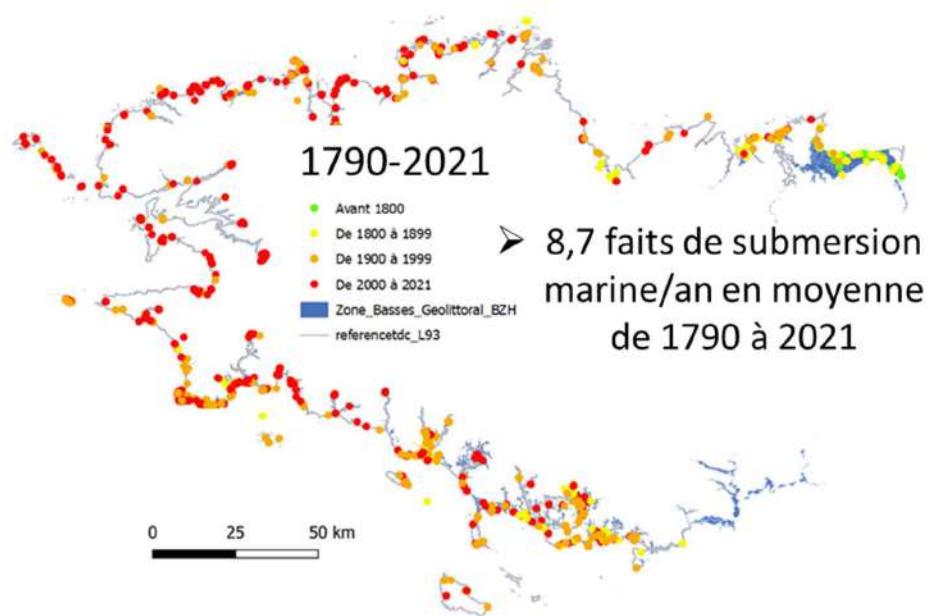
Zones basses inondables

(BD « Aléas et impacts »
OSIRISC, 2023)

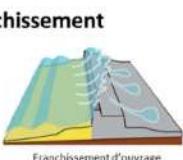


Submersions historiques régionales

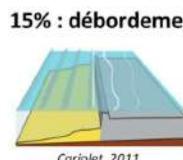
(BD « Aléas et impacts »
OSIRISC, 2023)



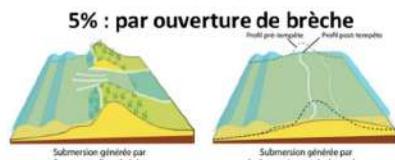
22% : franchissement



Franchissement d'ouvrage



Cariolet, 2011



Submersion générée par l'ouverture d'une brèche

Non précisé : 48 %

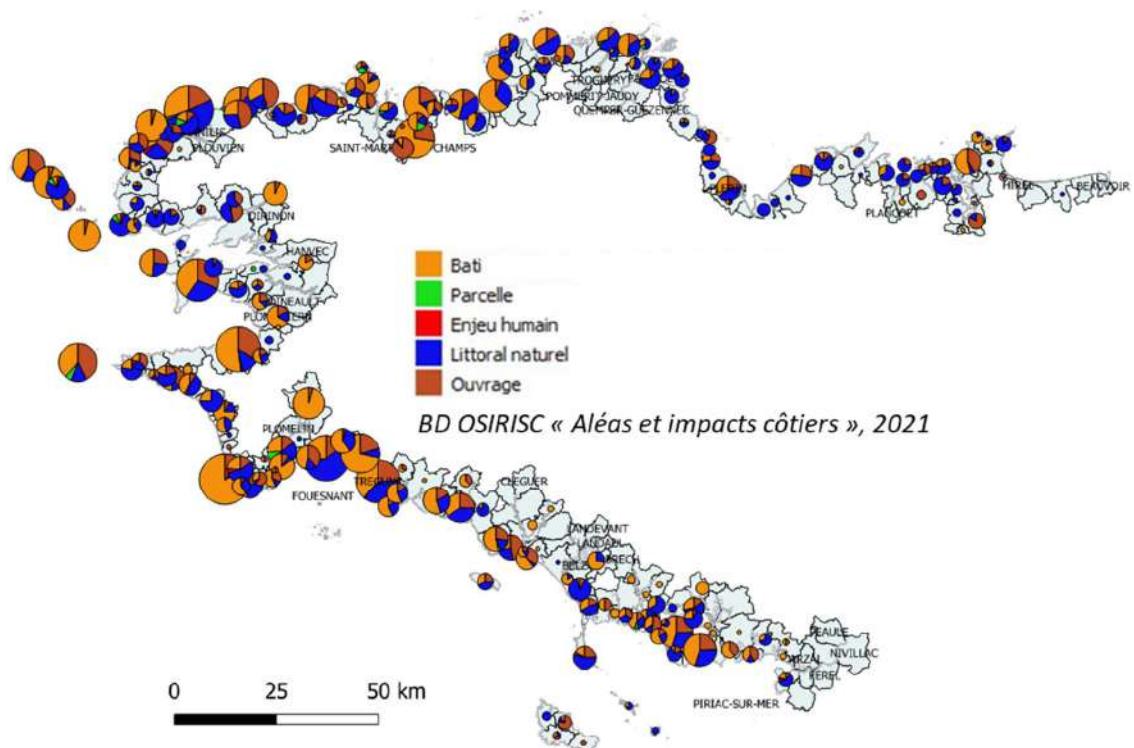
Profil géo-temporel

Profil post-temporel

Submersion générée par la destruction totale du cordon

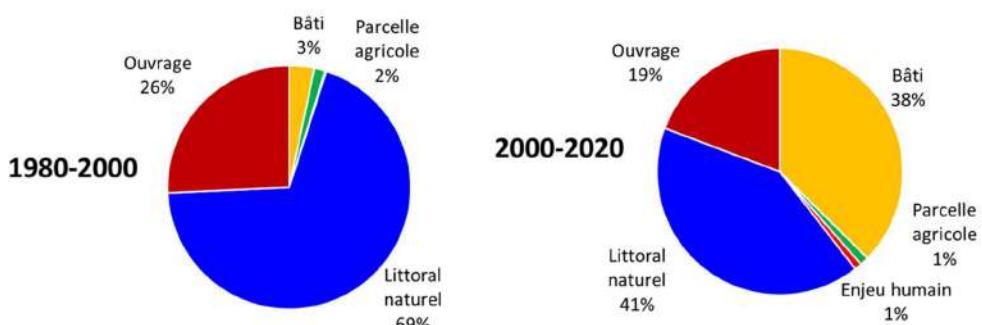
Répartition des différents types de submersions à l'échelle régionale (1790-2021)

Période 2000 - 2020



Impacts des aléas côtiers dans les communes littorales sur la période 2000 à 2020. NB : le littoral naturel est ici considéré comme un « enjeu », pour comparaison avec les enjeux anthropiques impactés.

Comparaison 1980-2000 / 2000 - 2020

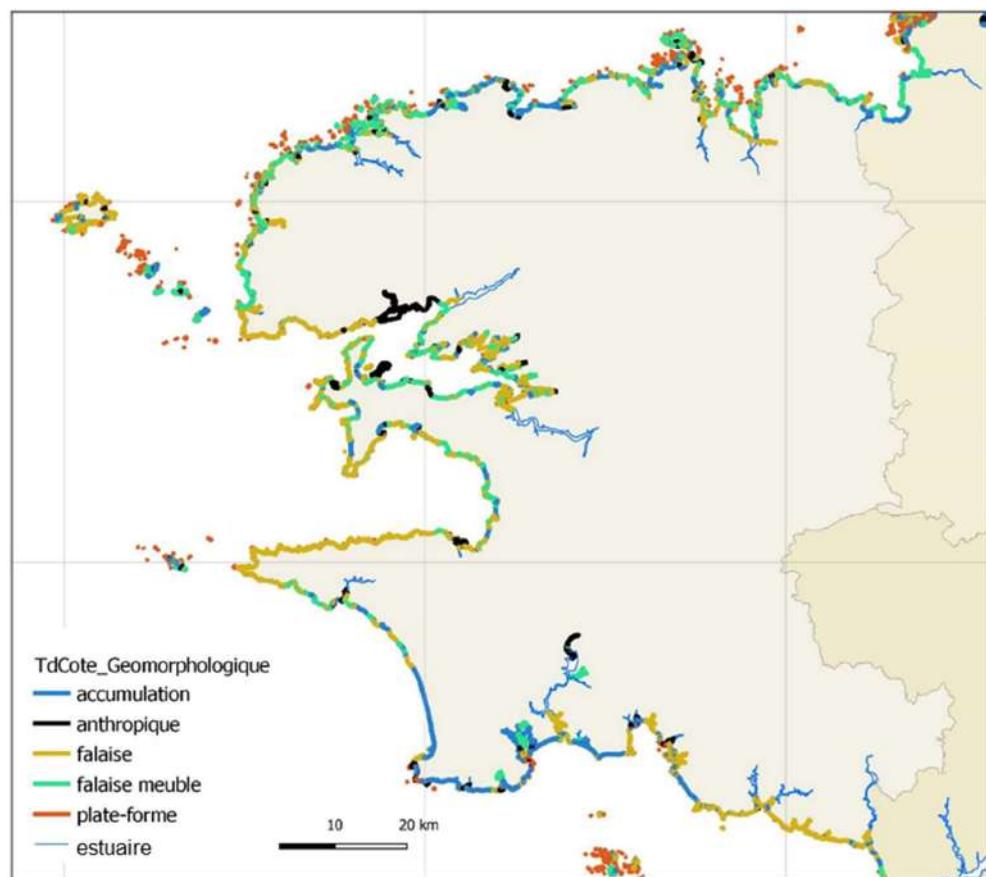


Catégories d'enjeux impactés entre 1980 et 2000 puis entre 2000 et 2020 à l'échelle régionale.

Les risques côtiers en Finistère (OSIRISC - Litto'Risques)

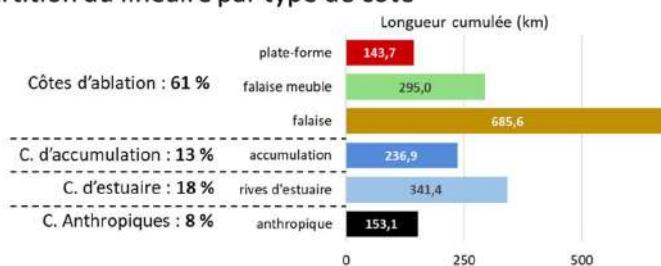
1. Géomorphologie et nature du trait de côte

Distribution géographique des types de côtes en Finistère
Longueur du trait de côte: 2264,4 km (Limite Terre-Mer, SHOM)

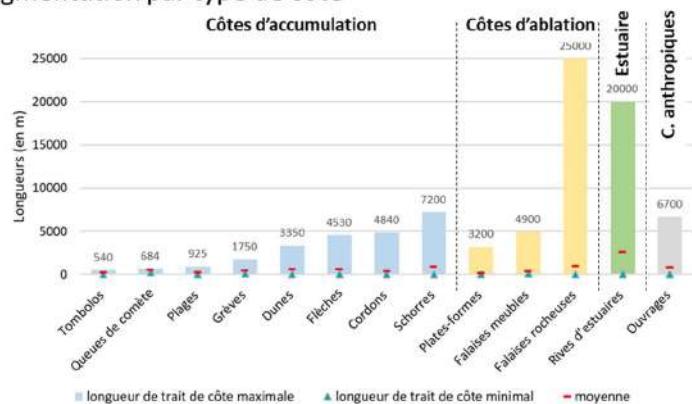


Diversité et segmentation des côtes dans le Finistère (BD)
"Trait de côte géomorphologique"
Osirisc, 2023

Répartition du linéaire par type de côte



Segmentation par type de côte



2. Connaissances des aléas érosion et submersion à l'échelle départementale

a. Aléa érosion

Trait de côte : évolutions

observées. (INEC, Cerema, 2019)

Partenariat Litto'Risques (2023).

Guide méthodologique de gestion des risques littoraux en Finistère – Volet 3 : recensement et

retours d'expérience sur les solutions mises en oeuvre sur le territoire du Finistère dans la gestion du trait de côte. 216 p.



Erosion
 > 0,5 m/an < 0,5 m/an
 6,3 % 16,8

Erosion : 951,4 km
 Taux moyen : -0,58 m/an
 (-7,194 à -0,001 m/an)

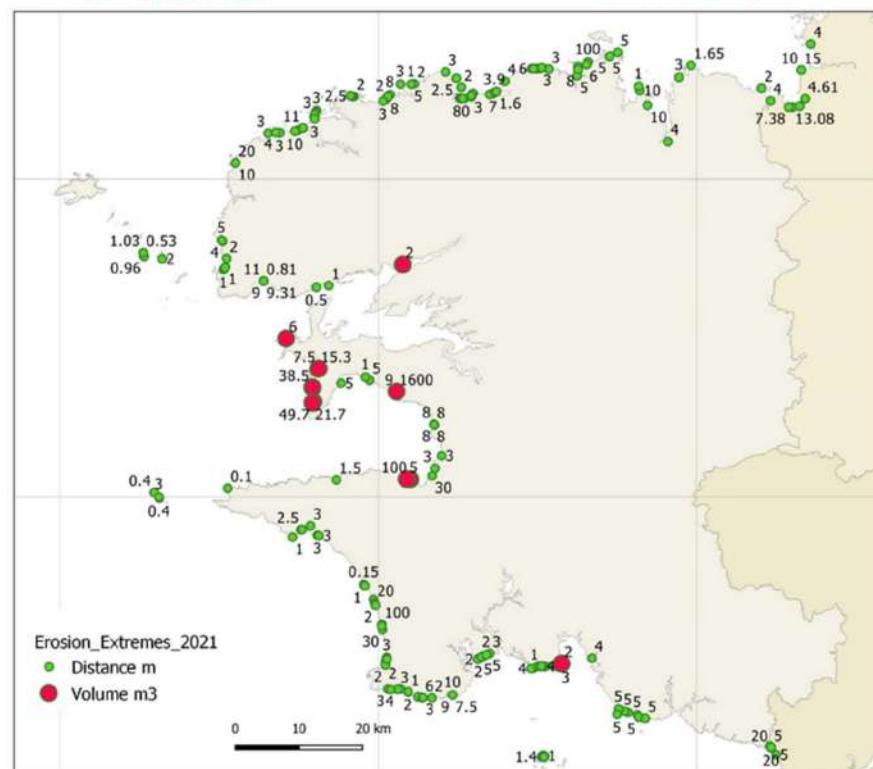
Imperceptible
 46,3

1910,8 km

Accrétion
 < 0,5 m/an > 0,5 m/an
 9,5 4,2

Accrétion : 569,4 km
 Taux moyen : +0,76 m/an
 (+0,001 à +15,308 m/an)

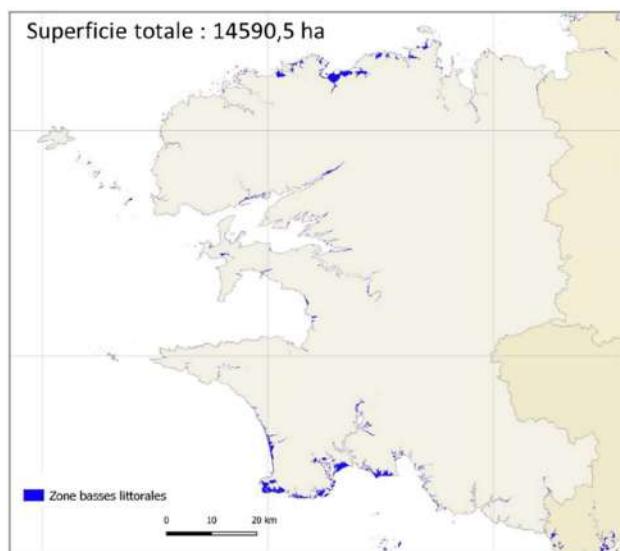
Reculs extrêmes ponctuels
 (BD « Aléas et impacts »
 OSIRISC, 2023)



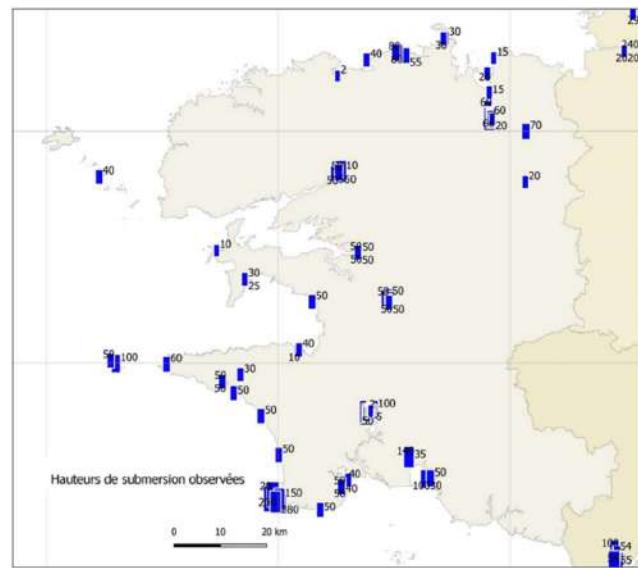
Reculs ponctuels maximaux

- L max : 0,1 à 100 m
- Vol max : 2 à 1600 m³

b. Aléa submersion



Zones basses submersibles (Géolittoral)



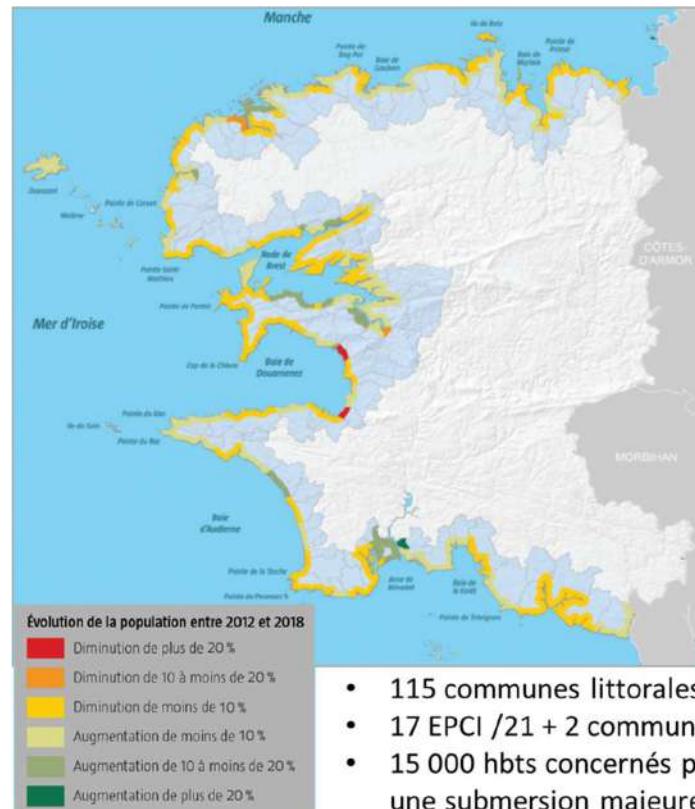
Hauteurs maximales de submersion observées (BD)
« Aléas et impacts » OSIRISC, 2023

c. Exemples d'enjeux exposés

Populations concernées

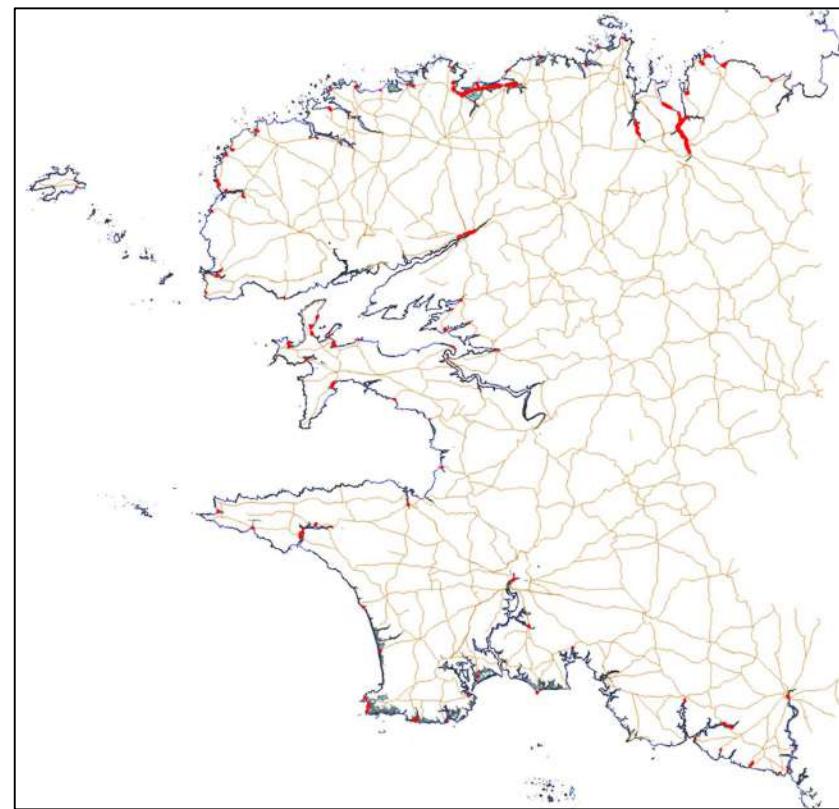
(Partenariat Litto'Risques (2023). Guide méthodologique de gestion des risques littoraux en Finistère –

Volet 3 : recensement et
retours d'expérience sur les
solutions mises en oeuvre sur le
territoire du Finistère dans la
gestion du trait de côte. 216 p.
<https://www.finistere.fr> (*rubrique Environnement, risques*)



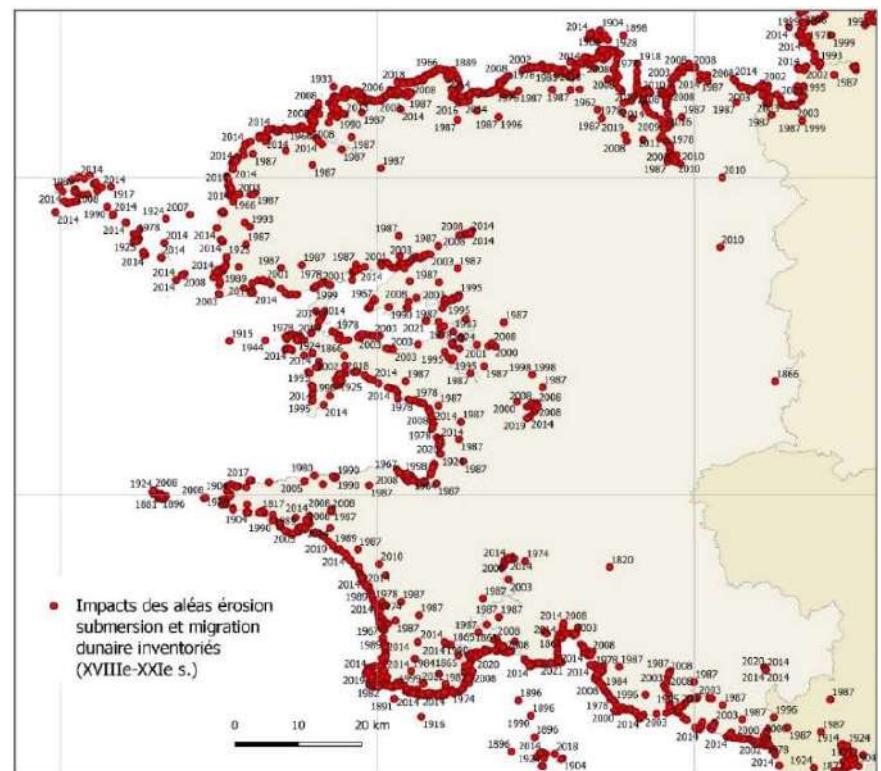
- 115 communes littorales
 - 17 EPCI /21 + 2 communes
 - 15 000 hbts concernés par une submersion majeure

Routes départementales
Osirisc-Litto'Risques en Finistère
(2022)

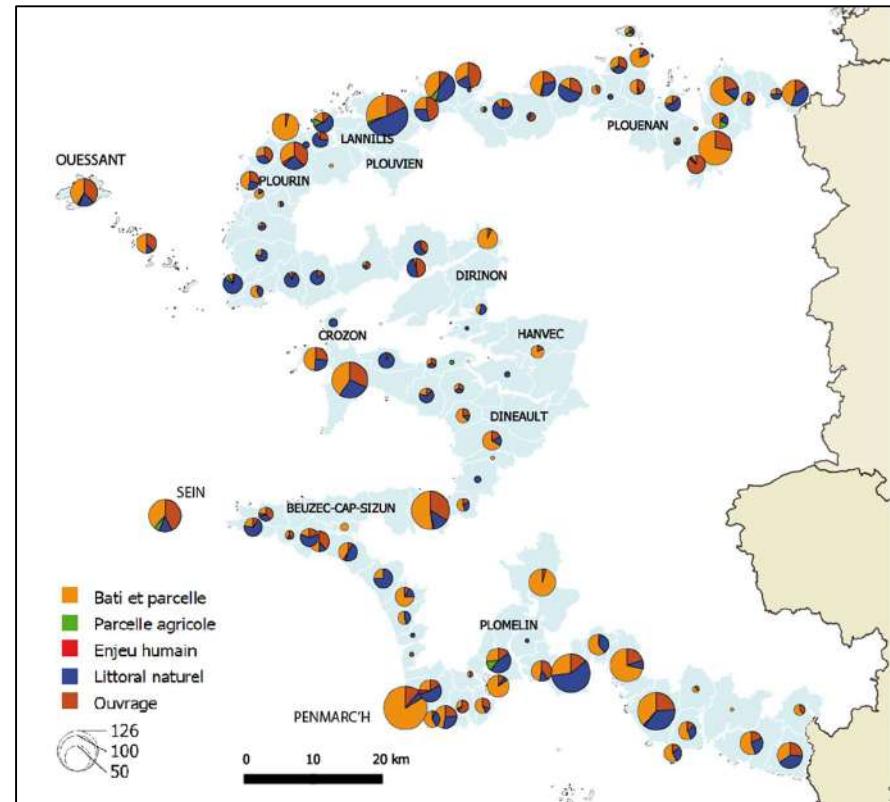


d. Impacts des aléas côtiers sur les territoires côtiers du Finistère

Localisation des impacts produits par les aléas érosion et submersion sur les territoires côtiers finistériens de 1800 à 2022
(BD « Aléas et impacts » OSIRISC, 2023)

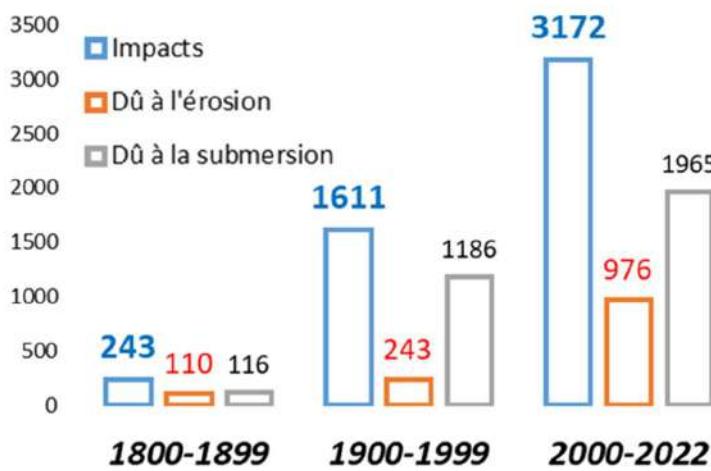


Typologie des enjeux impactés par l'érosion et/ou la submersion par commune (2000-2022)
 (BD « Aléas et impacts » OSIRISC, 2023)

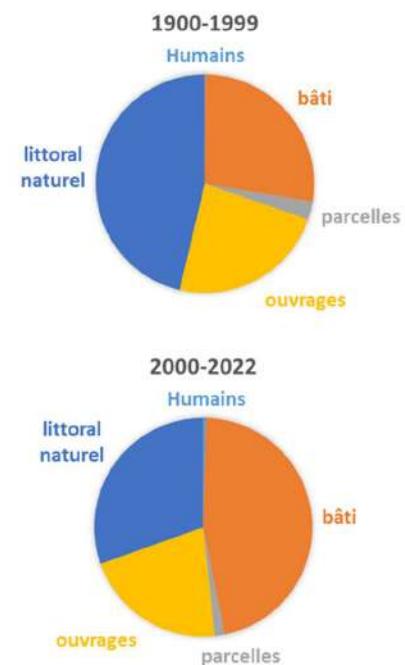


Evolutions des aléas ayant produit des impacts au cours des XIXe, XXe et XXIe siècles et évolutions des types d'enjeux impactés entre le XXe et le XXIe siècles.

Source : Litto'Risques, 2023



Evolution



Visites de terrain

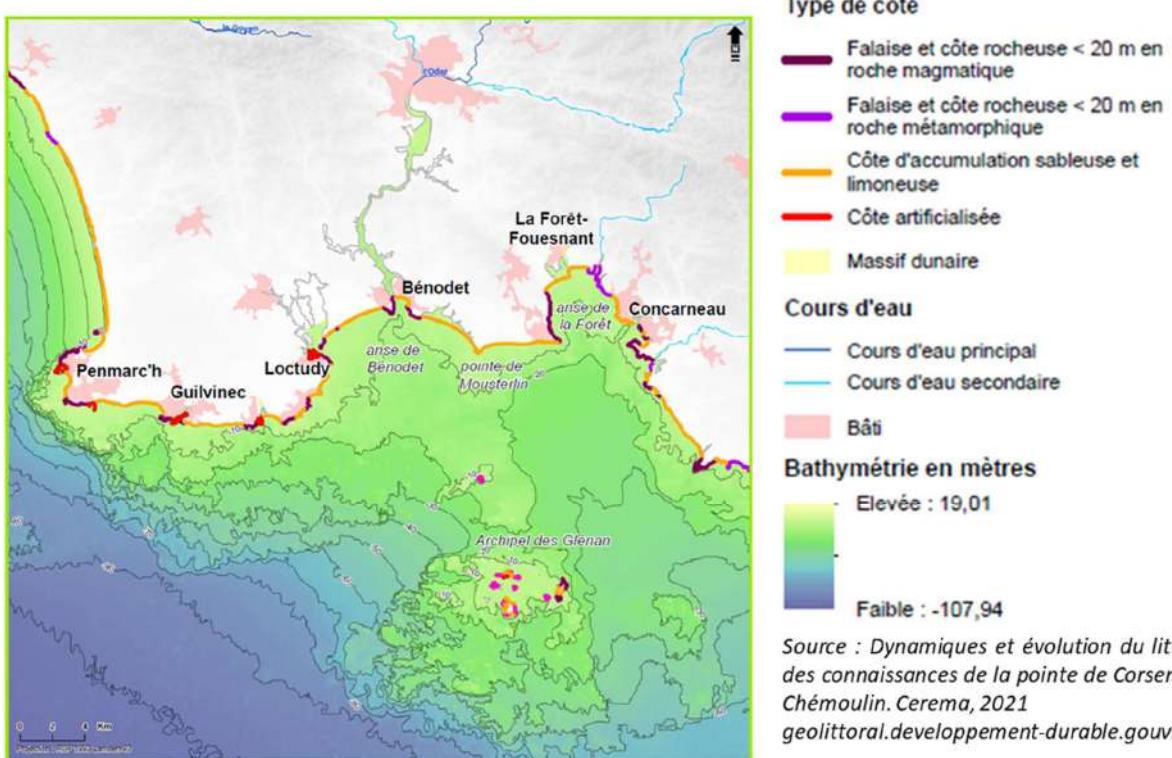
Contextes topographique et géologique du sud-ouest du Finistère



Hypsométrie – BD Alti 25 m
Fond cartographique : IGN, Géoportail



a. Typologie des côtes



b. Conditions marégraphiques

TABLE 2.15 – Niveaux de marée pour le site de l'anse de Bénodet (source : SHOM)

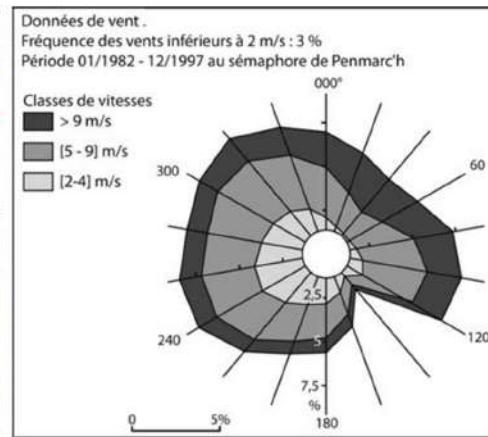
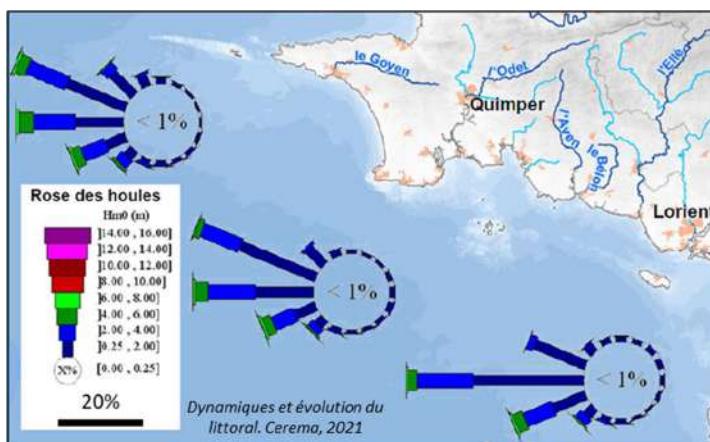
Marnage (m)	PHMA (m NGF)	PMVE (m NGF)	PMME (m NGF)	NM (m NGF)	BMVE (m NGF)
4,20	3,09	2,45	1,35	0,41	-1,75

In : Jabbar M., 2016

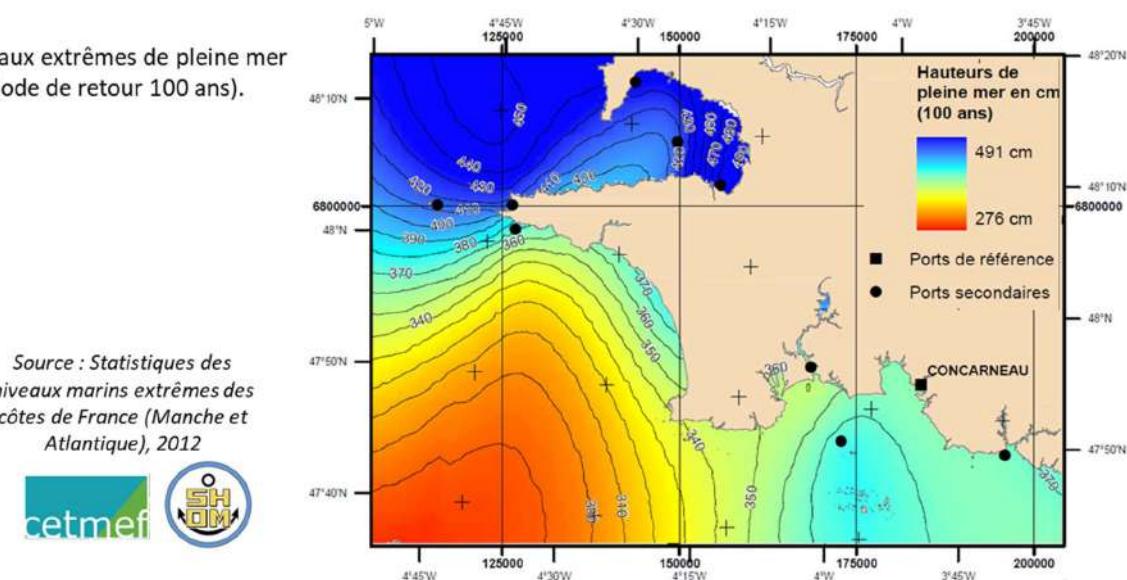
TABLE 2.18 – Niveaux de marée pour le site de la baie d'Audierne (source : SHOM)

Marnage (m)	PHMA (m NGF)	PMVE (m NGF)	PMME (m NGF)	NM (m NGF)	BMVE (m NGF)
4,40	3,34	2,66	1,51	0,48	-1,74

c. Exposition



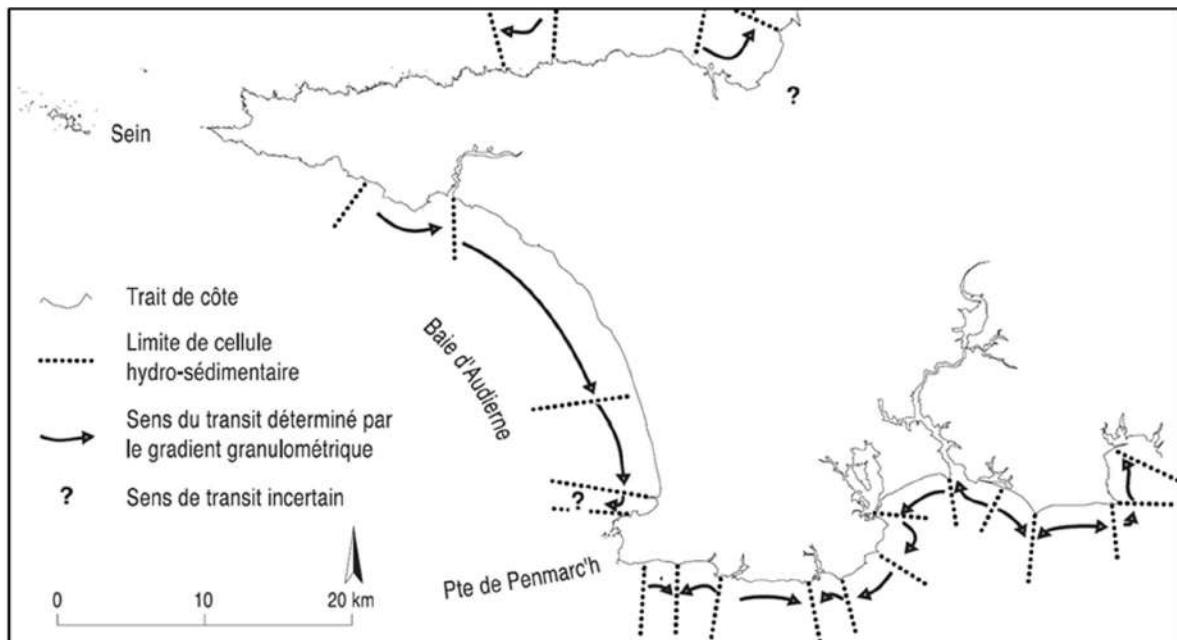
Niveaux extrêmes de pleine mer
(période de retour 100 ans).



Source : Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique), 2012



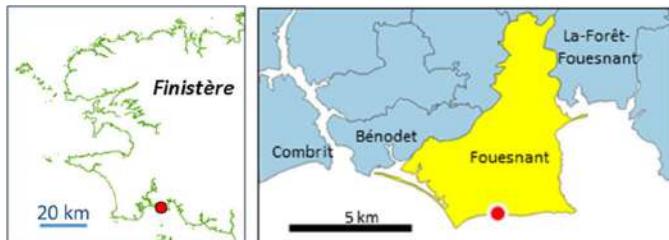
d. Cellules hydrosédimentaires



Cellules hydrosédimentaires

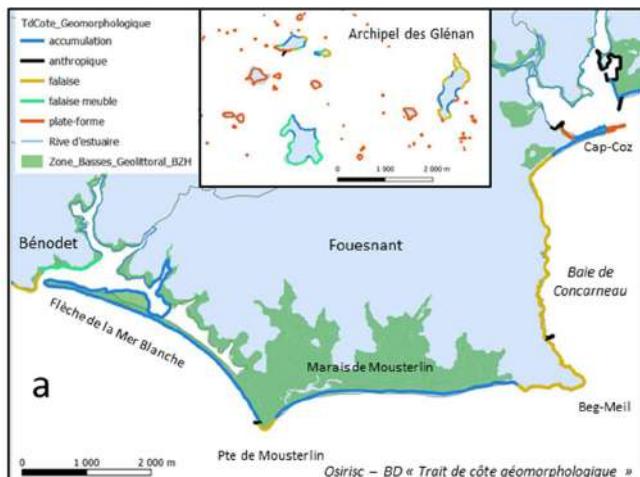
Modifié d'après Le Berre I. et Hénaff A., 2003

Visite n°1 : Cleut-Rouz - Fouesnant

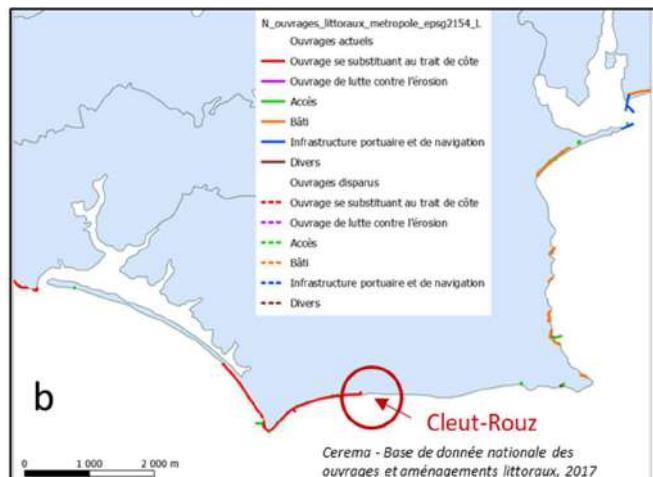


Site suivi de 2008 à 2018 par l'UBO
Site suivi par prestataire depuis 2019 (Casagec)
L'EPCI « Pays Fouesnantais » est adhérent de
Litto'Risques depuis 2019

1. Trait de côte communal et caractéristiques du littoral d'accumulation de Mousterlin

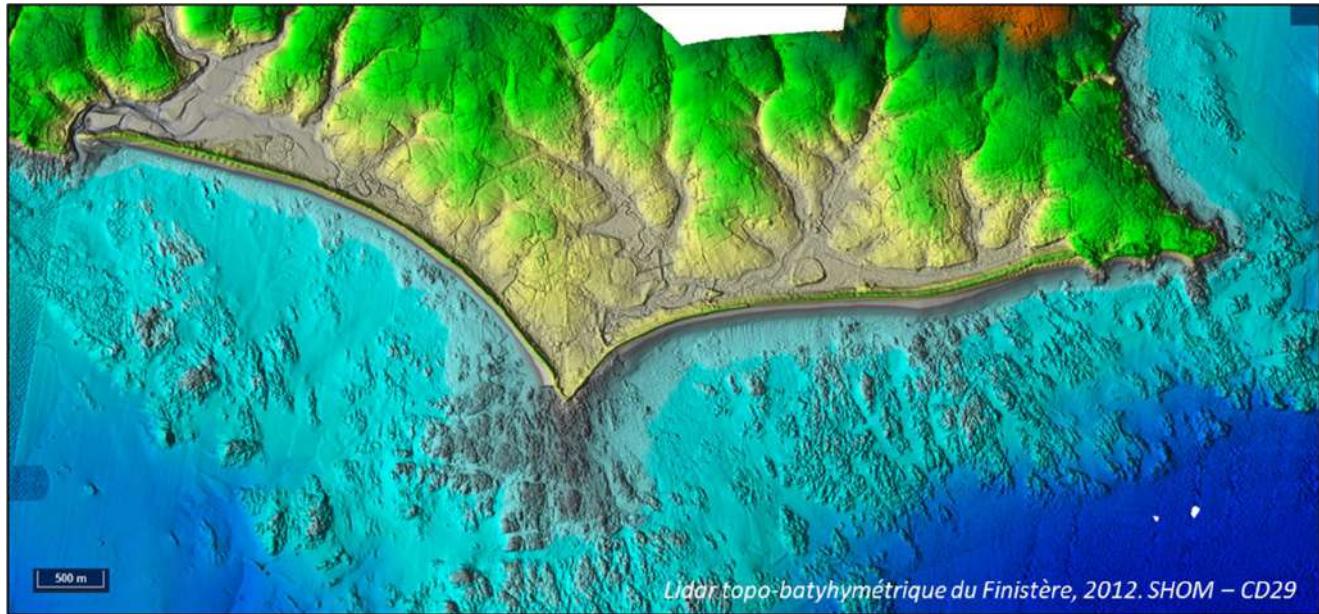


a) géomorphologie du trait de côte communal

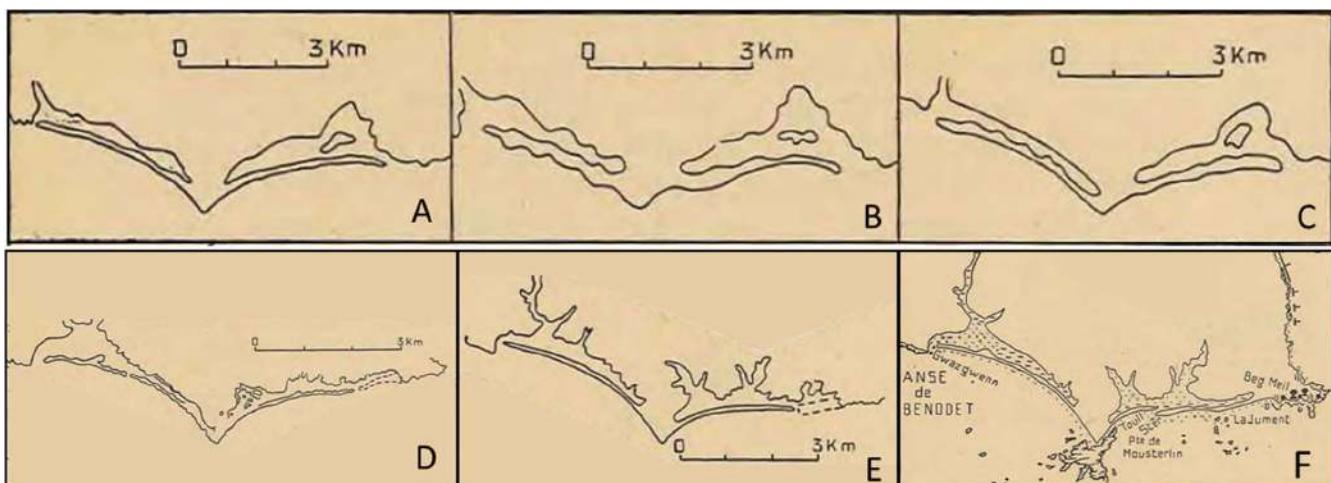


b) ouvrages et aménagements le long du trait de côte



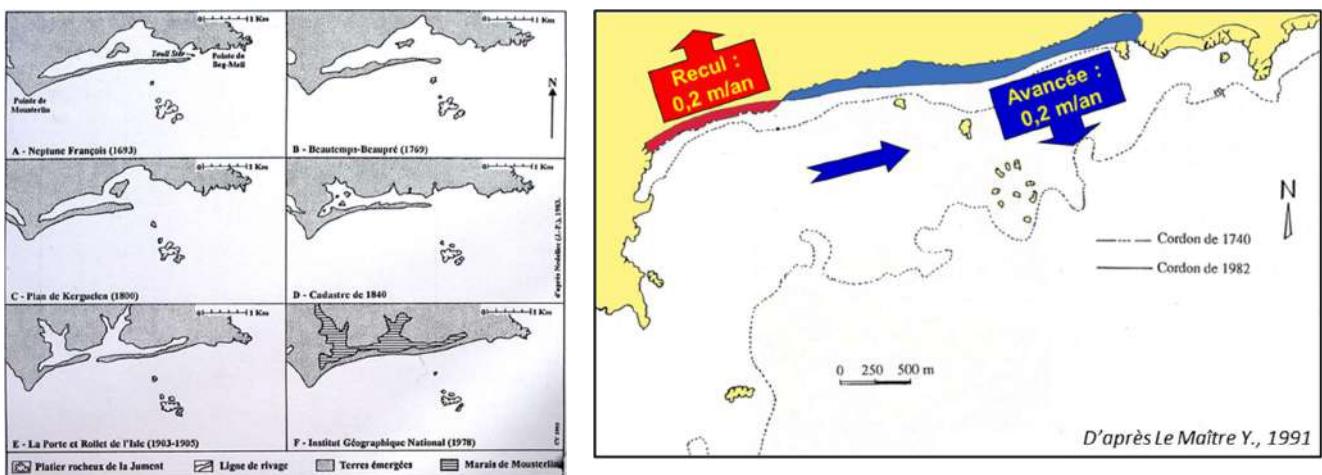


2. Evolutions historiques et récentes des cordons sableux dunifiés de Mousterlin



A. D'après le Neptune François de 1693. **B.** D'après une carte de 1769 (Arch. Serv. Cent. Hydro.). **C.** D'après un plan non daté, signé Kerguelen (vraisemblablement l'explorateur). **D.** D'après Beautemps Beaupré (1818 - 1819). En tirets : cordon immergé à pleine mer. **E.** D'après le cadastre et le 80 000e (1840 -1848) tirets : cordon immergé à pleine mer. **F.** D'après F. La Porte .et Rollet de L'Isle (1903-1905) et obs. personnelle Guilcher, 1948. Source : Guilcher A., 1948. *Le relief de la Bretagne méridionale, de la baie de Douarnenez à la Vilaine. Université de Paris*, 731 p.

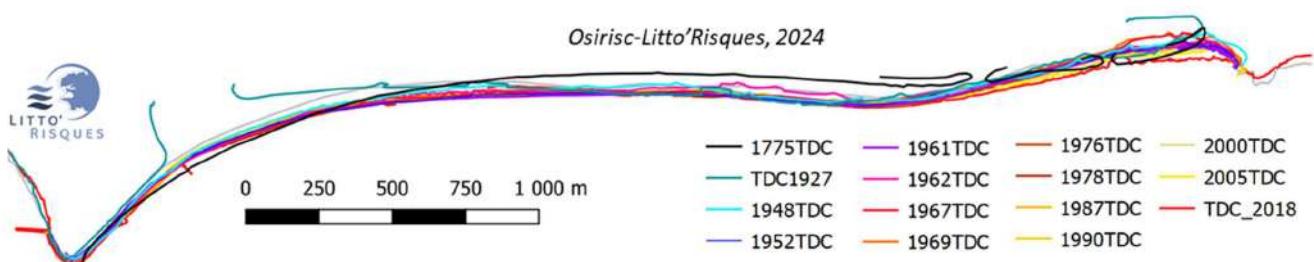
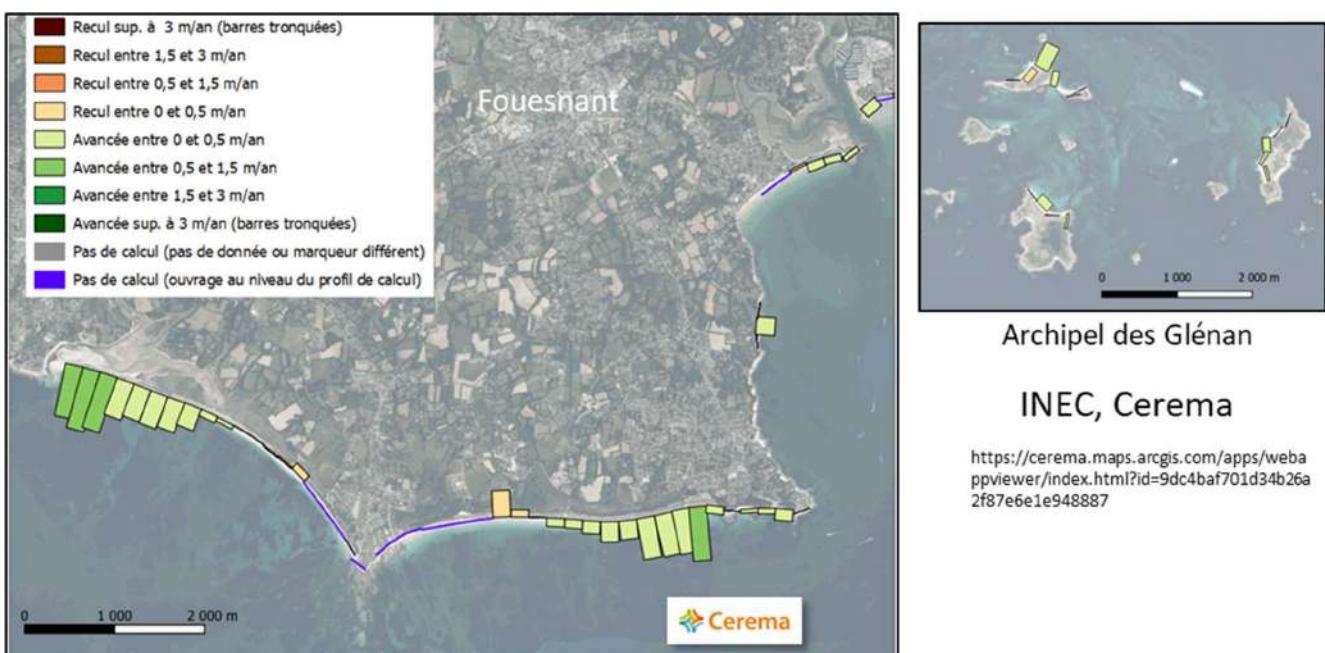
a. Evolutions historiques du cordon oriental de Mousterlin



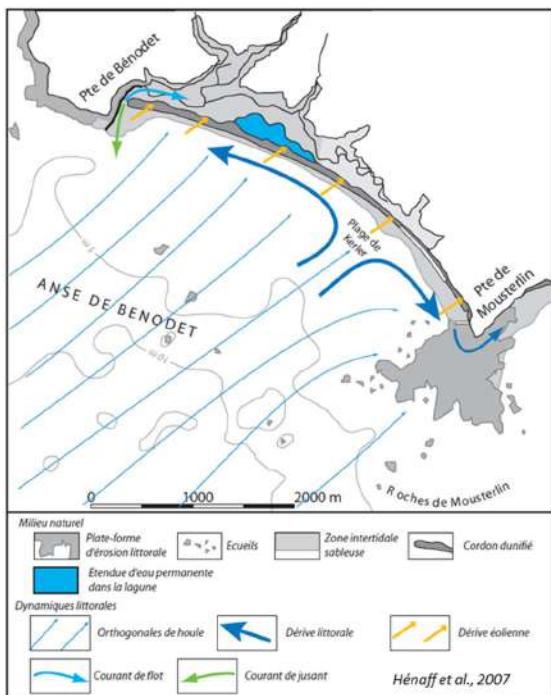
Source : Yoni C., 1995 ; Cuisnier D., 1999

D'après Le Maître Y., 1991

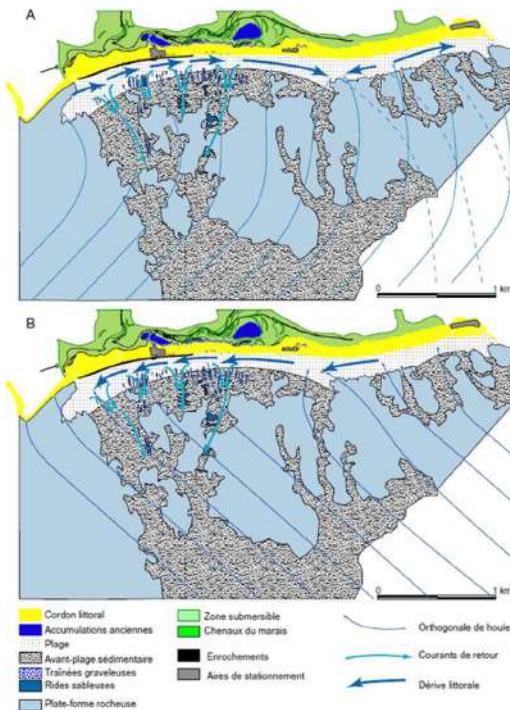
b. Evolutions récentes du trait de côte de la commune de Fouesnant : 1952-2011



3. Dynamique hydro-sédimentaires littorales



Dynamique littorale sur le cordon occidental de Moustélin



Schématisation de l'atterrissement des orthogonales de houles sur le rivage de Moustélin-Est et des courants littoraux qu'elles génèrent selon leur orientation. A: houles provenant du sud-ouest ; B: houles provenant du sud-Est

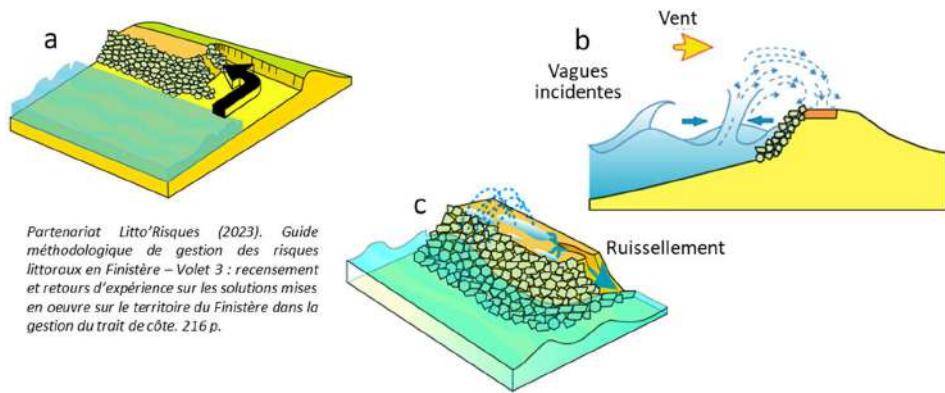
4. Perturbation des dynamiques et des transits sédimentaires par les ouvrages sur le trait de côte



⇒ Recul du trait de côte contré par la fixation du cordon littoral par un enrochements en 1987
Localement, renforcement des processus d'érosion et de submersion par les défenses contre la mer



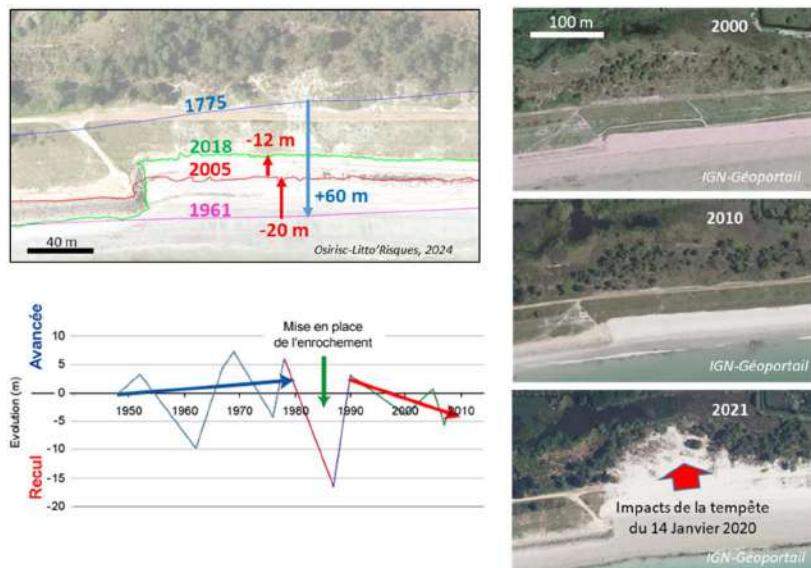
a. Impacts des enrochements



Effet de bout à son extrémité (a), abaissement de la plage en avant, projections de paquets de mer (b) et ruissellement concentré des projections sur le sommet puis incision sur le revers par écoulement à l'extrémité (c)

<https://www.finistere.fr/aides-et-services/environnement/les-risques-littoraux-et-fluviaux-en-finistere/littorisques-assistance-technique-des-collectivites-littorales/>

b. Evolutions du trait de côte après la pose de l'enrochement de Cleut-Rouz



- Accélération du rythme d'érosion à l'est des enrochements : x 1,5 depuis 1987
 - Inversion du sens d'évolution dans certains cas (avancée → érosion)
 - Abaissement de la plage en avant des enrochements : -1 m à -1,5 m

Vers une rupture du cordon littoral et la ré-estuarisation « naturelle » du marais ?



Enrochement d'un cordon dunaire

Site de Cleut-Rouz à Fouesnant (29)

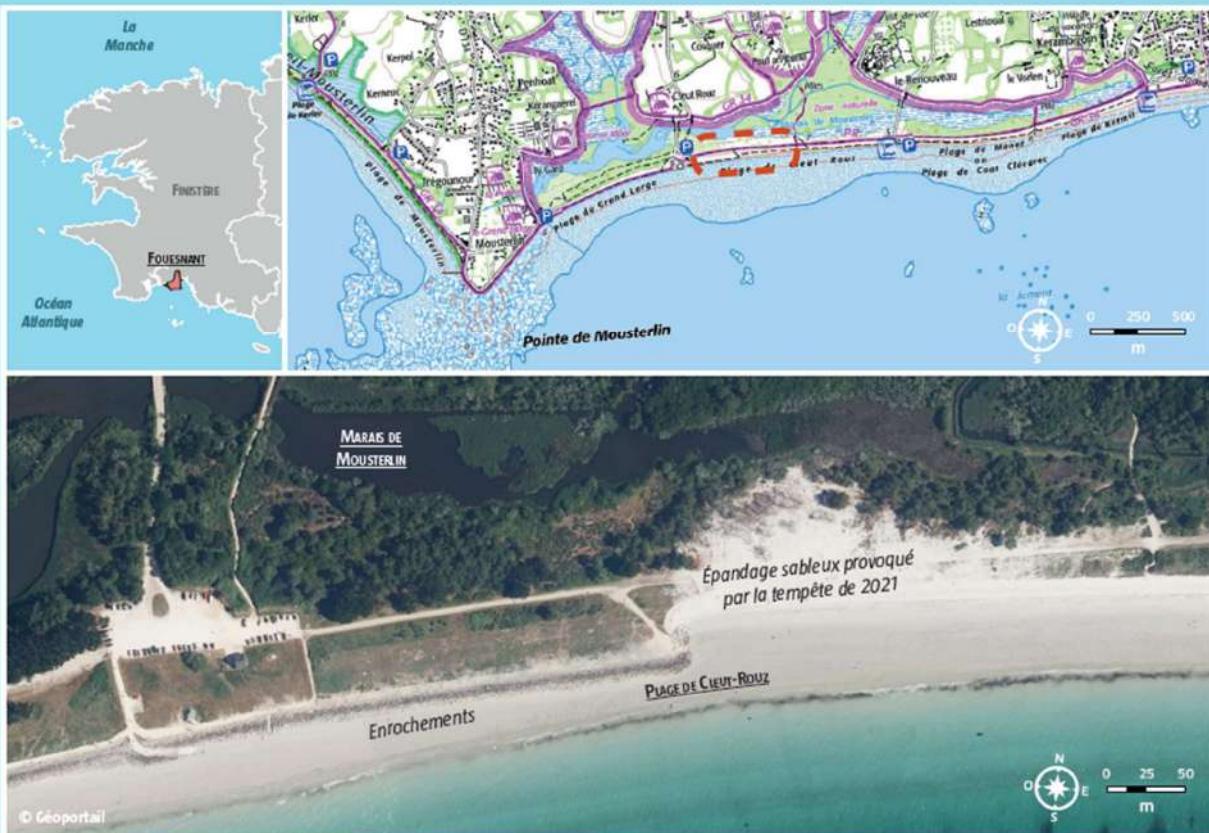


Figure 24 : localisation du site de Cleut-Rouz à Fouesnant.

Localisation et description du site

La plage de Cleut-Rouz se situe à Fouesnant dans le Finistère sud (cf. figure 24). La plage de sable est adossée à un cordon dunaire qui s'étend de la pointe de Moustélin à l'ouest à la pointe rocheuse de Beg-Meil à l'est. En arrière de ce cordon dunaire, les marais de Moustélin constituent, un site naturel protégé, propriété du Conservatoire du Littoral. La communication et les échanges hydrauliques entre la mer et les marais se font par l'intermédiaire d'un exutoire artificiel muni de vannes.

Les agents morphologiques qui régissent les évolutions de la côte sur ce site sont :

- **les vents**, en particulier ceux associés aux tempêtes de secteur sud-ouest à ouest ;
- **les agents marins** (houles et courants). Les houles proviennent principalement du sud-ouest à l'ouest. Les courants de marée sont faibles dans cette zone : les courants de flot se dirigent vers l'est et les courants de jusant sont, à l'inverse, orientés vers l'ouest. Les houles et les vents dominants d'ouest et de sud-ouest déterminent la direction principale de la dérive littorale qui est orientée de l'ouest vers l'est ;
- **les aménagements et les actions anthropiques** : peu d'habitations et d'infrastructures sont présentes en arrière du littoral de Moustélin, excepté au niveau de la pointe. Cependant, le cordon dunaire et la plage sont très fréquentés par le public ce qui a engendré l'aménagement d'aires de stationnement et de sentiers piétonniers. Cette fréquentation du site participe à la dégradation de la couverture végétale dunaire, l'ouverture de siffle-vents dans la dune au niveau des accès à la plage qui sont susceptibles de s'agrandir s'ils ne sont pas gérés.

Il convient toutefois de noter que la tendance générale de recul du rivage sur ce site est à l'origine naturelle.

Historique des techniques de gestion du site

A l'est de la pointe de Mousterlin, jusqu'à Cleut-Rouz, le cordon est aujourd'hui artificialisé sur 1 500 m de rivage (cf. figure 25). En effet, à la suite de différents épisodes de recul du trait de côte, des ouvrages ont progressivement été mis en place :

- **1924** : la pointe de Mousterlin est ceinturée par un mur de défense contre l'érosion ;
- **1978** : construction d'une route par la Municipalité de Fouesnant à la pointe de Mousterlin afin de consolider le mur de soutènement déjà en place ;
- **1981** : création, par la commune, d'un perré en enrochement de 150 m de long sur le site du Grand-Large pour fixer la dune ;
- **1987** : poursuite du premier enrochement, sur 1 km jusqu'à Cleut-Rouz. Il s'est progressivement transformé en digue-promenade car un cheminement stabilisé, peu perméable et formé d'un revêtement de terre et de tout-venant riche en argiles a été créé au sommet de l'enrochement et donc au sommet de la dune ;
- **depuis le début des années 1990**, des actions de canalisation des chemins piétonniers et recul des aires de stationnement ont été menées.

Les objectifs de l'enrochement de cette portion de côte étaient de protéger de l'érosion les parkings aménagés sur la dune ainsi que de protéger de la submersion marine les zones inondables proches du marais. A l'extrémité orientale de l'enrochement, l'érosion du cordon s'est cependant poursuivie et accélérée dans les années 2000 (tempête Johanna, 2008, succession des tempêtes de l'hiver 2013-2014). La menace de l'ouverture d'une brèche dans cette partie du cordon est devenue de plus en plus probable ;

- **2008** : adjonction d'un enrochement supplémentaire perpendiculaire à l'extrémité de l'enrochement initial ;
- **2014** : un dispositif de pieux hydrauliques (cf. fiche 10 - «Pieux hydrauliques») est positionné à l'extrémité est de l'enrochement pour enrayer le recul du cordon.



Figure 25 : positions des ouvrages littoraux et sens de la dérive littorale dominante entre les sites de Mousterlin et Beg-Meil à Fouesnant.

Effets de l'ouvrage

Différents effets, qu'ils soient positifs ou négatifs, sont observés depuis la mise en place de l'enrochement de Cleut-Rouz :

Les effets positifs :

- l'installation des 3 ouvrages (le mur et les enrochements) a permis de fixer le trait de côte et ainsi arrêter son recul sur plus du tiers de la ligne de rivage, à l'est de la pointe de Mousterlin.

Les effets négatifs :

- ils sont essentiellement liés à « l'effet de bout » de l'enrochement qui se traduit par une accélération du recul du trait de côte générant le surcreusement du cordon dunaire à l'extrémité orientale de l'enrochement (cf. figure 26). En 2008, une étude (Boussard et al., 2008) a comparé les évolutions de la position du trait de côte du site avant (de 1948 à 1987) et après (de 1990 à 2008) la construction de l'enrochement de Cleut-Rouz. Les résultats montrent que le recul accentué du trait de côte à l'est de l'enrochement est une conséquence directe de son aménagement. L'accélération du recul du trait de côte se fait sentir sur les premiers 200 m du cordon dunaire, et particulièrement sur les 60 premiers mètres ;

- les effets négatifs de l'ouvrage concernent également l'amaigrissement de la plage et l'abaissement de son altitude, principalement en avant de l'enrochement mais aussi sur la portion de plage située en aval-dérive de son extrémité est. Ces effets ont pour origine la réflexion des vagues sur l'ouvrage ainsi que les turbulences générées en avant de l'ouvrage lors de la rencontre des vagues incidentes et réfléchies par l'ouvrage. De plus, les échanges sédimentaires entre la plage et le cordon dunaire qui constitue une réserve de sédiments lors de l'amaigrissement de la plage ne peuvent plus avoir lieu, ce qui accentue le déficit sédimentaire du site. L'abaissement de l'altitude de la plage provoque un déferlement des vagues de plus en plus proche du trait de côte et donc une érosion plus importante du haut de plage et du cordon dunaire. L'estran au droit de l'ouvrage a perdu son attrait touristique ;



Figure 26 : évolution de « l'effet de bout » à l'extrémité est de l'enrochement entre 1989 (deux ans après la pose) et 2008 (après la tempête Johanna du 10 mars 2008). A gauche : photo de l'extrémité de l'ouvrage prise sur la plage en direction de l'ouest ; à droite : photo prise du sommet de l'ouvrage en direction de l'est.

- enfin, on observe la dégradation du revêtement du cheminement au sommet de l'ouvrage par les projections de paquets de mer (cf. figure 27). Des fissures et des trous apparaissent et permettent l'infiltration des paquets de mer et de la pluie dans l'ouvrage. L'eau qui s'y engouffre accentue alors la fragilité de l'ouvrage en ravinant le sable de la dune, en provoquant des affaissements de blocs d'enrochement et en élargissant les trous dans le revêtement. Le revêtement doit donc souvent être entretenu et les cavités fréquemment comblées.

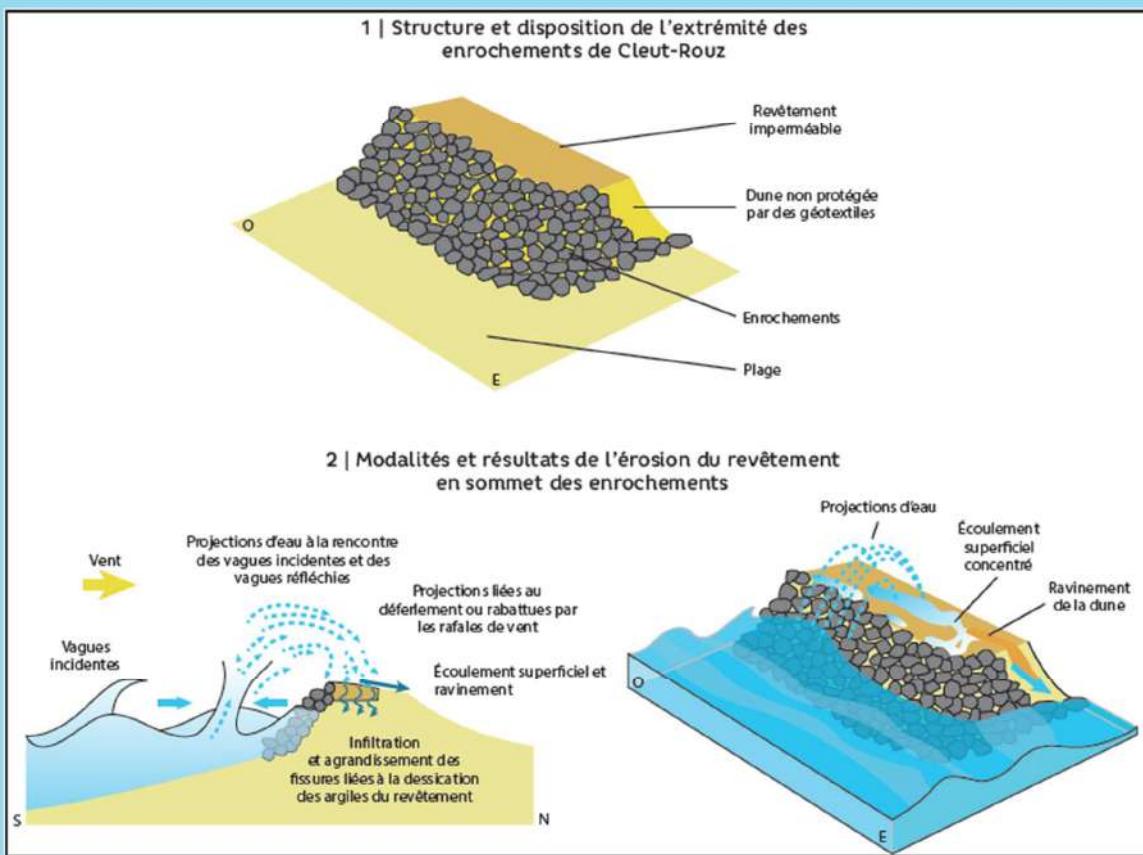




Figure 27 : dégradation de l'extrémité d'un enrochement. En haut : structure de l'extrémité de l'ouvrage de Cleut-Rouz(1) ; érosion du revêtement au sommet de l'ouvrage par ravinement dû aux projections de paquets de mer et d'infiltrations (2). En bas : conséquences des projections de paquets de mer sur le sommet des enrochements.

Situation 2022

Aujourd’hui, la zone soumise à « l’effet de bout », à l’extrémité Est de l’ouvrage, est très surveillée. En effet, le surcreusement dans la dune a désormais atteint le revers du cordon. La faible altitude du cordon permet aux vagues de le submerger de plus en plus fréquemment et rend possible l’ouverture d’une brèche dans le cordon dunaire. Lors d’épisodes tempétueux, il est courant maintenant d’observer des paquets de mer passer par-dessus la crête de la dune, ou de voir la mer le submerger entièrement (cf. figure 28).

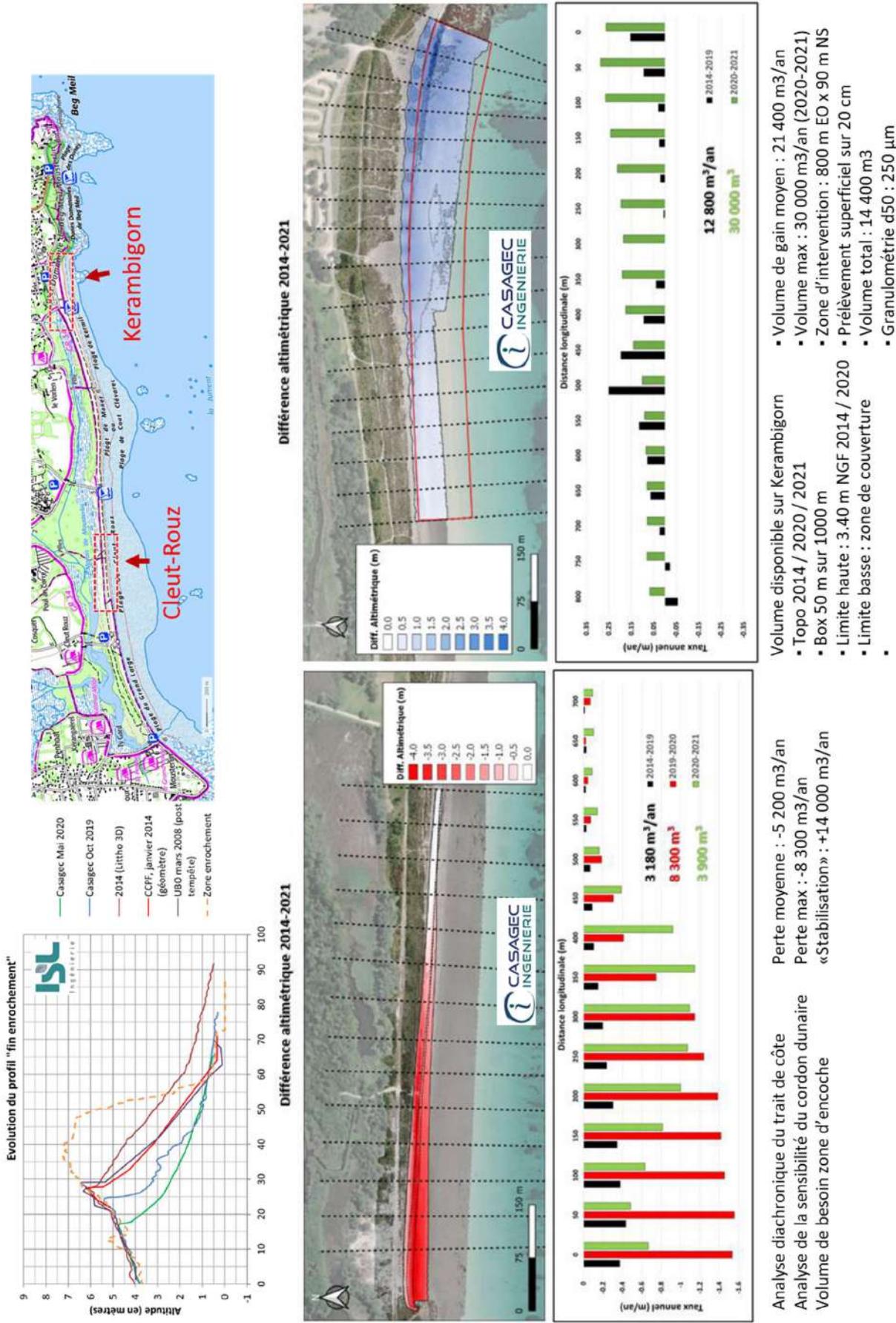
Par ailleurs, les pieux hydrauliques ont été, pour partie, emportés par la mer lors des tempêtes hivernales et la Communauté de communes du Pays Fouesnantais a décidé de procéder au retrait des derniers pieux restants.



Figure 28 : vagues franchissant le sommet de la dune de la plage de Cleut-Rouz et submergeant le secteur arrière-dunaire.

Aujourd’hui, des réflexions sur un potentiel « déenrochement » ou une modification de la forme de l’extrémité de l’enrochement sont à l’étude (cf. le chapitre « Dépose d’ouvrage : déenrochement »).

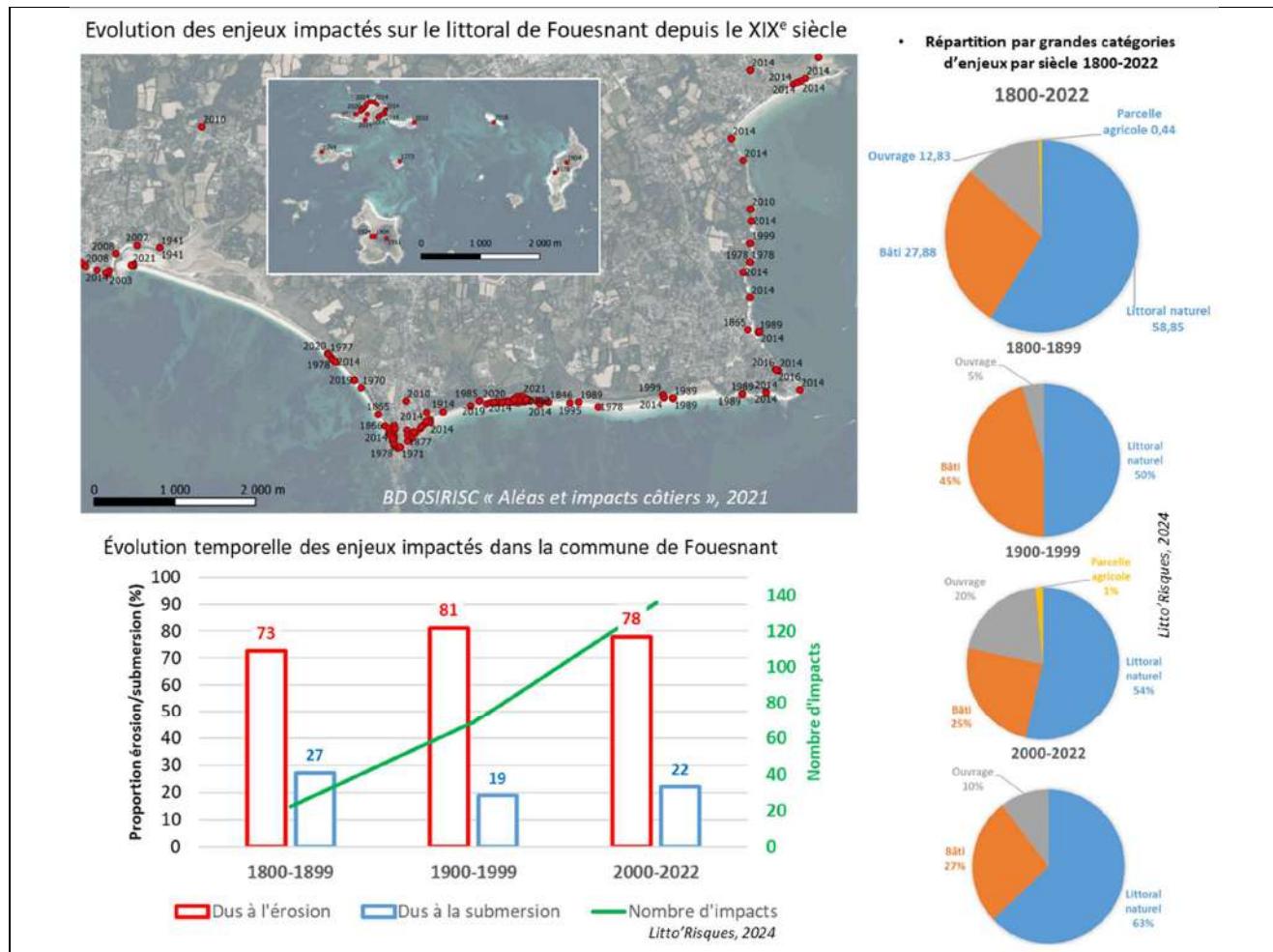
5. Bilan sédimentaires (Casagec - ISL)



6. Les risques côtiers à Fouesnant



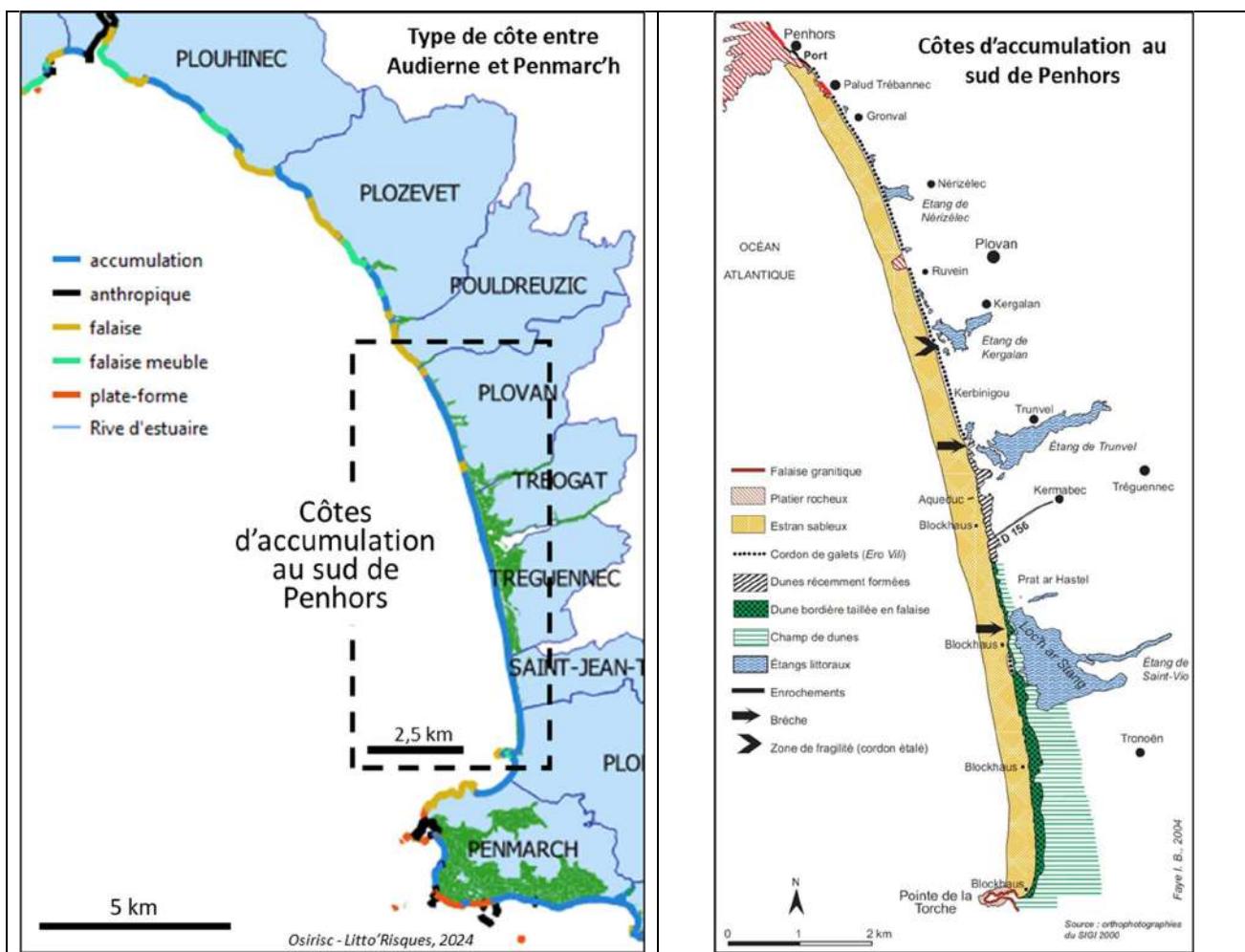
Densification de l'occupation du littoral dans certains sites : comparaison 1952 et 2021



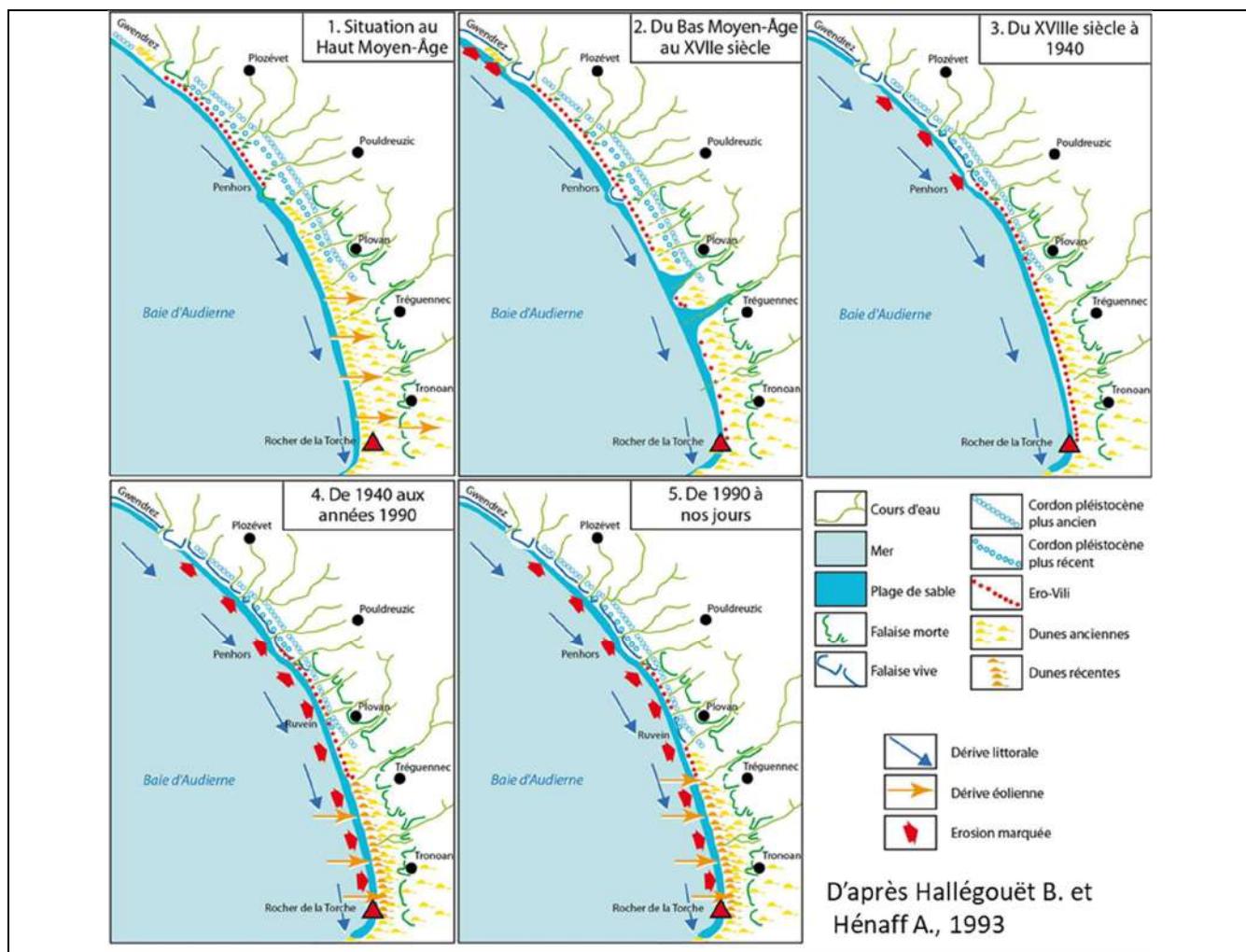
Visites n°2 et n°3 en baie d'Audierne



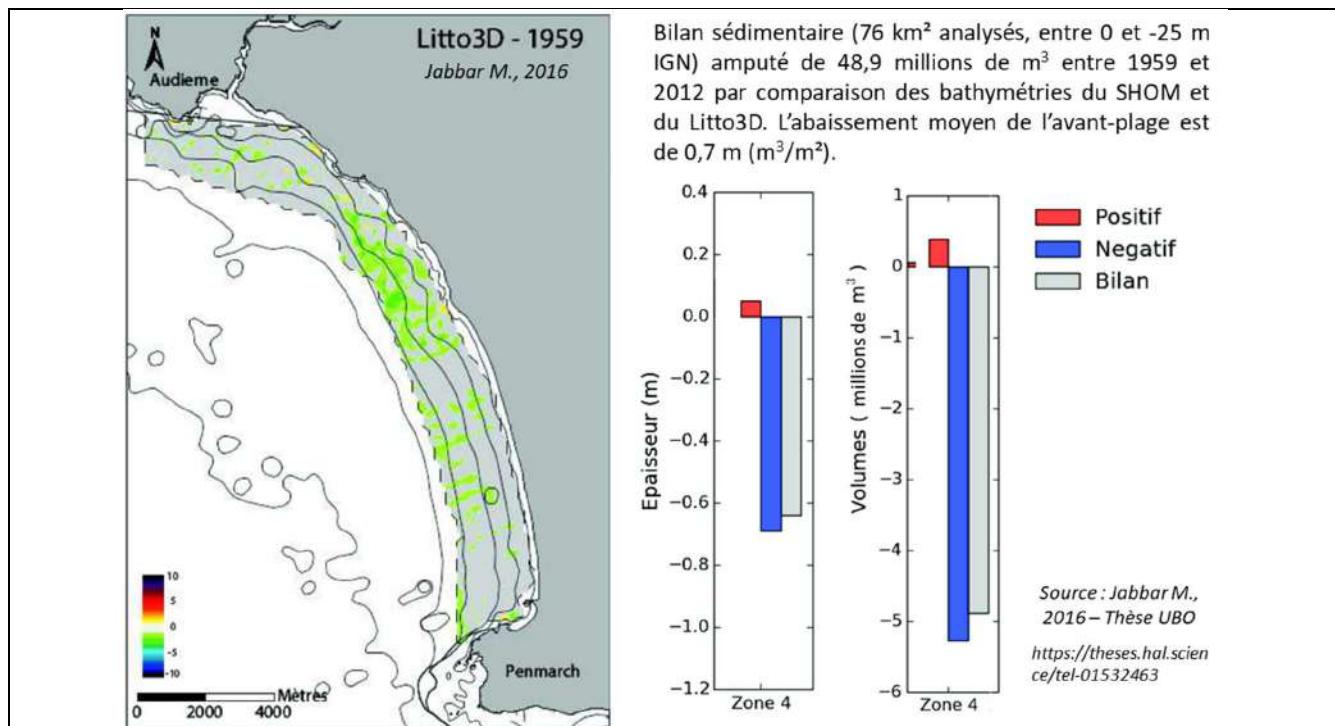
1. Types de côte et côtes d'accumulations méridionales de la baie d'Audierne



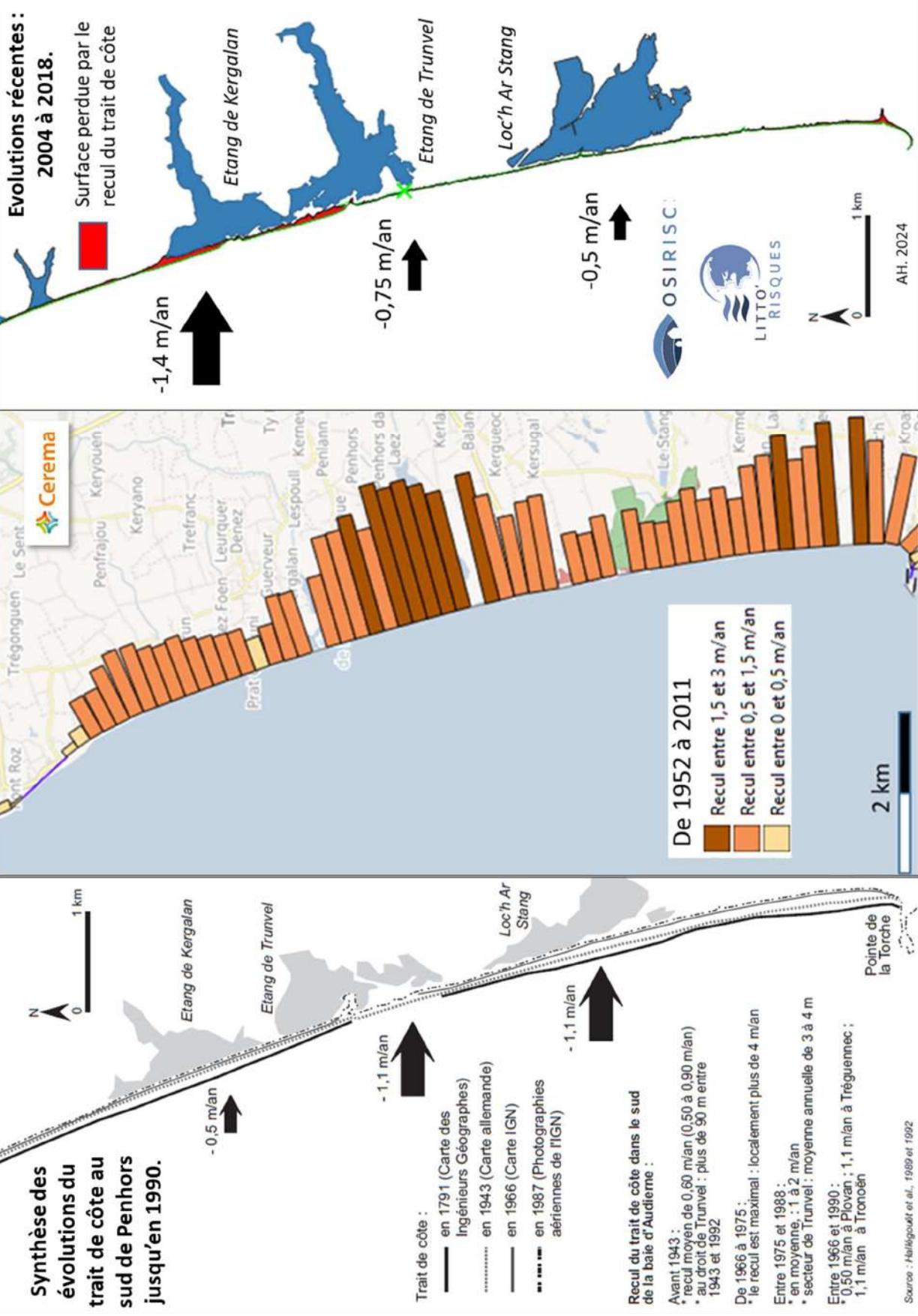
2. Histoire du littoral d'accumulation du sud de la baie d'Audierne



3. Bilan sédimentaire d'avant-côte en baie d'Audierne - 1959-2012



4. Evolutions historiques et récentes du trait de côte



Visite n°2 : Site de la Torche/Prad-an-Dorchenn - Plomeur



Evolution du paysage littoral entre 1952 et 2018



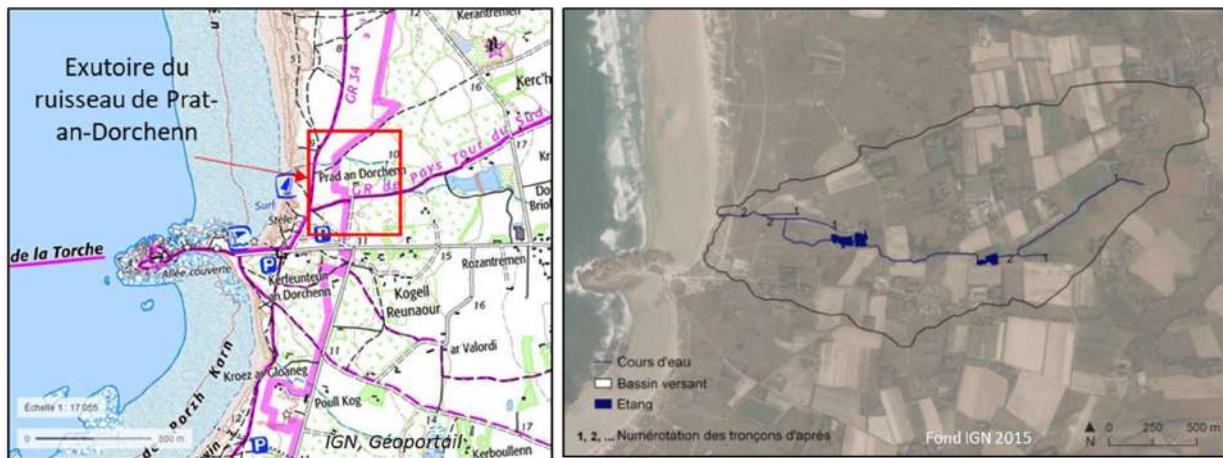
a. Impacts du ruisseau de Prat-an-Dorchen sur le littoral au droit de l'exutoire

Site suivi depuis 2008 par l'UBO.

L'EPCI « Pays Bigouden Sud » est adhérent de Litto'Risques depuis 2019.

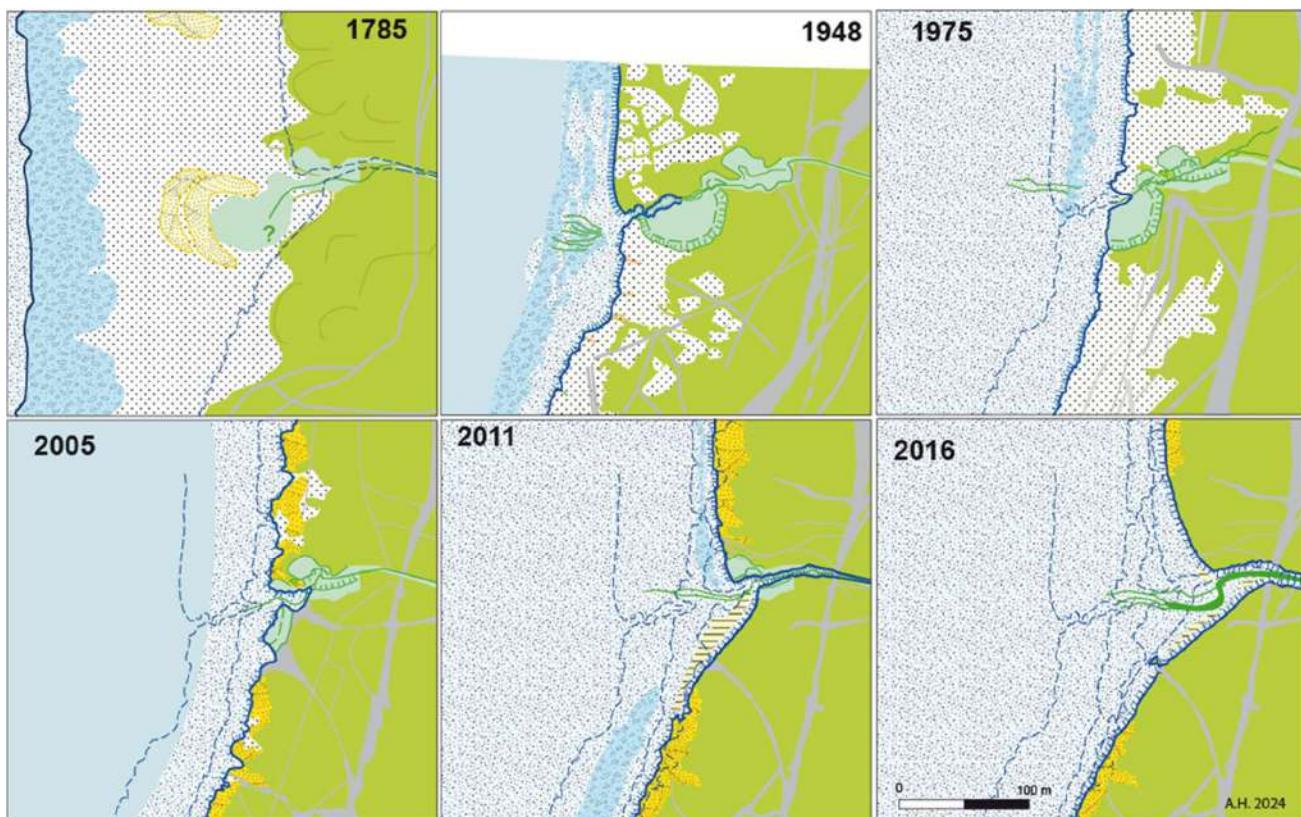


D'une vingtaine de mètres de large en 2009, l'exutoire s'ouvre désormais sur près de 200 m



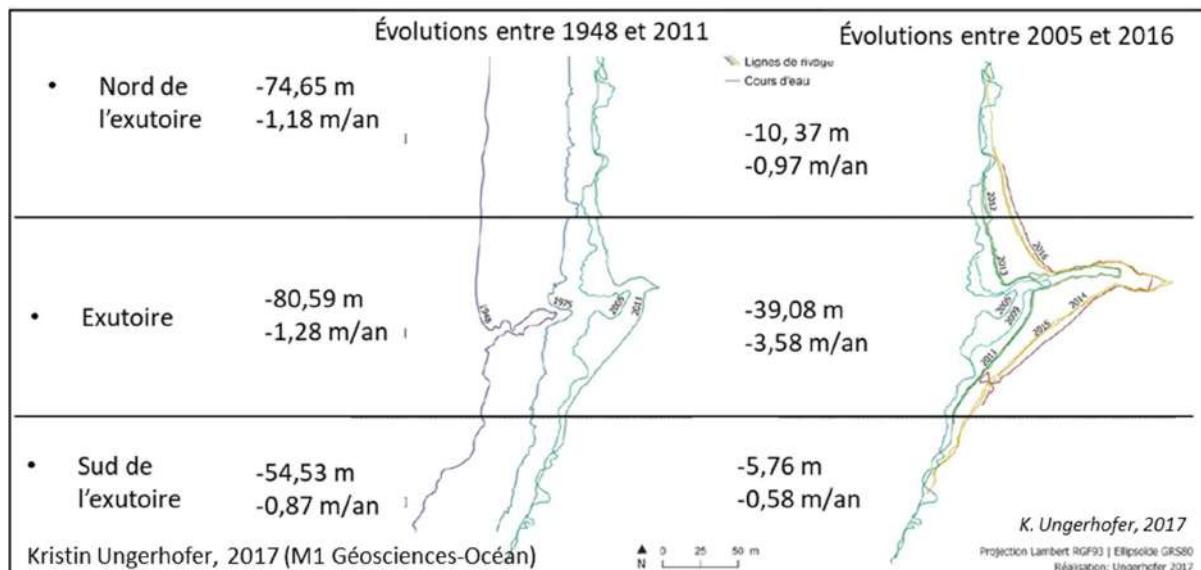
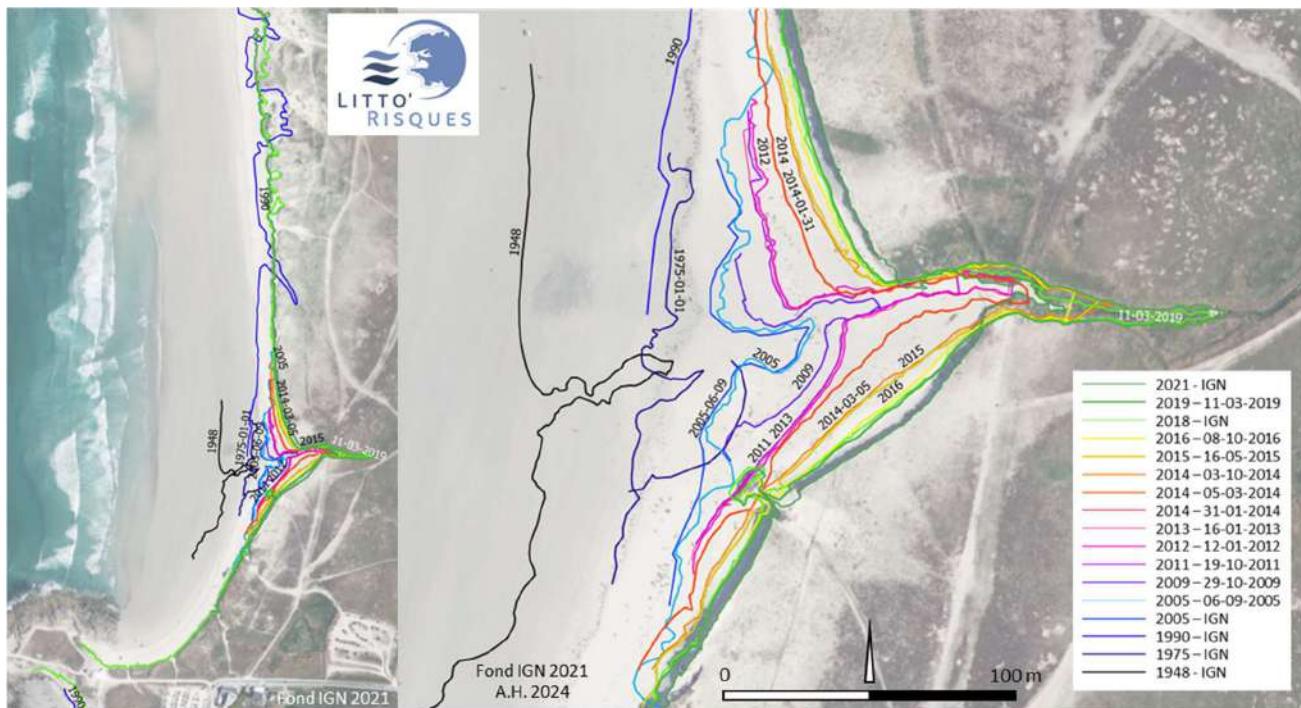
Petit ruisseau saisonnier intermittent, à faible débit, qui traverse le massif dunaire de la Torche avant de se jeter dans le sud de la baie d'Audierne... mais aux effets érosifs importants sur le trait de côte.

- Bassin versant : 2,44 km²
- Longueur : 3605 m
- Pente faible : 2,74°
- Canalisé avant 1948, 2 étangs artificiels
- Temps de concentration : 1,17 h (Kirpich)



Cartographie géomorphologique diachronique du secteur littoral de Prad-an-Dorchenn (1785 – 2016).
Source : A. Hénaff, 2024.

b. Risques côtiers à Plomeur : recul du trait de côte et conséquences multiples





c. Travaux de résorption de la décharge de la Torche

Objectif : purge complète de la décharge et refaçonner la dune dans ses proportions d'origine

Enjeux : site écologiquement très sensible

Principe : utiliser au maximum les espaces anthropisés pour marquer le moins possible le site

Phases successives : Concertation/ amené chantier/ protection des milieux naturels/ terrassement/ tri/ évacuation déchets/ remblaiement / replis chantier.

Eléments de chiffrage :

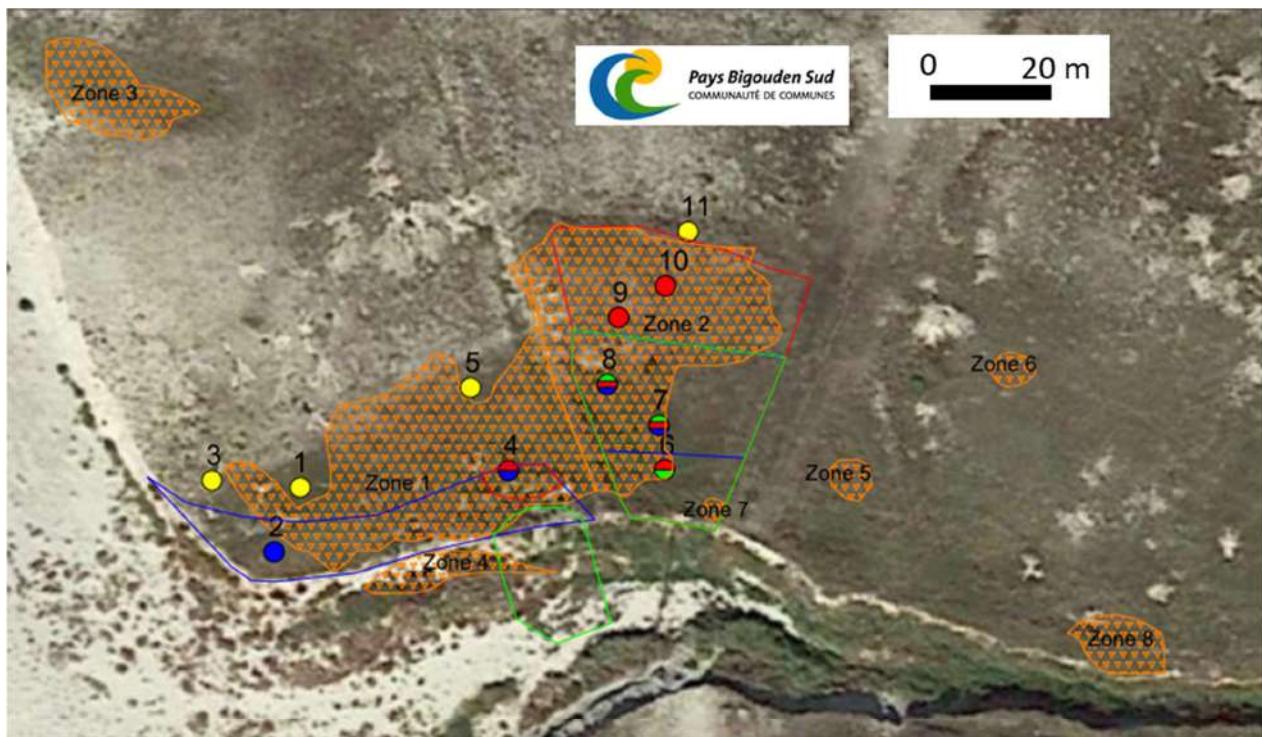
Etudes

- sondage mécanique 4 000 €
- sondage géotechnique 4 000 €
- suivi environnemental 26 400 €

Cout total :
446 991 euros ttc



Le site de l'ancienne décharge de la Torche va être renaturé ! La CCPBS, en lien avec ses partenaires, réalise depuis mi-septembre des travaux de résorption pour retirer les déchets piégés le sable depuis les années 70.



Fouille à la pelle (Aménagement et Territoire, mars 2020)

- sans déchets
- avec déchets de ferraille
- avec déchets de tout-venant
- avec déchets de chantiers
- avec déchets mixtes

Zonages :

Définis par Aménagement et Territoire (mars 2020)

— déchets de ferraille

— déchets de tout-venant

— déchets de chantiers

Définis par prospection géophysique

EM31 Calligée (mars 2023)

Volumétrie

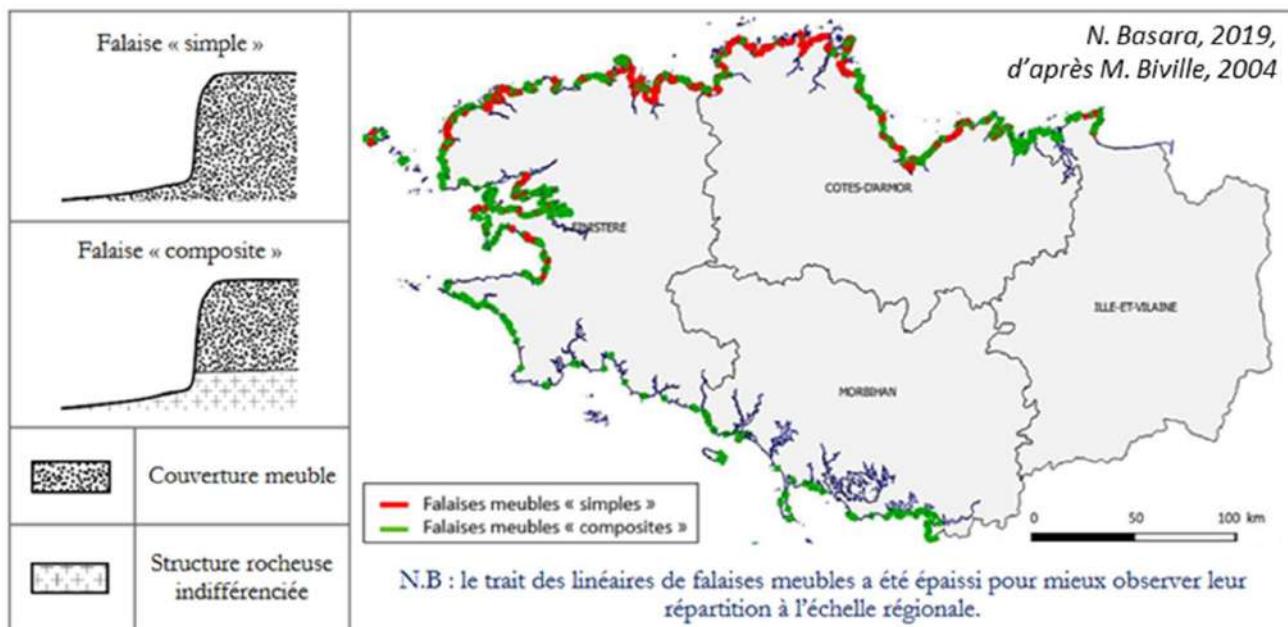
Déchets enlevés	industriels banaux	Inerte	Ferraille	Gravats	Bois	Amiante (en mélange)
Tonnage (t)	17	650	45	0,580	0,600	45

<https://www.ccpbs.fr/2023/09/30/travaux-de-resorption-de-la-decharge-de-la-torche/>

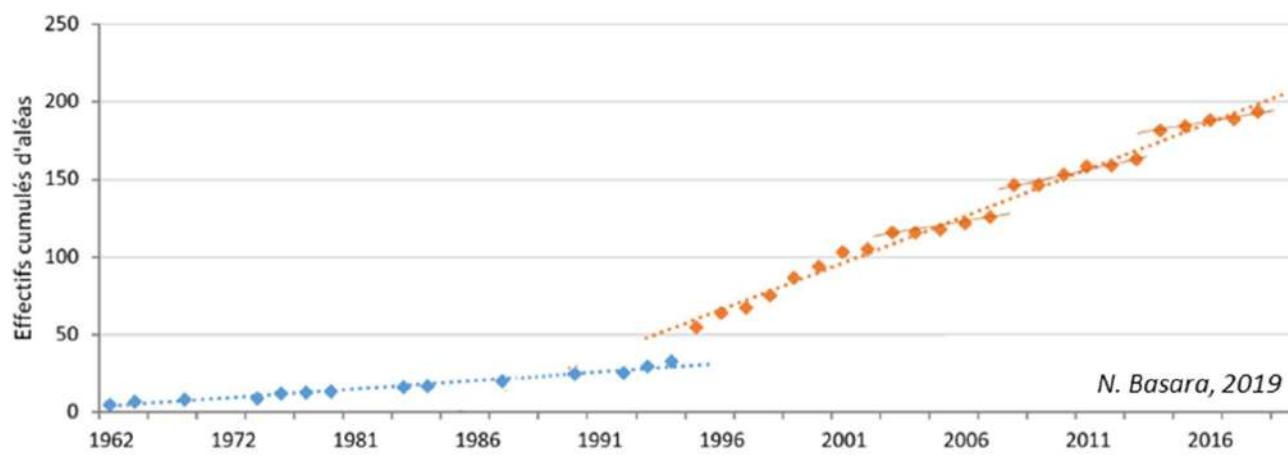


Visite n°3 : Site de Poultréhen - Plozévet

1. Falaises meubles en Bretagne



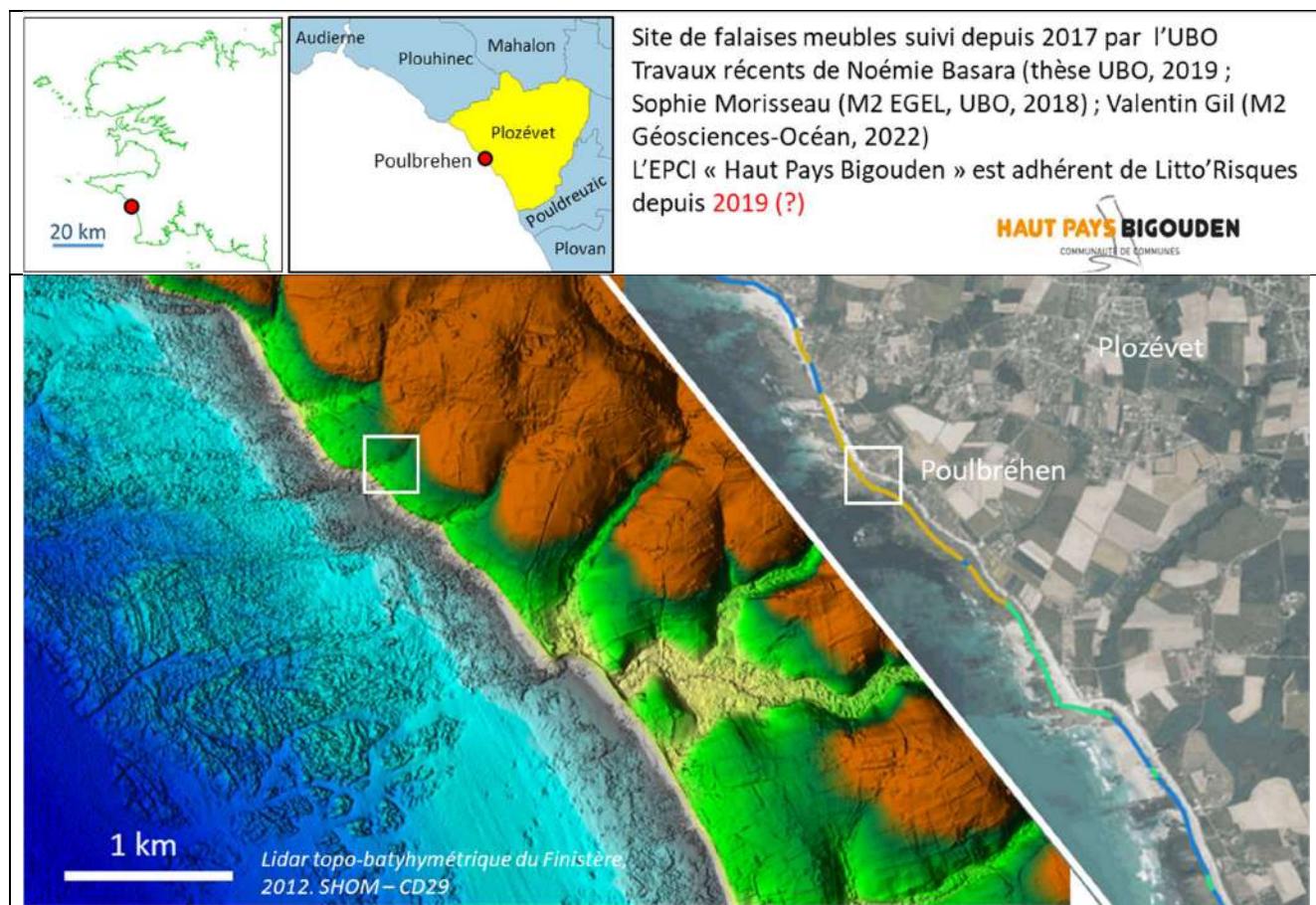
Falaises meubles en Bretagne (Biville, 2004). Typologie et répartition. En Bretagne, le linéaire de côte à falaises meubles est de l'ordre de 20% du trait de côte régional. La typologie actuelle (Basara, 2019) distingue les falaises meubles composites de type RAV (Roche-Altérates-dépôt de Versant) et deux sous-types de falaises simples (V1 : formation de dépôts de versant fins et V2 : formation de dépôts de versant grossiers).



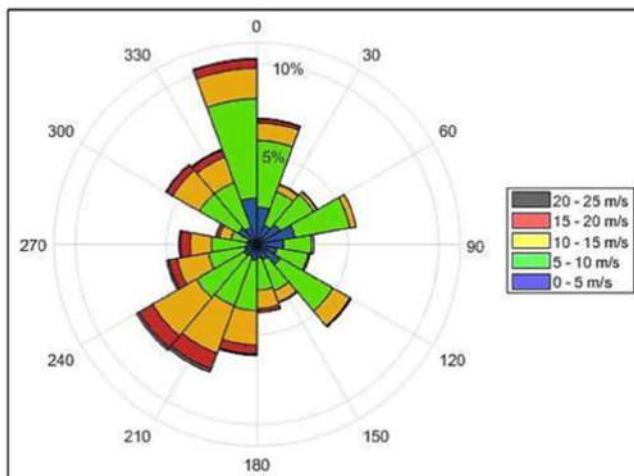
Cumul du nombre d'aléas érosion de falaises meubles recensés en Bretagne entre 1960 et 2018 (Basara, 2019)

https://theses.hal.science/tel-02468907v1/file/These-2019-SML-Geographie-BASARA_Noemie.pdf

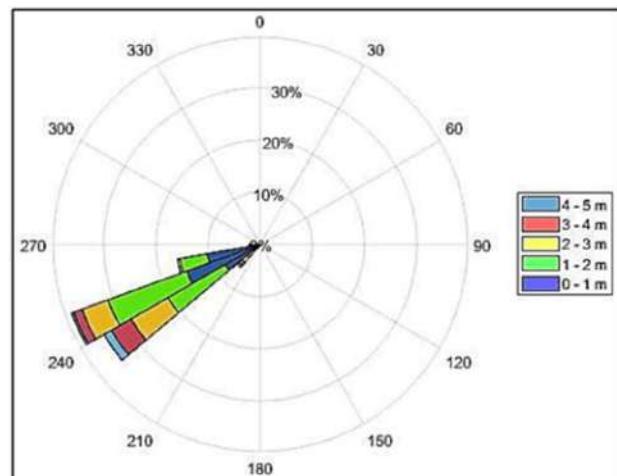
2. Poulbréhen



a. Exposition

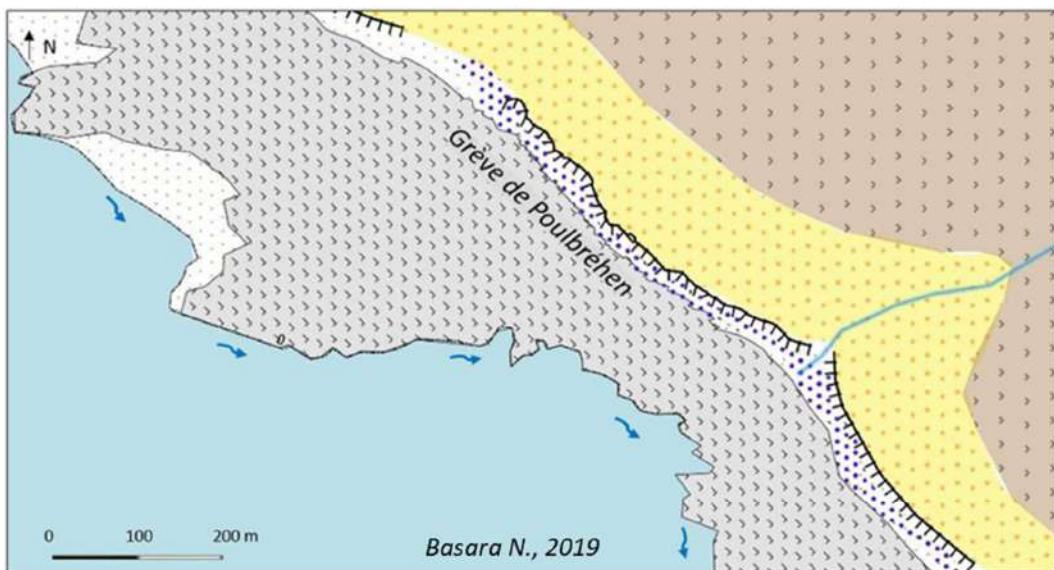


A : Rose des vents (1981-2010) à la station Météo-France de la Pointe du Raz



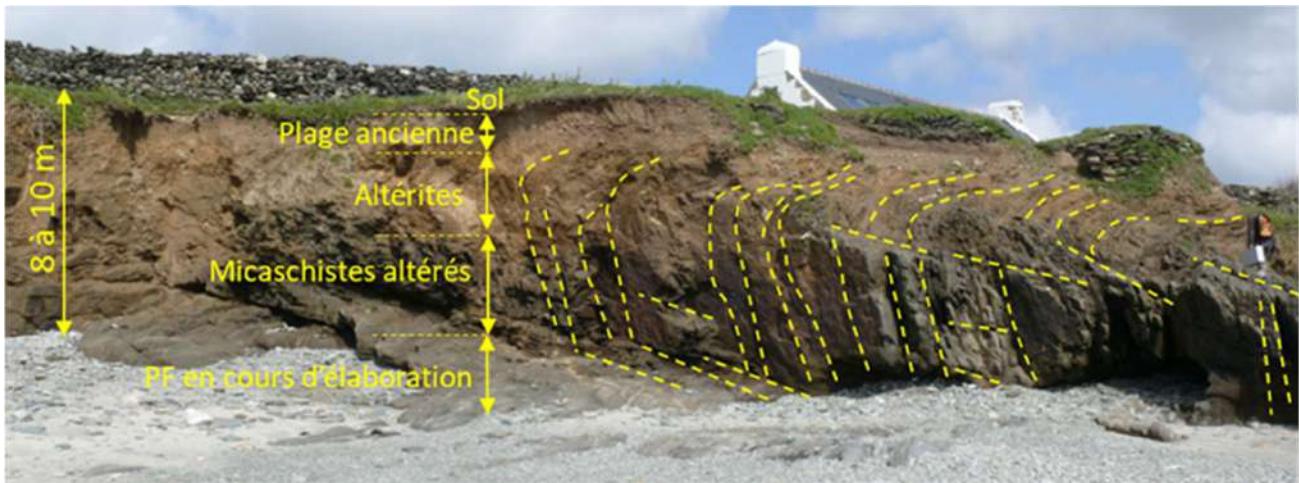
B : Direction moyenne de provenance des houles et hauteur significative à 20 m de profondeur (source : BD HOMERE)

b. Contexte géomorphologique



c. Proximité des enjeux en sommet de la falaise : habitations et sentier côtier



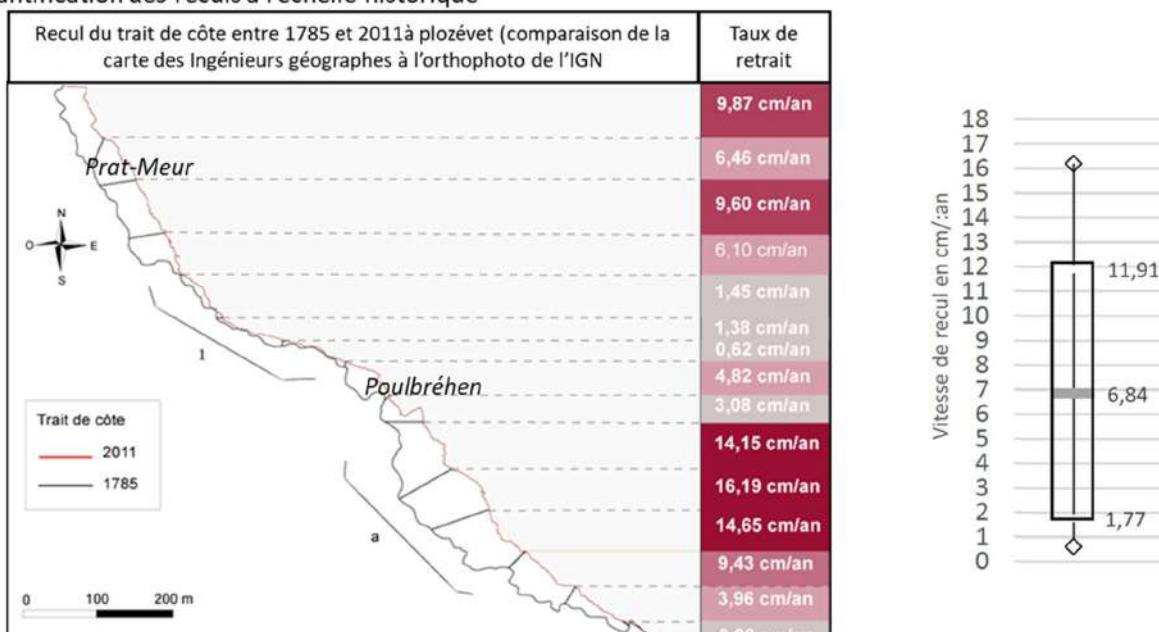


Falaise meuble composite (RAV) :

- Micaschistes et micaschistes altérés
- Dégagement d'une plate-forme d'érosion
- Formations de versant et plage ancienne au sommet

d. Quantification de l'aléa érosion

Quantification des reculs à l'échelle historique



Carte des Ingénieurs géographes vers 1785



Orthophotographie aérienne IGN 2011

Résultats pour l'ensemble du site étudié

	Vitesse de recul	Aires perdues	Volumes perdus
Somme		27087,86 m ²	202210,84 m ³
Moyenne	6,85 cm/an	1805,86 m ²	13480,72 m ³
Ecart-type	5,07	1338,60	9992,68

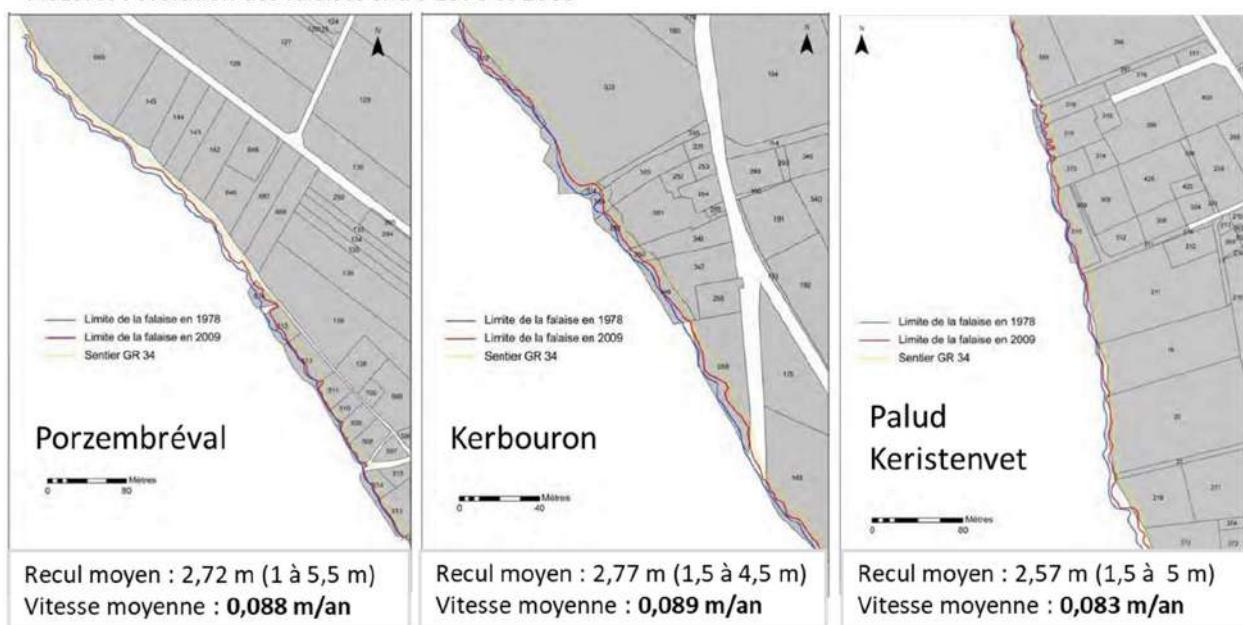
Site	Longueur du linéaire côtier étudié	Marge d'erreur totale
Plozévet	1167,84 m	7,32 m

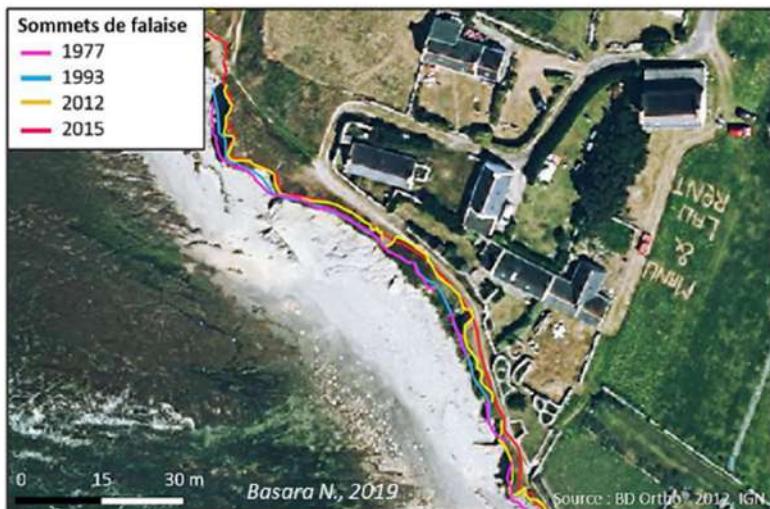
Source : Morisseau S., 2018.

Quantification de l'érosion au cours des dernières décennies



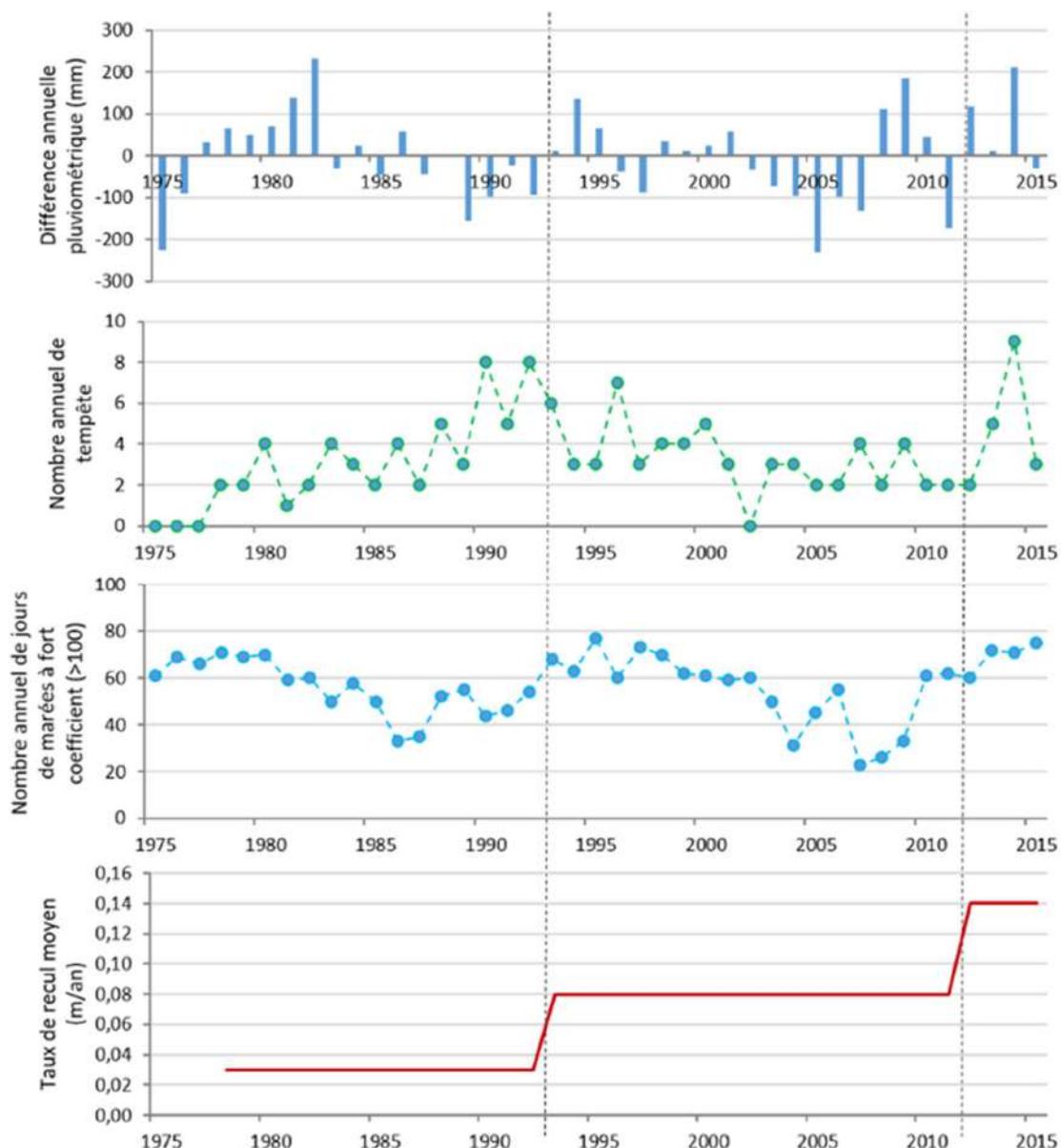
Plozévet : évolution des falaises entre 1978 et 2009





Période étudiée	Durée de la période (années)	Taux de recul (m/an)
1977-1993	16	0,03
1993-2012	19	0,08
2012-2015	3	0,14
Moyenne 1977-2015	38	0,06

Poulbréhen : évolution des falaises entre 1977 et 2015 (Basara N., 2019)



Poulbréhen : analyse diachronique du recul des falaises et de certains facteurs explicatifs du retrait (1977-2015)

(Basara N., 2019)

Quantification du recul sur le temps court (suivi annuel OSIRISC – Litto'Risques)

- Suivi photogrammétrique du front de falaise
- Suivi de l'accumulation de galets

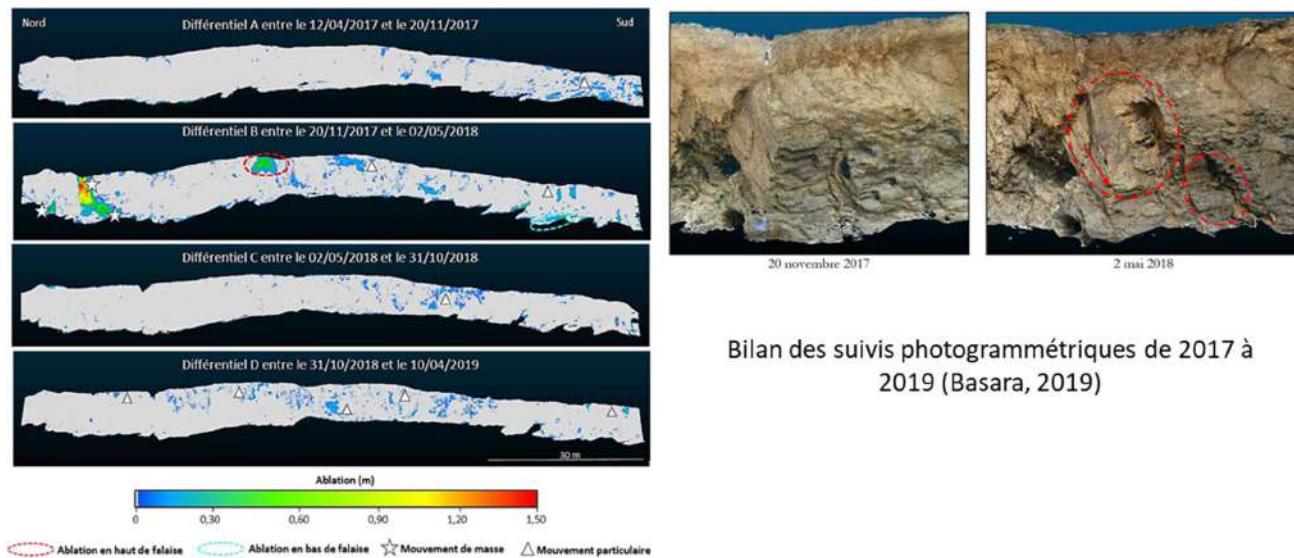
Matériel d'acquisition bas coût et agile

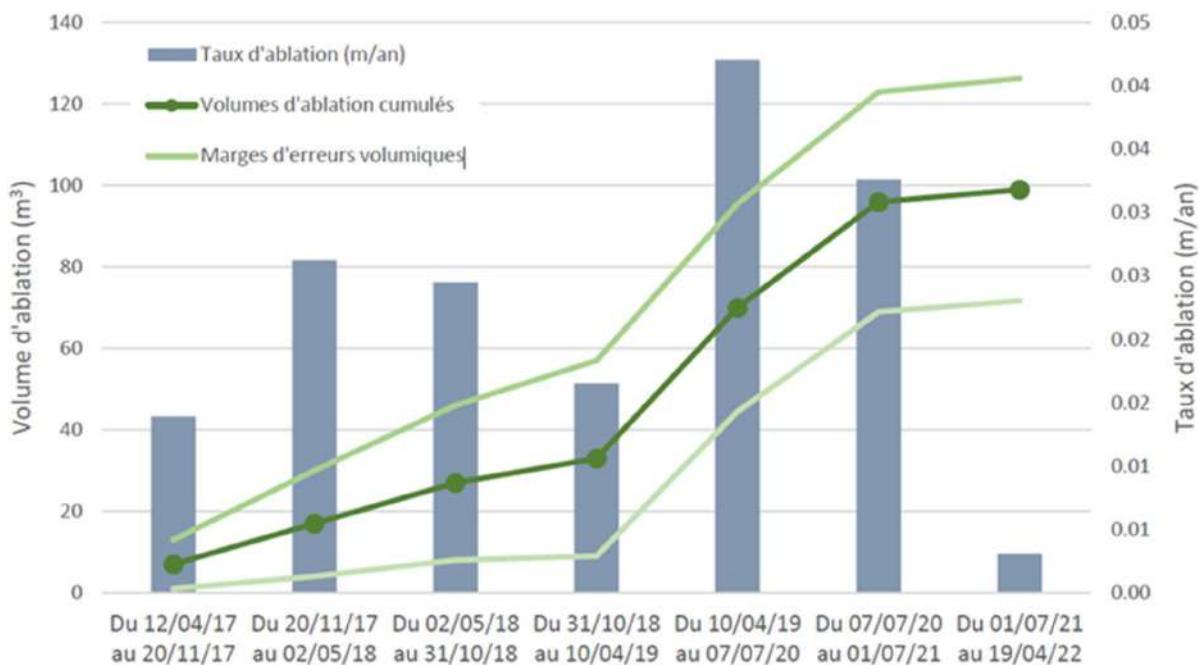
DGPS centimétrrique	Tachéomètre	Laser-scanner 3D
Matière	Matière	Matière
		
Antenne GPS Module RTK-Surveyor Smartphone (4G) SW Maps	Distance-mètre (Leica Disto 910) Tablette ou PC de terrain	RTK GNSS antenna Camera GNSS Mobile mapper

Logos:

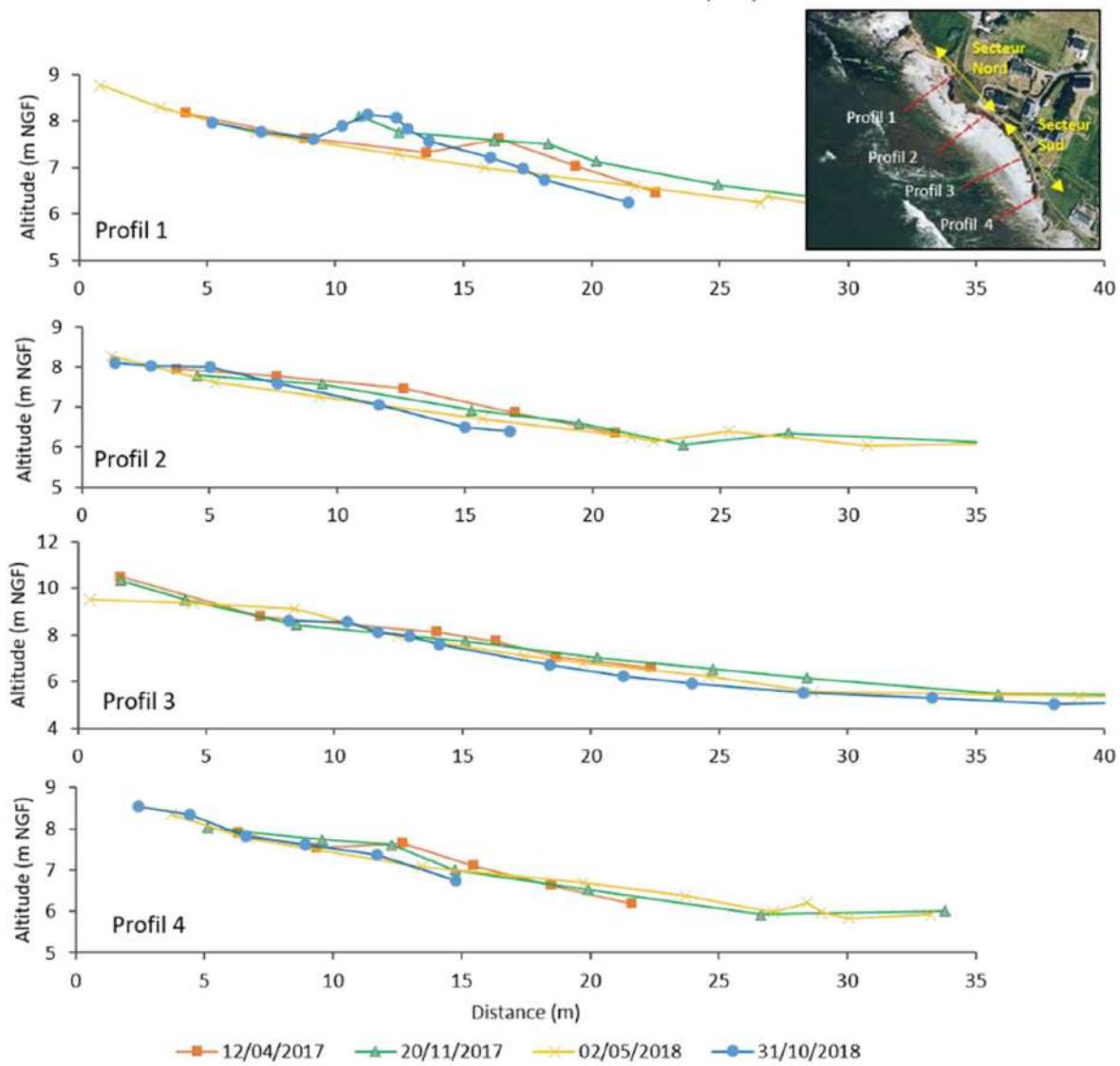
- AGEO
- Interreg Atlantic Area
- Zone Atelier
- ISblue

Evolution d'une partie du front de falaise à Poulbréhen durant l'hiver 2017-2018 (Basara, 2019)





Ablation cumulée et taux d'ablation de la falaise de Poultréhen par période d'observation (Gil V., 2022)



Evolutions des profils de la plage de Poultréhen entre 2017 et 2018
(Basara N., 2019)

Les observatoires OSIRISC et OSIRISC-Litto'Risques

OSIRISC et sa déclinaison finistérienne **OSIRISC-Litto'Risques** sont deux **observatoires des risques côtiers d'érosion et de submersion marines**, mis en œuvre respectivement sur le littoral de la région Bretagne hors Finistère (OSIRISC) et sur celui du Finistère (OSIRISC-Litto'Risques en Finistère). Dans ce département, le déploiement d'OSIRISC est dynamique car porté par le dispositif Litto'Risques associant le Département du Finistère, le **Cerema** et l'**Université de Bretagne Occidentale (UBO)** depuis 2019.

Ces deux observatoires imbriqués territorialement résultent, d'une part, d'interactions anciennes, relativement fréquentes, entre chercheurs de l'université (UBO) sollicités ponctuellement, par les praticiens (communes, EPCI, Départements, Région, DREAL, DDTM, Réserves naturelles...), sur des cas spécifiques de gestion du littoral (érosion, submersion, fréquentation, aménagements, urbanisation...), au sens large, et d'autre part de travaux de recherche menés, eux aussi, de longue date sur ce thème et sur les dynamiques littorales (géomorphologie, aménagement, occupation et usages des littoraux) à l'Université de Bretagne Occidentale. Dans ce sens, plusieurs projets de recherche menés en particulier à l'IUEM se sont succédés ces dernières décennies : projets EROCOVUL 2000-2003 (PRIR Bretagne), ADAPTA-LITT (ADEME) ; COCORISCO 2011-2014 (ANR), OSIRISC (Fondation de France) et Osirisc-Plus (DREAL Bretagne) ; AGEO, 2019-2023 (Interreg) ; ARICO 2020-2023 (ANR France-Québec), projets dans lesquels les praticiens de la gestion des risques côtiers et décideurs ont été progressivement associés aux recherches académiques, ne serait-ce que parce leur territoire était proposé comme territoire d'expérimentation. **Cette ancienneté des échanges et la prise de conscience progressive**

des incertitudes des conséquences des changements climatiques et de l'élévation corrélative du niveau de la mer sur les territoires côtiers ont, au cours des dernières années, renforcé l'intérêt d'une mise en commun des expertises scientifiques et opérationnelles.

1. Les objectifs d'OSIRISC et OSIRISC-Litto'Risques

OSIRISC et OSIRISC-Litto'Risques sont adhérents du **RNOTC** parce qu'une partie de leurs activités intègre le **suivi à long terme des évolutions du trait de côte régional et départemental**. Toutefois, leur vocation commune est de considérer de manière systémique les déterminants de la vulnérabilité globale des territoires côtiers exposés à ces aléas littoraux. L'objectif est d'aller au-delà de la seule approche aléas-centrée des risques côtiers et d'identifier les leviers permettant d'atténuer ou de réduire les risques et de caractériser les freins à l'amélioration de leur gestion et aux prises de décisions.

Si, à l'image des autres observatoires du trait de côte, la connaissance des caractéristiques des aléas est bien prise en compte par la mise en place de suivis du trait de côte et des submersions, il s'agit conjointement de comprendre les capacités de réponse des sociétés aux crises potentielles par l'adaptation et leur capacité de résilience. Aux suivis des aléas s'additionnent, pour les observatoires OSIRISC et OSIRISC-Litto'Risques, des objectifs de suivi des composantes anthropiques des risques. Celles-ci concernent l'évolution des enjeux exposés sur un territoire concerné par l'érosion et la submersion. Elles s'intéressent conjointement aux dispositions juridiques et réglementaires sur lesquels s'appuient chaque territoire pour définir une politique et des moyens de gestion de ces risques. Enfin, elles

interrogent la façon par laquelle ces phénomènes sont appréhendés (ou non) par les populations, que ce soient par les habitants, des résidences principales ou secondaires, par les décideurs et par les gestionnaires. Par conséquent, l'observation pratiquée par OSIRISC et OSIRISC-Litto'Risques en Finistère vise, à travers l'acquisition de séries de données, à suivre, sur le long terme, les trajectoires de vulnérabilité des territoires face aux aléas côtiers, afin de pouvoir disposer d'une vision globale, spatialisée et régulièrement actualisée, des leviers sur lesquels une stratégie de gestion durable des risques et une vision à long terme du littoral peut s'appuyer. Si cette observation, singulière au regard des pratiques classiques d'observation du trait de côte, nécessite une approche académique interdisciplinaire, elle prend tout son sens dans l'intégration et l'implication des praticiens à la démarche.

2. Des observatoires collaboratifs

Pour progresser vers cet objectif de suivi, OSIRISC et OSIRISC-Litto'Risques ont, entre autres, développé des **modalités collaboratives d'observation**. Ce type d'observation est fondé sur la collaboration entre chercheurs et praticiens de la gestion des risques côtiers au sens d'une **contribution des praticiens à la démarche d'investigation des recherches académiques** dans laquelle l'observation à long terme est indispensable, mais ne peut être limitée qu'à un échantillon réduit de cas considérés comme représentatifs de la diversité des situations. **Réciproquement, elle s'appuie sur une contribution des chercheurs à la recherche de réponses à des questions opérationnelles de gestion des risques** sur les territoires administrés où les situations sont multiples, diverses et nécessitent l'exploitation de données préalables qui font souvent défaut.

La démarche s'appuie d'abord sur un état des lieux partagé entre chercheurs et praticiens de la gestion des risques côtiers. Etat des lieux dans lequel, entre autres, les réponses

traditionnellement apportées à la gestion des risques côtiers : i) apparaissent illusoires, exacerbant localement les aléas et sont donc nécessairement coûteuses ; ii) apparaissent, quoi qu'il en soit, inadaptées au contexte de littoralisation en cours et aux perspectives d'évolution à venir du niveau marin et de la ligne de rivage ; iii) s'inscrivent de moins en moins bien dans les attentes de la Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de Côte (SNGITC) et sa déclinaison prescrite sur les territoires par la mise en œuvre de Stratégies Locales.

Les objectifs, scientifiques d'une part, et opérationnels d'autre part, ne sont certes pas nécessairement toujours identiques. Cependant, l'information à acquérir préalablement pour les atteindre est a priori équivalente. Dans cette perspective, l'implication des chercheurs et des praticiens dans l'acquisition des données dépasse les travaux juxtaposés et les seuls échanges sur une thématique commune. Elle conduit, d'un côté, à une meilleure appropriation des concepts du fonctionnement des littoraux, des risques et de la vulnérabilité systémique et s'accompagne d'une montée en compétence méthodologique et technique des gestionnaires ; elle confronte, d'un autre côté, les chercheurs à des cas concrets d'application de ces concepts et dans ce sens, étend nécessairement les champs de l'analyse et accroît l'échantillon des situations prises en compte. Elle suppose toutefois une adhésion des parties prenantes (élus, gestionnaires-praticiens, chercheurs), une organisation et une coordination pour l'acquisition et l'actualisation des séries d'observation partagées pour des objectifs de recherche et d'opérationnalisation. Elle conduit également au développement d'outils spécifiques permettant le partage et la bancarisation des données ainsi que leur analyse. Une importance particulière est donc accordée au préalable au partage des concepts et des principes de l'observation, à la **co-réflexion** et la **co-construction entre chercheurs, élus et gestionnaires des méthodes et des outils**.

d'observation, d'analyse des risques et de la vulnérabilité systémique ainsi que d'aide à la décision.

Lors de ces Journées, sont présentés les **dispositifs** mis en œuvre dans le cadre des deux observatoires OSIRISC et OSIRISC-Litto'Risques en Finistère pour l'**observation collaborative**, puis le contexte spécifique du littoral régional et départemental et les

connaissances disponibles sur les aléas et les risques côtiers. Sont exposés ensuite les principes sur lesquels sont fondées les acquisitions des séries d'observations menées. Enfin, l'exemple de la mise en œuvre effective de l'observation collaborative dans le cadre du partenariat Litto'Risques est détaillé, ainsi que le fonctionnement de ce modèle transposable sur d'autres territoires.

OSIRISC : co-design of an integrated observatory to monitor vulnerability to coastal risks of erosion and marine flooding in Brittany

Nicolas Le Dantec¹, Marion Jaud¹, Alain Henaff², Iwan Le Berre², Catherine Meur-Ferec², Quentin Ruaud¹, Mathias Rouan², Julie Pierson², Caroline Lummert¹, Manuelle Philippe³, Thibaud Lami², Pauline Letortu², Elisabeth Guillou⁴, Serge Suanez², Sylvain Lendre⁵

¹ UMR 6538 GeoOcean, University of Brest-CNRS, Institut Universitaire Européen de la Mer, Rue Dumont d'Urville, 29280 Plouzané, France (e-mail: marion.jaud@univ-brest.fr; nicolas.ledantec@univ-brest.fr; quentin.ruaud@univ-brest.fr).

² UMR 6554 Littoral-Environnement-Télédétection-Géomatique, University of Brest, CNRS, Institut Universitaire Européen de la Mer, Rue Dumont d'Urville, 29280 Plouzané, France (e-mail: alain.henaff@univ-brest.fr; iwan.leberre@univ-brest.fr; catherine.meurferec@univ-brest.fr; mathias.rouan@univ-brest.fr; julie.pierson@univ-brest.fr; pauline.letortu@univ-brest.fr; serge.suanez@univ-brest.fr).

³ UMR 6308 Amure, University of Brest, CNRS, Institut Universitaire Européen de la Mer, Rue Dumont d'Urville, 29280 Plouzané, France (manuelle.philippe@univ-brest.fr).

⁴ EA 1285 LP3C, University of Brest, 29238 Brest cedex 3, France (e-mail: Elisabeth.Guillou@univ-brest.fr).

⁵ CEREMA, Direction Eau Mer et Fleuves, 134 Rue de Beauvais, 60280 Margny-lès-Compiègne, France (sylvain.lendre@cerema.fr).

Table of content

1. Introduction

OSIRISC (French acronym for "ObServatoire Intégré des RISques Côtières en Bretagne") is an integrated observatory addressing coastal risks of coastal erosion and marine flooding in Brittany.

The coastal zone has become very attractive over the last century, for the numerous amenities it offers. It now concentrates many infrastructures, economic activities, residential housing and a large population. At the same time, it is a dynamic zone, as the coastline is in constant evolution at different time scales, from storm events to seasonal and to multi-annual (including under the effect of climate change), in addition to longer time scales of coastline evolution, in relation to sea-level change. Coastal forms are continuously being reshaped according to the geomorphological response of coastal environments subject to varying marine and subaerial conditions, and to sediment erosion and deposition dynamics. Natural coastal environments are classified into different geomorphological types depending on whether their primary features were created by erosion of land (erosional coast) or deposition of eroded material (depositional coast). Erosional coasts include the wave-cut platforms as well as rocky and soft cliffs. Cliffs can only retreat under marine erosion, subaerial weathering and continental processes while wave-cut platforms are shaped both through the evolution of their width and the downwearing of their surface. Depositional coasts include low-lying accumulations of shingle, gravel or sand forming barrier beaches and dunes on exposed environments. Phases of retreat of the coastline can alternate with beach and dune recovery as

sediments are transported in cross-shore and alongshore directions due to the action of waves and currents, as well as aeolian processes on the exposed sandy beach and dune, giving rise to circulation patterns at the spatial scale of littoral cells.

Finally, finer sediments are deposited in sheltered conditions in estuaries, tidal mud-flats or lagoons. Parts of the coastlines have been artificialized, either with coastal defences to protect against the sea or with harbour infrastructures. The coastline itself, meant to represent the limit of the marine and continental domains, is usually defined according to a morphological marker such as the top of a cliff or the foot of a dune, or to an elevation with respect to a vertical reference, such as the mean sea level or the maximum astronomical tide. The unstable nature of the coastal zone brings about 3 types of geohazards: coastal erosion, marine flooding and coastal dune migration. We will only consider the first 2, as the dune migration concerns nowadays only very few areas in Brittany and is often identified as coastline retreat.

- Coastal erosion is the loss of sediment, which eventually results in the recession of the coastline and therefore a loss of land to the sea (Figure 1). Approximately 1/5 of the French coastline is affected, to varying degrees, by coastal erosion (Cerema, 2018). In the long term, it is a continuous process, with periods of more or less rapid retreat. Coastal erosion can be impacted by various factors including climate (sea-level change, frequency of occurrence of storms, wind regimes), topography, vegetation, tectonic activity, but also human activity (over-frequmentation, sediment extraction, river dams, sea defence structures, urbanization close to the coastline leading to surface runoff, etc.).



Figure 1: Coastline recession visible by comparing two aerial images from 1952 (coastline digitized in red) and 2021 (coastline digitized in green). Location: Ploudalmézeau and Lampaol-Ploudalmézeau, Finistère department, France (modified from: [IGN - « Remonter le temps » website](#) - © IGN).

- Marine flooding is the inundation of the continental part of the coastal zone by the sea during unfavourable meteorological and oceanic conditions (low atmospheric pressure, strong landward winds, storm surge and waves, and for macrotidal seas, during high tide) (Figure 2). Three modes of marine flooding are generally distinguished:
 - i) flooding by overflows (when the sea level is higher than the crest of the sea defence structures or the natural ground);
 - ii) flooding due to wave overtopping (when the instantaneous wave height at the coastline exceeds the crest of the sea defence structures or the natural ground);
 - iii) and flooding due to failure of a sea defence system.



Figure 2: Marine flooding by wave overtopping in Penhors (Audierne Bay, Brittany, France) in 2016.

Coastal erosion and marine flooding hazards can cause severe damage or losses to properties and infrastructures worldwide. Human lives may also be lost in dramatic flood events, such as the Xynthia storm during winter 2010 (Vinet et al., 2012) on the French Atlantic coast. In France, risk management policies consider coastal erosion as a slow and continuous process. However, during a single intense coastal event, the coastline can retreat several metres in a few hours and even up to tens of metres locally (Hénaff et al., 2013). Unlike other natural geohazards associated with sudden processes like earthquakes - where early-warning systems and crisis response plans under the responsibility of civil protection services are a large part of risk reduction policies - prevention of coastal erosion risks focuses mainly on land-use planning and mitigation measures to control or stop coastline retreat. These risk mitigation measures take many forms, ranging from active defence with hard engineering protection (seawalls, riprap, etc.) to other approaches such as beach replenishment or sediment bypass that attempt to prevent or slow down coastal retreat without shoreline stabilization. Alternative strategies of risk reduction through adaptation, consisting in relocating exposed elements when possible, are now actively being promoted, although their application requires a change in paradigm for all stakeholders until they become accepted. Risk prevention policies against marine flooding are also relying on protection with coastal defences and regulations on urban planning, as well as the development of a risk culture as marine flooding can occur in catastrophic ways, in case of breeching of protection systems. Again, relocation strategies are considered but their implementation remains limited. While coastal erosion and marine flooding hazards are treated differently in terms of regulations framework for risk management (mainly because financial compensation of losses due to marine flooding is on public funds, which is not the case for losses due to coastal erosion), they are often interrelated and difficult to dissociate in practice.

Risk being the combination of hazards and exposure, the main driver in the increasing trend in coastal risks is in fact coastal urbanisation and anthropic actions causing perturbations in the sediment fluxes. This is measurable through the increase of damages reported due to coastal hazards in historical records and in particular over the last decades (Hénaff et al., 2018). The appeal for coastal environments has led to a major growth of exposed elements in areas subject to coastal hazards (Figure 3). The upcoming of sea-level rise and changes in wave climate induced by climate change will exacerbate coastal hazards of erosion and flooding. In this context, long-term, sustainable strategies of coastal risks management are needed because the addition or reinforcement of coastal defences not only fails to address the main cause of risk, the exposure, but also to restore equilibrium in the sediment budget and even prevents the natural resilience of the coastal system through coastline recession.



Figure 3: Evolution of the coastal urbanisation in Île-Tudy (Brittany, France) images from 1950 and 2021. (GeoBretagne 1950' website).

Results from interdisciplinary research studies on coastal risks have led us to progressively develop an integrated approach combining natural phenomena (hazard) and structural (socio-economic, cultural, functional, institutional) factors, within a conceptual framework of systemic vulnerability (Hénaff and Philippe (Eds), 2014). Following prior work such as D'Ercole (1994), this approach reflects the level of fragility of a socio-economic system as a whole in the face of risk, and the ability of society to respond to potential crises through adaptation and resilience. Instead of considering vulnerability and hazards separately, systemic vulnerability is the combined outcome of 4 inter-related components: the hazards, the significance and nature of the exposed elements, the management responses to address risks and the social representations of risks (Figure 4). In this approach, all 4 components are assessed independently to generate indicators. Interrelations between the components are taken into account when combining indicators into indices. Exposed elements or exposure refers to assets (human, economic, structural, etc.), measured independently of their level of exposure to the hazards. Risk management comprises the public policies of risk protection, prevention and adaptation and their application at local scale by authorities in charge of coastal risks. Social representations address the perception people have on risks (awareness, relationship to the place they live, preferences for adaptation to risks, understanding and acceptability of management policies, etc). These latter two components are the resources and levers available to cope with risks and its resulting impacts (Meur-Ferec et al., 2020). While increasing hazards and exposure will increase vulnerability, management is meant to reduce vulnerability. The influence of social representation on vulnerability is more difficult to characterize, as risk perception does not necessarily lead to behavioral changes acting towards reducing vulnerability. Rather, better understanding of how people who occupy a territory (as inhabitants or having activities in the territory, or being in charge of it) think about risks will bring insight on behaviors, which can help towards defining risk management strategies that may be better accepted.

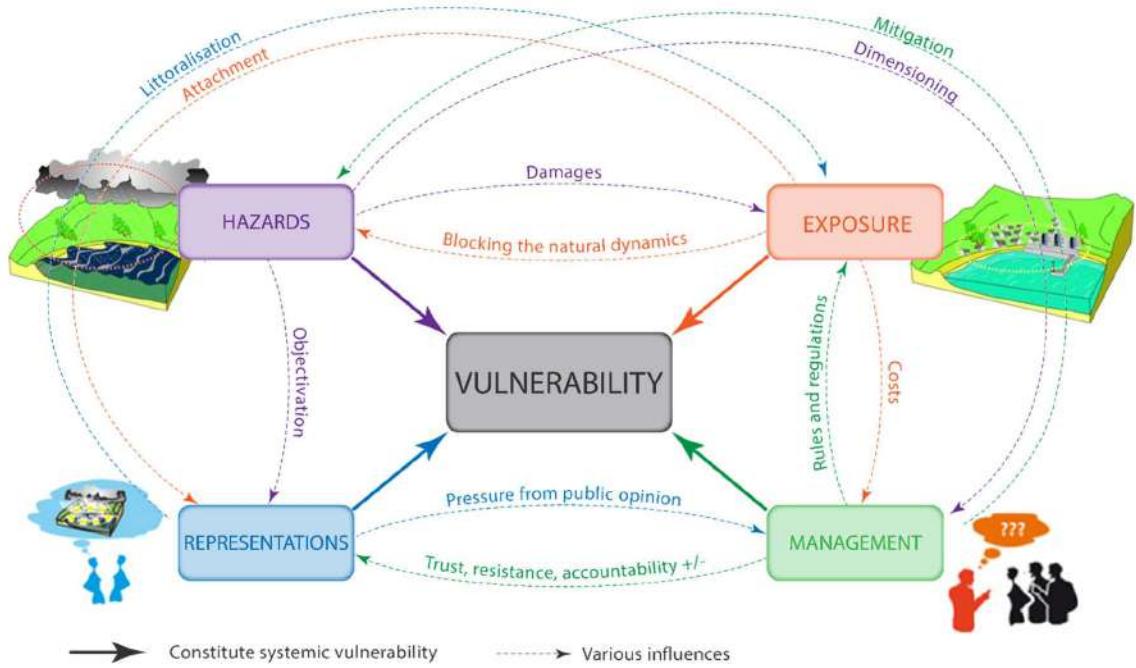


Figure 4: The four components of systemic vulnerability, their interrelations and the nature of their contribution to systemic vulnerability (Meur-Ferec et al., 2020; modified).

As these four components evolve over time with their own temporalities, systemic vulnerability is dynamic as well. Beyond establishing systemic vulnerability diagnosis, monitoring trajectories of vulnerability over time, as a result of the evolution of the different contributing factors, through regular assessments, will improve our knowledge on coastal risks and help defining management strategies. The constitutive variables of each of the four components of vulnerability also vary over space, which raises the questions of the relevant size of territory, scale and granularity for the assessment of integrated (or systemic) vulnerability. A methodology based on indicators has been developed to evaluate systemic vulnerability (Philippe and Hénaff, 2021). Each of the four vulnerability components is approached using methods and tools specific to the corresponding scientific disciplines (geology, geography, law, environmental psychology ...). The results can be presented in quantitative or qualitative form depending on the components. Thus, hazards and most of the elements-at-risk are measured via numerical data, whereas data on management and risk perception is collected via surveys using questionnaires and face-to-face interviews, and producing text information. Hazard, exposure and management data are converted into calibrated indicators. Results derived from social representation data are transcribed into textual form, providing contextual elements on the studied sites (Philippe and Hénaff, 2021). The production of indicators from the collected data is further described in section 4.2.

This conceptual framework for an interdisciplinary monitoring system to promote integrated coastal risks management, in close relation with risks prevention stakeholders and decision-makers, was first implemented on test territories (Philippe and Hénaff, 2021; Le Berre et al., 2022). Following this development and experimental phase, OSIRISC observatory (Figure 5) was created in Brittany in 2019, with this focus on “vulnerability” to coastal risks, and the dual goal to respond to scientific issues and societal demands through co-design and collaborative observation. In this chapter, we will first describe the territory where OSIRISC observatory is deployed, the objective of this collaborative observatory and the data handled in OSIRISC. We will then present the achievements of OSIRISC

regarding the development of applications and platforms of citizen science, before discussing the interaction with stakeholders within OSIRISC observatory and the links with risk management.



Figure 5: OSIRISC observatory logo.

2. Site description

The coastline of Brittany is 4,324 km long when including islands, islets and rias, and very convoluted. Brittany exhibits a variety of coastal types: low sandy and pebble beaches, rocky coasts, soft cliffs and deep rias (Figure 6). Although 3 main provinces can be distinguished, with a low-lying Southern coast, mainly soft cliffs on the Northern coast and rocky cliffs on the Western coast, the spatial heterogeneity of the coastal geomorphology is very high, with a succession of small stretches of coastline of different types. There is also a wide variety in the configurations owing to the spatial variations in coastal topography, tidal range, exposure to swells, fetch and sedimentary cover.

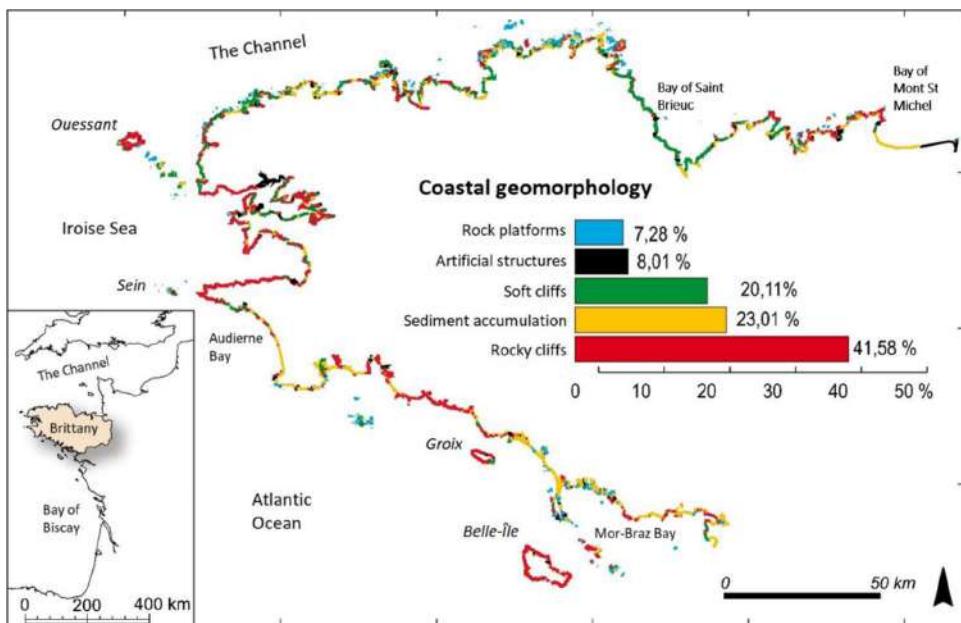


Figure 6: The various coastal types in Brittany (from the Programme de recherche d'intérêt Régional « EROCOVUL » - 2003).

Overall, erosion concerns 6% of Brittany's coastline, according to a study based on diachronic analyses of ortho-photographs between 1950 and 2011 (Cerema, 2021). This is lower than the national average, nevertheless, locally, some sites show retreat rates over 0.5m/year (Figure 7). Accumulations of sand and pebbles represent about 24% of the region's shoreline. These are certainly the most monitored shorelines because of their relatively rapid dynamics and the many issues exposed behind. A specific analysis of changes in the shoreline of sand and pebble accumulations between 1950 and 2011 reveals that a third of them are in progradation, another third is in erosion and the remaining third is stable during the period (Figure 8).

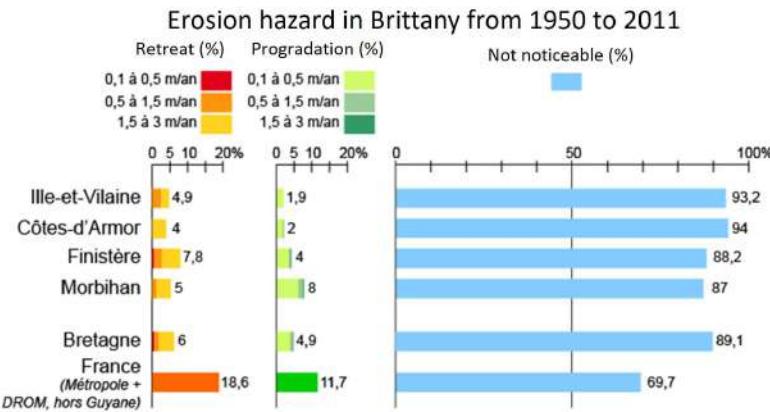


Figure 7: Assessment of coastline trends in Brittany after Cerema (2021) and Hedou (2018).

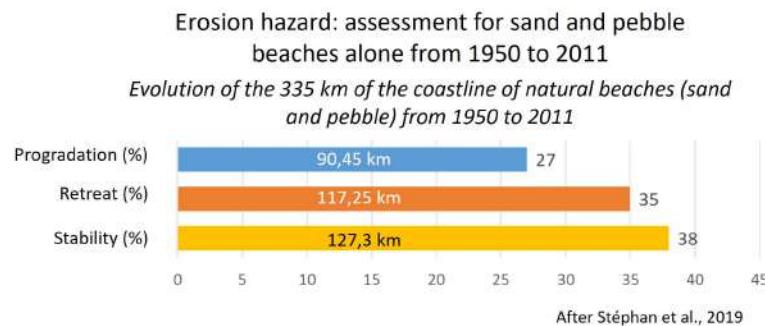
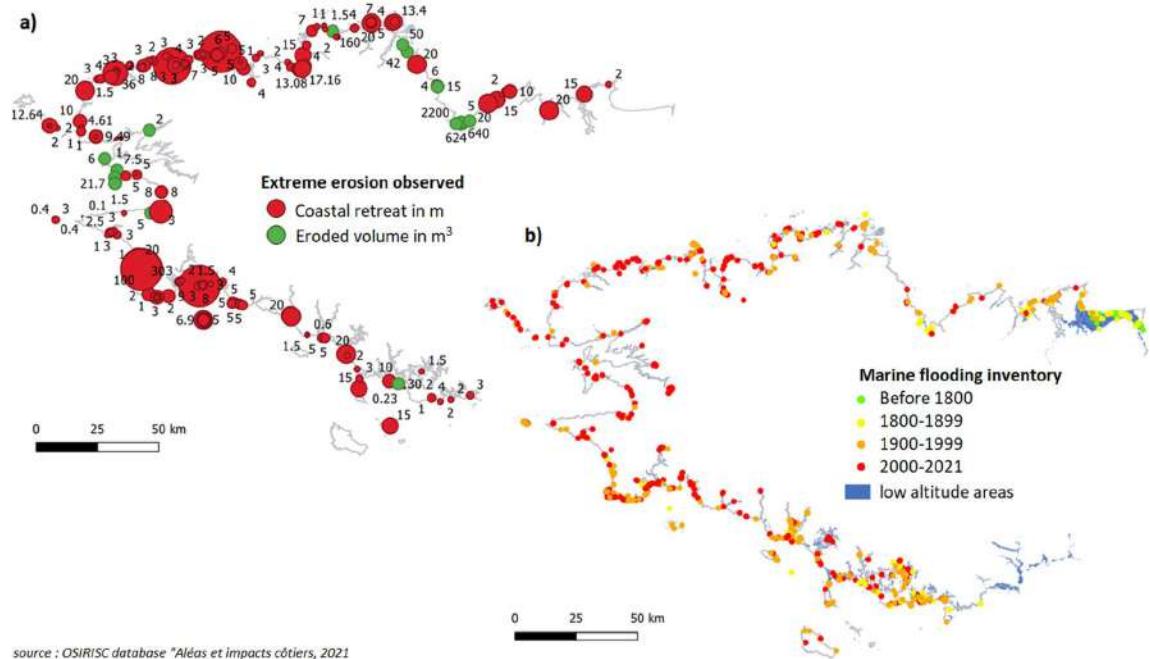


Figure 8: Results of the diachronic analysis of the coastline of beaches from 1950 to 2011 in Brittany (after Stéphan et al., 2019).

The damage produced during the historical period by coastal erosion and marine flooding (and also dune migration) on exposed territories is an indirect indicator of the growth of coastal risks in Brittany. The inventory of the damage observed since 1750 to the nowadays represents some 8000 facts spread over the whole region with some more frequently affected coastal areas. Diachronic analysis of hazards does not show any real growth in magnitude or frequency of occurrence of hazards during the historical period. This inventory shows periods of high activity of natural or anthropogenic hazards followed by quieter periods. If inter-annual fluctuations do exist in magnitude or frequency of hazard occurrence according to these periods, it appears that the observed increase in damage results mainly from the exposed elements that have continued to be developed in the coastal territories (Hénaff et al., 2018). The impacts of the most devastating hazards on the coasts are thus identified and they also allow to identify locally, when observed, the values of maximum shoreline retreat (Figure 9a). Combined with the average rate of shoreline retreat, this value is crucial for defining future coastal positions. It integrates the impacts of extreme events and allows stakeholders to obtain more reliable assessments of future positions of the shoreline than the only average rate of evolution. This is necessary in order to define a coastal risk management strategy that includes planning of prospective and future management of the coastal territory. Marine flooding mainly affects low-lying areas. Historically, an average of 8.7 incidents of marine flooding per year have been recorded from 1790 to 2021 (22% due to overtopping, 15% due to overtopping and destruction of coastal defences, 5% due to breach of the barrier beach, 45% unspecified (Chaumillon et al., 2017) (Figure 9b).



source : OSIRISC database "Aléas et impacts côtiers, 2021"

Figure 9: Extreme coastal erosion observed (a) and recorded marine flooding events (b) in Brittany (source of the data: OSIRISC database "Aléas et impacts côtiers", 2021 (Chaumillon et al., 2017)).

The Breton coastline counts 257 municipalities, with a combined surface area of 4,874 km², or 18% of the region's surface area. According to the 2017 census by the French National Institute of Statistics and Economic Studies, the total population of coastal municipalities is 1.16 million inhabitants, representing 36 % of the Breton total population. The density of the Breton coastline is 240 inhabitants per km², with the population of the coastal municipalities increasing by 13% from 1975 to 2012 censuses (Poupard, 2017). In addition, the coastal municipalities concentrate 74% of the 235,644 second homes in Brittany (Poupard, 2017). In addition to this population concentration, the Breton coastal municipalities also host economic (fisheries, harbours, tourist facilities, etc.) and structural assets (roads, public establishments, sea defences, etc.) as well as natural (protected areas) or patrimonial heritage (historic or prehistoric sites).

The OSIRISC observatory covers the 257 Breton coastal municipalities. The map in Figure 10 shows the sites for which hazard measurements are (or have been) performed. These measurement sites were chosen either because they are particularly concerned by coastal risks or because they are representative of the evolution of a type of coastal environment. Given the diversity of coastal environments and evolution dynamics, measurement methods must be adapted to each site.

The anticipation of the long-term evolution of the shoreline is mainly based on the analysis of its present and past positions, going back to different periods quite far in time. Hence the importance of having long-term series of coastline measurements.

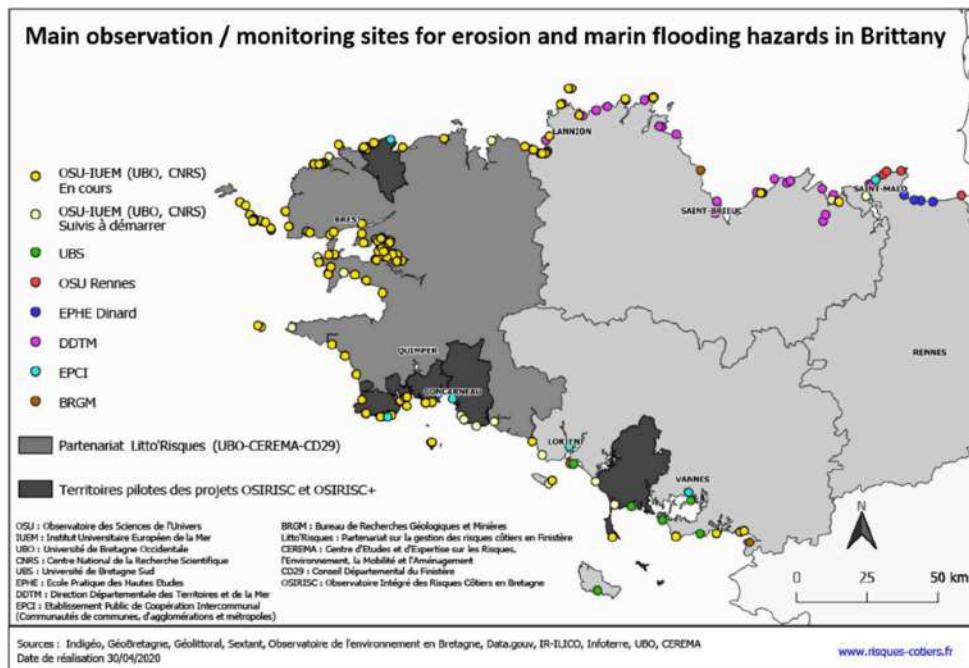


Figure 10: Sites where morphologic surveys of coastal hazards are realized.

3. Objectives of OSIRISC pilot

As previously mentioned, OSIRISC observatory aims to integrate all the dimensions of systemic vulnerability (combination of the four interdependent components: hazards, exposure, management and representations), in close relation with risks prevention stakeholders and decision-makers (*Philippe and Hénaff, 2021*). To understand the evolution of vulnerability, it is necessary to know the evolution of each of the components individually. This means "measuring" each of the components in a territory and monitoring them over time.

To achieve this, OSIRISC has carried out:

- The development of an interdisciplinary observatory methodology for coastal erosion and marine flooding risks by selecting or creating indicators and indices adapted to both research and management;
- Evaluation and consolidation of this indicators approach and methodology through experimentation with local stakeholders on test sites;
- The implementation, within a Spatial Data Infrastructure (SDI), of specific tools for geographic information dissemination and sharing, as well as the study of its contributions toward scientific (improving our understanding of vulnerability to coastal risks) and applied (coastal risks management) objectives.

This approach (Figure 11) is called "integrated" because it allows us to work on the different levers of vulnerability and analyse the determining factors. This will facilitate the identification of the most vulnerable areas where to focus actions, as well as the development of management strategies. This approach also allows for the monitoring of long-term trajectories in order to implement a long-term management strategy (not limited to sensitive areas).

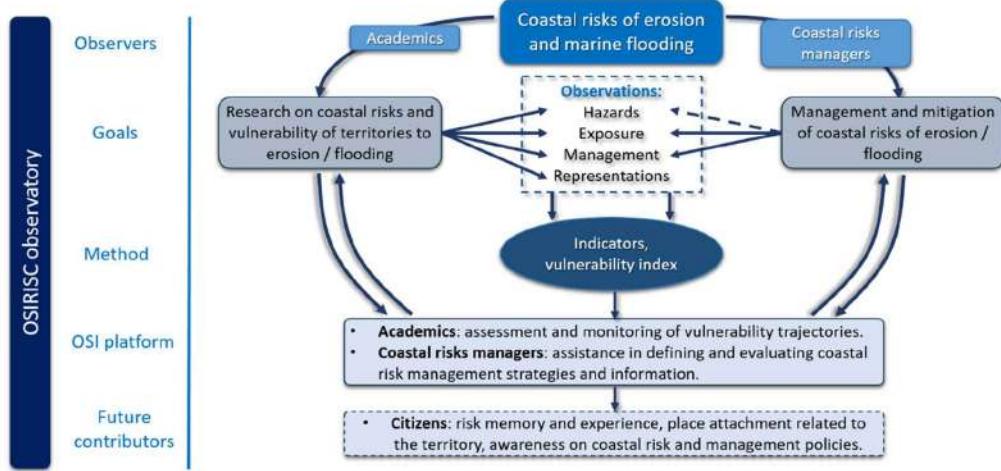


Figure 11: Methodological approach developed in OSIRISC observatory.

Co-construction with local authorities implies providing technical and methodological support for coastal erosion and marine flooding risk management issues (through workshops, expertise, advanced students projects) and carrying out actions to raise awareness of coastal risks and bring together stakeholders. During the AGEO project, the OSIRISC team not only carried out in situ surveys, but also provided training and developed tools (using simple and low-cost measurement protocols, web platforms for data dissemination, etc.) to promote involvement of local authorities in coastal vulnerability observation.

Defining indicators is an essential step to make data of different types and formats compatible and accessible to a wide audience. Further details on this step are given in section 4.2.

The collaboration within OSIRISC observatory between academics and local authorities is effective and was ratified by the Litto'Risques partnership between the University of Brest, the CEREMA (Centre for studies and expertise on risks, the environment, mobility and development) and the Finistère departmental council. Figure 12 shows the map of the territories involved in Litto'Risques. The OSIRISC team hopes to extend this collaboration to other territories in Brittany. Interactions with stakeholders, and specifically local authorities in charge of risk management, are presented in section 6.

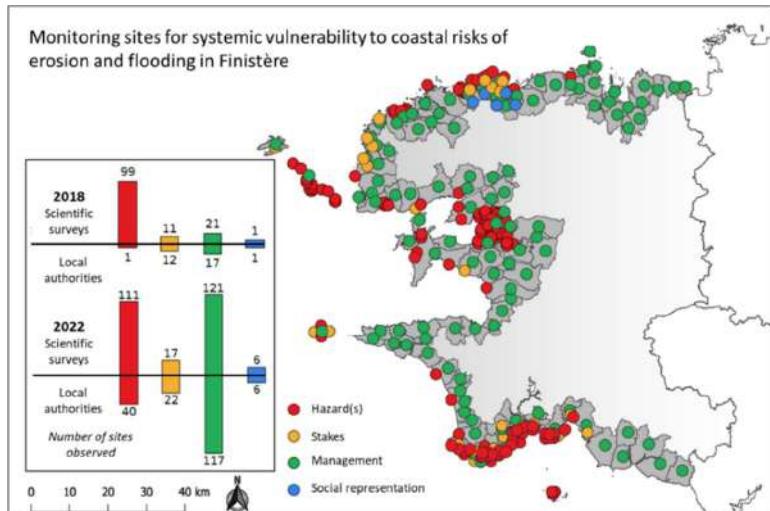


Figure 12: Sites in Finistère where observations are collected on components of the systemic vulnerability to coastal risks of erosion and flooding.

4. Data handled by the pilot

4.1. Combining multi-source data

The OSIRISC observatory is based on multi-source and multi-scale data. Given the surface area of the territory concerned, data at regional level come from existing national or regional databases. Other data are collected in situ, at the local level, by academics or stakeholders. Table 1 summarises, for each vulnerability component, the data on which OSIRISC observatory is based.

Table 1: Data handled by OSIRISC pilot.

Components of vulnerability to coastal risks of erosion and marine flooding			
Hazards	Exposures	Management	Representations
Submersion: <ul style="list-style-type: none"> - Extreme water levels probabilities - Inventory from municipal archives and newspapers - Flooding benchmarks Erosion: <ul style="list-style-type: none"> - Historical aerial/satellite photo database - Inventory from municipal archives and newspapers - Topographic measurements - Photogrammetric surveys - Terrestrial Lidar surveys - Collaborative data collected by local managers 	Human exposures: <ul style="list-style-type: none"> - National databases (population, housing, vulnerable populations, infrastructure...) Economic exposures: <ul style="list-style-type: none"> - National databases (jobs, economic buildings, diversity of economic activities, tourism...) Structural exposures: <ul style="list-style-type: none"> - National and regional databases (cultural heritage, coastal works, harbours, road networks, reception capacity, emergency system...) - Local studies (inventory) Agricultural and natural exposures: <ul style="list-style-type: none"> - National and regional databases (protection of natural areas, agricultural areas...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Information provided by the land managers on the type and progress of the management strategy implemented by the territories. (control of urbanization, crisis management, awareness rising, knowledge/expertise, local initiatives...) 	Awareness of risk: <ul style="list-style-type: none"> - Interviews with citizens - Online surveys Evaluation of institutions and collective practices: <ul style="list-style-type: none"> - Interviews with citizens - Online surveys Sense of place: <ul style="list-style-type: none"> - Interviews with citizens - Online surveys

OSIRISC data

Data at regional scale

Data at local scale

From an academic point of view, since 2002, the marine sciences observatory of the Institut Universitaire Européen de la Mer (a Department of the University of Brest) has set up field observation data series on geomorphological evolution of the coastline. The initial objective of this monitoring is directly linked to fundamental research. The aim is to detect a signal of climatic and/or meteorological variations from the long-term morphological and sedimentary changes of the coastal fringe.

The use of modern field measurement techniques (tacheometer, Global Navigation Satellite System - GNSS, total station, Terrestrial Laser Scanner, photogrammetry, etc.) and image processing (aerial or satellite orthophotographs) has facilitated the acquisition of topo-morphological data of the coastal domain with a better accuracy, on more sites and at a higher frequency. Some of these technologies are now more widely available thanks to the emergence of low-cost instrumentation devices (Centipede collaborative GNSS network, distance meters), allowing data acquisition by managers-practitioners or student trainees (Figure 13).

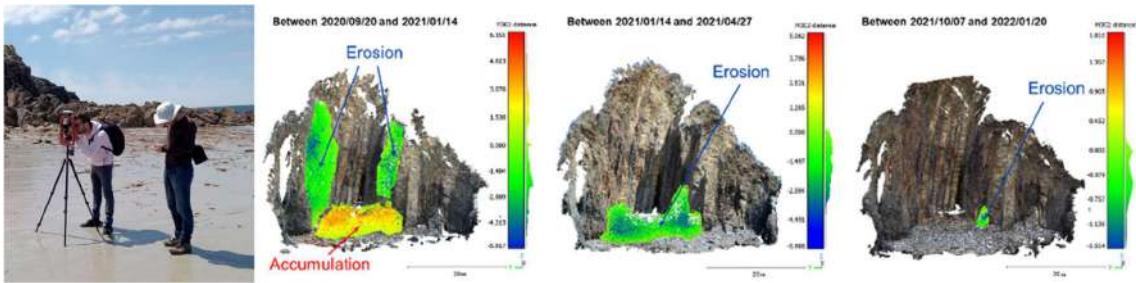


Figure 13: Example of cliff erosion (between September 2020 and January 2022) measured with a photogrammetric low-cost system (Tromel cliff, Brittany, France).

Observations are now collected at around 50 sites throughout Brittany, with several research laboratories contributing to the data acquisition efforts. Since 2014, some of the monitored sites have been integrated into the DYNALIT National Observation Service (SNO) labelled by the INSU CNRS. Similarly, several partners (local authorities, other stakeholders) produce data, either on their own or via contractors, particularly within the framework of the OSIRISC-Litto'Risques Observatory in Finistère.

Today, the aim of this monitoring program is also to meet a societal demand for applied research, especially since more than 70% of these survey operations are financed by local authorities. The aim is to compile a series of data on the evolution and morphology of the coastline to support local stakeholders in their coastal management and development policies. A final objective is to produce sufficiently long and relevant data series for the calibration of existing models in the field of engineering (1D and 2D models of beach evolution).

In France, data on exposed elements are increasingly rich and accessible via national reference databases. This makes it possible to have homogeneous information throughout the Breton territory and to reduce the very time-consuming recourse to field surveys.

Data for indicators on the management implemented in each territory are collected partly via information available on the Internet, and partly by individual surveys of technical staff in charge of risk management among local authorities. This implies close collaboration with local authorities.

Risks representation is the component for which it is most difficult to formalise information, as it involves psychosociological concepts. No pre-existing data is available for this component. Data is collected through individual surveys carried out among people who live (and work, play, ...) in the studied municipalities. Several means of communication were used to encourage people to answer an online questionnaire (town hall websites, tourist offices, Facebook pages, associations, schools, posters in the municipality bulletin boards, etc.).

4.2. Creating indicators and indices

The indicators produced within OSIRISC observatory are a harmonised, numerically rated transcription of quantitative and qualitative data, allowing for the combination of multi-source data on the different components of vulnerability (Le Berre et al., 2022). Thus, for each component of vulnerability (hazards, elements-at-risk, management and representation) and for each type of observation, the indicators were defined with a calibration to provide a rating on a scale from 1 to 5.

These indicators are calculated spatially, at the scale of the territory where the data is available (see Table 1), on a grid defined to be compatible with the national databases. While the initial grid cell

size was 200 m, which guarantees the anonymity of personal data, many indicators are now produced on grid sizes from 50 m to 800 m. Each indicator is accompanied by a descriptive datasheet specifying its role (what the indicator means), the data sources and possibly their quality, as well as the protocol for filling it in, calibrating it into five categories and the time step for updating the indicator (Meur-Ferec et al., 2020; Le Berre et al., 2022).

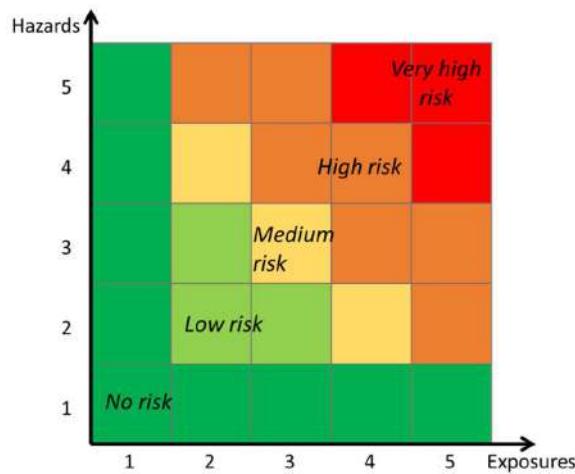


Figure 14: Matrix for calculating the risk index by aggregating hazards and exposures.

A high value of hazard or exposure indicator contributes to increased vulnerability. Conversely, a high value of the management indicator (corresponding to a relevant management strategy) contributes to a decrease in vulnerability. As all indicators are homogeneous since they use the scale and same grid, aggregated "indices" (either within a component or inter-component) can also be generated by crossing several indicators in order to have a more integrated assessment of vulnerability (Figure 14). Only the representation component is not integrated into indices. This component provides contextual information that will facilitate the implementation of risk management strategies.

5. Citizens' involvement and platforms

5.1. AGEO app

The AGEO application (see chapter 6) makes it possible to report coastal damage including identification information in order to create or enrich an inventory. The application consists of geolocated photographs, accompanied by qualitative data concerning the characterisation of the type of hazard, the estimation of the magnitude of the hazard, the elements exposed and the estimation of the date of the hazard according to the frequency of visit of the site by the participants (Figure 15). This app can be used by citizens, typically residents who often visit coastal areas, or managers-practitioners. Reports on coastal impacts collected with AGEO app will be added to the existing OSIRISC database "Aléas et impacts côtiers".

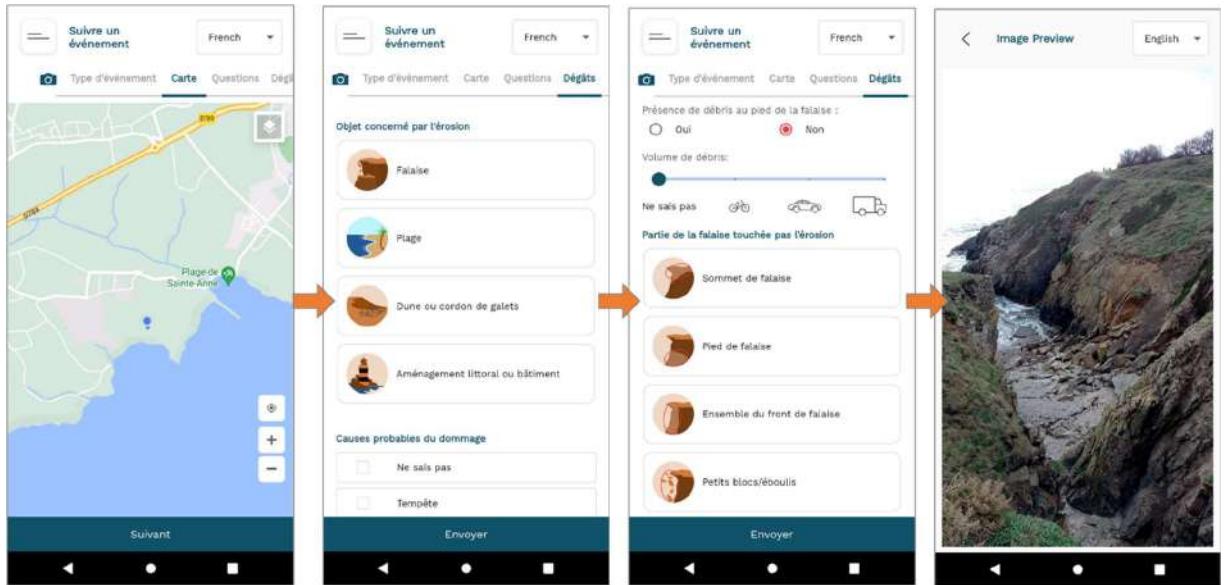


Figure 15: Screenshots of the successive steps for damage reporting with AGEO app.

5.2. CoastAppli app

Local authorities show interest in contributing to hazards monitoring, but sometimes lack both the time and the tools and technical skills to do so. Furthermore, the management strategies relying on adaptation measures, no longer attempting to maintain a fixed coastline position, are not always well received by the public, which make the dialogue about risk management more complicated.

The idea therefore emerged to set up an application called "CoastAppli" meant to facilitate the data acquisition for coastal surveys and to raise interest from the general public and enable its participation in monitoring programs on coastal dynamics.

This application (Figure 16) was developed with the support of the EUR ISblue University Research School, the Sea-EU project and the INTERREG AGEO project. "CoastAppli" app is complementary to AGEO app. CoastAppli provides quantitative measures with resolution and accuracy close to typical positioning systems (up to ± 4 cm) for some of the protocols, using a simple approach such as measuring the size of a step and counting the number of steps, or simple tools like a measuring tape. As it relies both on quantitative and qualitative protocols, it is aimed at a targeted audience (technical staff from local authorities, trained citizens) as well as the general public, including children.

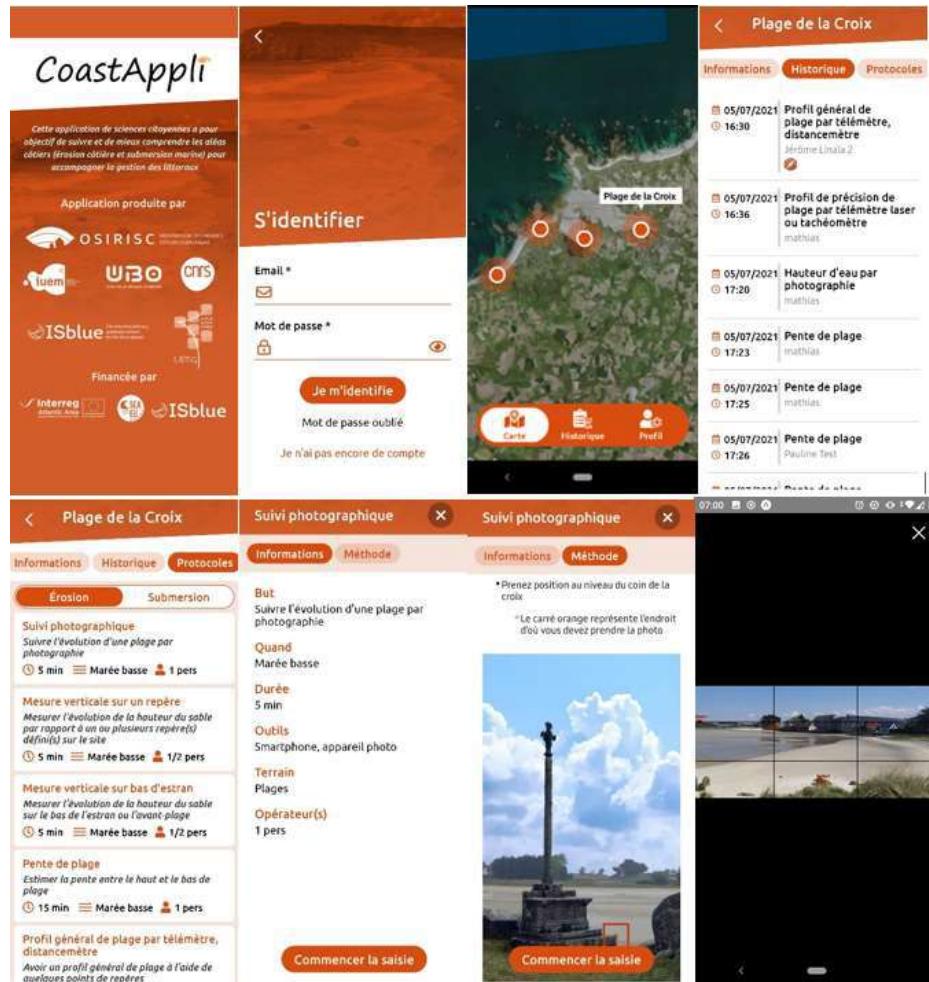


Figure 16: Screenshots of the first version of CoastAppli app.

The first version of this application proposes a dozen protocols for monitoring "erosion" and "flooding" hazards, using simple measurement tools. This version was tested and validated in the municipality of Guissény from December 2021 to October 2022, with technical staff from local authorities, schoolchildren from the Diwan Grade School and the general public. We verified the reliability of the measurements, as well as the interest and the loyalty of the users (Figure 17).



Figure 17: Test of data acquisition for coastal surveys using "CoastAppli" app with pupils in Guissény (R. Ruault and Q. Millière).

5.3. Deployment of Centipède geolocation system

Geolocation is one of the central tools for monitoring coastal hazards (positioning of the coastline, measurement of beach profiles, 3D modelling of cliff evolution, etc.). By default, the accuracy of satellite navigation systems is only a few metres. Differential correction systems can compensate for this lack of accuracy: Real Time Kinematic (RTK) positioning can approach centimetre accuracy. However, this approach requires a reference base set-up close to the data collection site, the accessibility of its differential correction signal and very expensive equipment to process it. For some years now, developers have been actively working with open-source/open-hardware software and components to create inexpensive, reliable, lightweight and easy-to-use differential GNSS solutions.

Centipede¹ RTK is a collaborative network of open GNSS bases available to anyone within the coverage area. Initiated in 2019 by INRAE (French National Research Institute for Agriculture, Food and the Environment), the network is being deployed thanks to public institutes, individuals, private actors such as farmers or other public partners who voluntarily contribute by deploying GNSS base antennas to extend and densify the network. The objective of the project is to offer a complete coverage of the French metropolitan territory. Base stations are also being set-up overseas and abroad.

Deploying this system appeared to be a way of making data acquisition financially and technically more accessible, and therefore usable for collaborative science as well as student training. Within the framework of AGEO project, UBO has contributed to the Centipède base network in Brittany by installing 9 Centipede bases (Figure 18). In addition, UBO has equipped the local authorities of the Litto'Risques partnership with rover antennas to carry out their own coastal measurements.

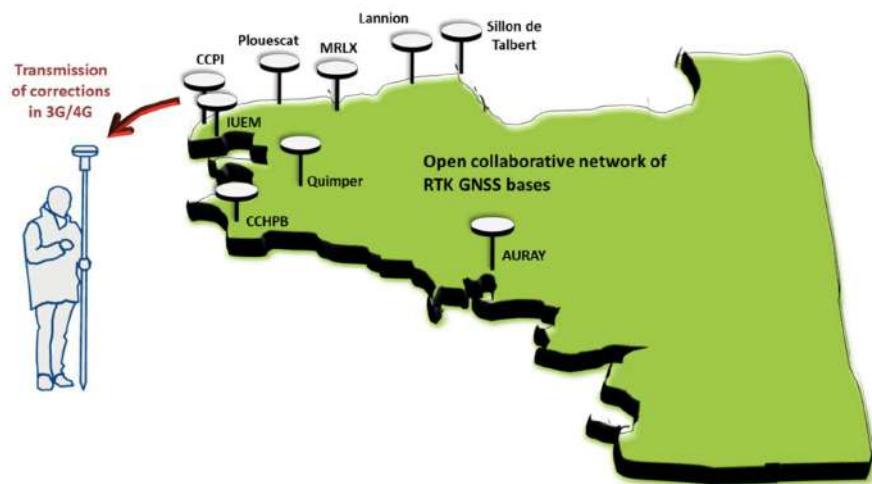


Figure 18: The network of Centipède GNSS bases installed in Brittany by OSIRISC in the framework of AGEO.

UBO supported technical staff of local authorities across the Breton territory by training them in the use of this survey equipment, the measurement protocols, the choice of morphological features to survey and data processing. With involvement of local authorities, the number of measurement sites is rapidly increasing. About 40 survey sites have been added since Litto'Risques partnership was started. The data collected by local authorities using these methods and tools enrich the OSIRISC observatory databases.

¹ <https://docs.centipede.fr/>

5.4. Data cataloguing and diffusion : MADDOG and OSI platforms

MADDOG², which stands for "Mise A Disposition des Données d'Observation Géomorphologique" is the OSIRISC coastline and coastal geomorphology observation data portal. It is a web platform for the visualisation of topo-morphological data series (coastline, cross-shore beach profile, Digital Terrain Model (DTM)) of the Brittany coastline: beaches, dune systems, sandbars, cliffs, river mouths.

MADDOG implements cataloguing and geographic information processing tools that allow the dissemination of these observation time series in the form of interactive databases. MADDOG also provides online interactive data processing services that allow a preliminary analysis of the morphological evolution of the coastline (Figure 19). Three types of results are available on MADDOG:

- The planimetric evolution of the coastline allowing the analysis of the kinematics of the coastline by calculating a distance of shoreline retreat or advance between coastlines measured at two different dates.
- The altimetric evolution of beaches by comparing cross-sectional beach profiles measured at different dates. Morphosedimentary changes allow the calculation of the evolution of the sediment balance in m³ per linear metre.
- The evolution of surface changes of the beaches in three dimensions (x, y and z) by comparison of digital terrain models. These data allow the calculation and mapping of the sediment budget (in m³ per linear metre) in the form of accretion and erosion zones.

This platform is intended to be used by the scientific community as well as by managers-practitioners and citizens. It thus responds to the needs expressed by local authorities to have data readily accessible processing tools allowing preliminary exploitation of observations they carry out, and further to obtain interpreted results on geomorphological evolution of the coastline to support the definition of coastal risk management strategies (development, prevention, adaptation), as well as to raise awareness among all stakeholders.

The co-construction approach between researchers and territorial stakeholders (managers-practitioners, technicians and elected officials, and citizens) is a cornerstone of the OSIRISC regional observatory. Consistently, the data disseminated via the platform MADDOG comes from surveys carried out both by UBO research laboratories and by OSIRISC observatory partners: local authorities in charge of coastal management, State services and other public partners (the French coastal conservation agency, Natural Parks, etc.).

The European University Institute of the Sea (IUEM), which is the "marine and coastal sciences" component of UBO, runs the regional observatory OSIRISC and hosts the coastal observations database accessible via the MADDOG platform. IUEM manages (that is, hosting, archiving, maintenance, availability) the data collected by the many contributors from various marine sciences fields as part of its role as an "Observatory of the Sciences of the Universe" (OSU). The coastal monitoring data accessible on MADDOG are archived under the INDIGEO³ Spatial Data Infrastructure.

A common input data format has been defined for the series disseminated via MADDOG, in order to allow the visualisation of data collected by the various producers using different instruments.

² <https://portail.indigo.fr/mviewer/?config=apps/maddog.xml#>

³ <https://indigo.fr/>

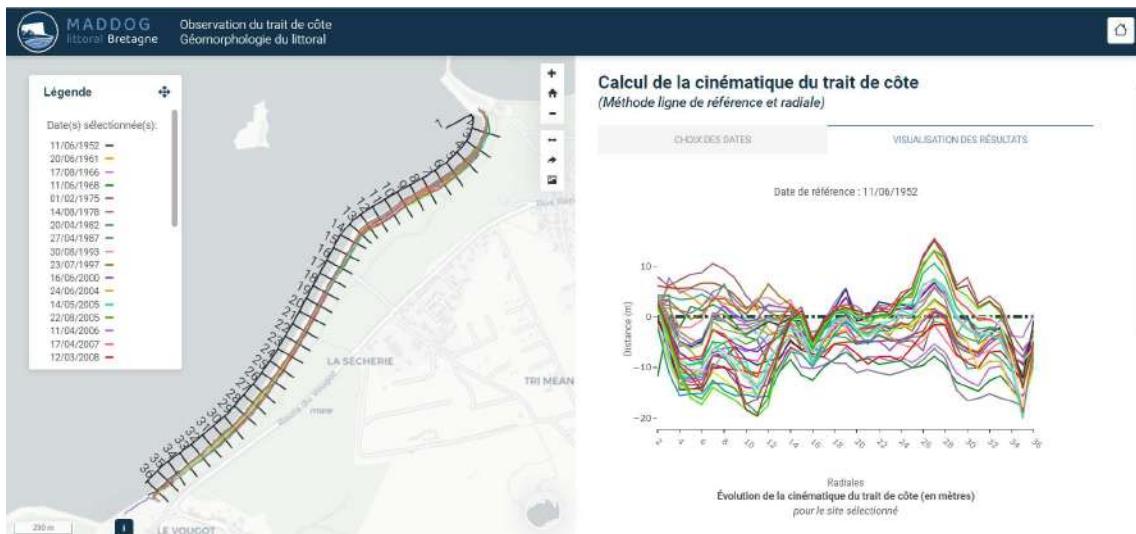


Figure 19: Example of the altimetric evolution of beaches by comparing cross-sectional beach profiles on MADDOG interface (Guisseny beach, Brittany, France).

The OSI⁴ Web-GIS interface allows the visualisation of indicators and indices developed to assess and monitor the vulnerability trajectories of coastal territories to coastal hazards. These indicators and indices are represented on an adaptive mesh ranging from 50 m to the scale of the commune. The interoperability of data and geographic information processing tools allows for a back and forth navigation between the integrated analysis of vulnerability on the OSI interface and a more in-depth analysis of erosion and marine flooding hazard data on the MADDOG platform, where morpho-sedimentary evolutions are represented on a metric scale.

OSI displays each indicator filled in a territory for a given date (Figure 20). The hot spots of high-risk territories are highlighted at both the local and regional levels. Decision-makers therefore have a general vision of the areas where risk reduction efforts should be focused. Based on these indicators, OSI calculates component indices (hazards, exposure, management and social representations). A vulnerability diagnosis can then be produced as the component(s) that most strongly influence vulnerability are highlighted. The action levers are therefore easily identifiable. Coastal risk management can then be based on this diagnosis. Once the management strategy is implemented, a new vulnerability diagnosis is obtained based on the regularly carried out measures of the indicators. This new diagnostic allows to evaluate the effectiveness of the means used to reduce the vulnerability of the coastal territory, while visualizing the evolutions of the other components. While risk management is too often aimed towards reducing hazards through the construction of sea-defences, the diagnosis can reveal the other possibilities such as reducing the exposed elements in the territories, educating citizens about risks, etc. Ultimately, these successive diagnostics define the territory's vulnerability trajectory. OSI is thus meant as a decision support tool for local authorities. OSI is also a scientific tool for geographic analysis and comparison to improve understanding of the changing vulnerability of territories and improving coastal risk management.

⁴ <https://osi.univ-brest.fr/>



Figure 20: Example of marine flooding indicator on the OSI web-platform interface (Île-Tudy, Brittany, France).

6. Interaction with stakeholders and risk management

In the framework of the OSIRISC observatory, the "Litto'Risques" partnership was signed in May 2019, aiming to strengthen the capacities of the local authorities in charge of coastal risks, in particular regarding observation of coastal vulnerability. To support coastal communities, UBO, Cerema and the County Council of Finistère have joined forces to provide methodological, scientific and technical support for the management of coastal erosion and marine flooding risks, through three main missions: coastal observation, expertise for coastline management and awareness-raising on coastal risks. Following the work carried out by the OSIRISC research teams with a co-construction approach between researchers and territorial local authorities, the scientific coordination of the OSIRISC observatory is carried out by UBO and its academic partners on coastal risks, in coordination with the stakeholders in charge of coastal risk management. This partnership aims to pool the skills of the partners in order to enable coastal communities to develop a long-term strategy for managing their coastline. The objectives of the partnership are to:

- contribute to the acquisition of data on coastal risks and to the dissemination of this data at the regional scale of the Finistère County;
- provide support to local authorities in the definition and implementation of their coastal development projects;
- support the coastal communities of Finistère in the definition of a prospective vision of their territory in order to anticipate the evolution of the coastline under the consequence of global change and coastal urbanisation;
- bring together the stakeholders in Finistère who are interested in monitoring coastal vulnerability;
- carry out dissemination and awareness-raising activities on the coastal risks.

Through this approach, there is a two-way sharing of expertise between academics and local authorities, increasing the skills of local stakeholders and disseminating the observation to decision-makers, as well as increasing the regional observation capacities and providing academics with feedback on risk management at an applied level. This is consistent with a two-fold objective of addressing research questions and providing operational decision-aid tools. Coastal risk managers

(from elected representatives and technical services of local authorities to government services) are both knowledge providers who contribute to monitoring the vulnerability components, and end-users of the results of the analysis of trajectories of systemic vulnerability.

Communities of municipalities can join the partnership with two levels of commitment. At a first level, they are informed of the activities and results of the observatory; they participate in the training sessions and seminars and can be assisted on coastal risk management issues. Membership is strengthened when they undertake the monitoring of vulnerability components in their territory, generally starting with hazards monitoring (Figure 21).

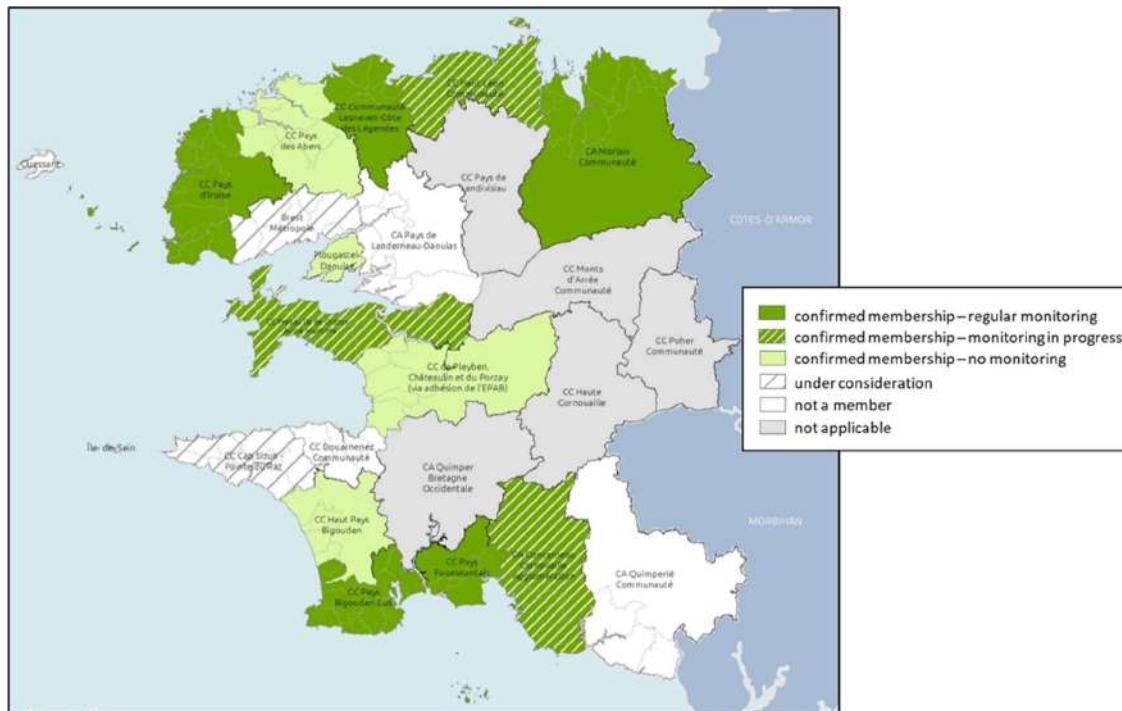


Figure 21: Local authorities members of the Litto'Risques partnership.

Breton coastal territory managers can collect a certain amount of data that will improve the analysis of the systemic vulnerability of their territory. By providing them with measurement protocols, by helping them to choose appropriate methods and tools and by storing and disseminating information in the form of interactively mapped indicators, OSIRISC observatory operated as a partnership with local authorities in charge of coastal risk management. A central requirement for the success of the partnership is to provide training on a regular basis, including:

- conceptual training to understand the observation approach, the processes involved or the consequences of a particular management strategy;
 - technical training on the implementation of measurement methods and tools or the data processing.

As part of AGEO, technical staff and elected representatives from local authorities were offered several face-to-face training sessions (in-classroom or on the field - Figure 22). Online materials were also produced: methodological guides (*Partenariat Litto'Risques*, 2023), video tutorials, Flot'Risco online course, etc. (Figure 23). They are available through the website "Risques Côtiers"⁵.

⁵ <https://www.risques-cotiers.fr/>

Since OSIRISC is the result of co-design between scientists and stakeholders (at all stages, from the design of the methodology based on indicators to the implementation of collaborative monitoring), it enables capacity-building of technical staff and elected officials within local authorities in charge of coastal risks. As it is deployed within the Litto'Risques partnership, OSIRISC is more than an observatory.



Figure 22: Face-to-face training sessions with coastal risk managers.

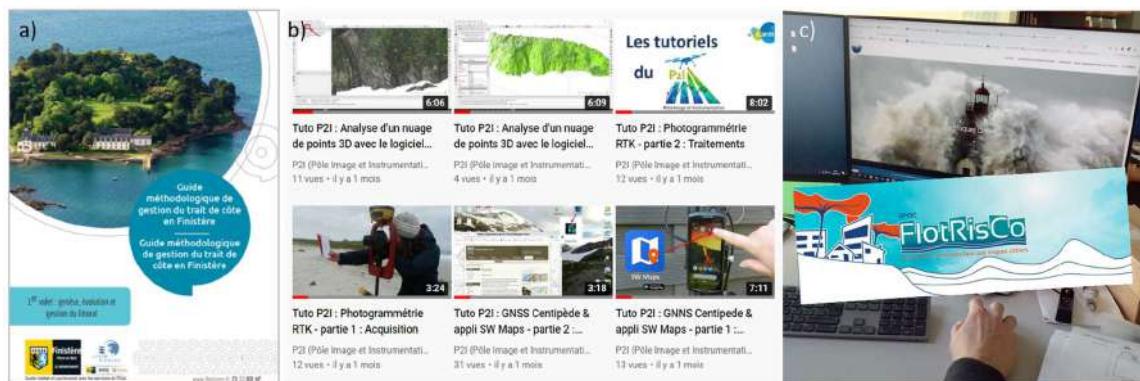


Figure 23: Online training materials: methodological guide (a), video tutorials on measurement methods and data processing (b), online course on coastal risk management (c).

7. Conclusion and recommendations

The success of OSIRISC observatory relies on the co-construction and the close interaction between academics and local authorities, which requires in-depth involvement of both parties in joint actions (data collection, sharing expertise, ...), as well as political support to achieve partnership agreements and engage in long-term observation of the vulnerability of coastal territories. The OSIRISC observatory already concerns many coastal territories in Brittany, mainly in the Finistère county through Litto'Risques partnership. OSIRISC observatory is currently expanding the Litto'Risques partnership model to other coastal territories in Brittany. This approach is intended to be generalised or transposed to a larger territory, in Brittany and elsewhere. One of the short-term objectives is to further develop citizen observations, taking advantage of the apps developed thanks to AGEO project: AGEO App and CoastAppli.

Acknowledgements

This work has been undertaken in the framework of the INTERREG Atlantic Area AGEO Project (EAPA_884/2018 – AGEO).

References

- Cerema, Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2018. *Cartographie de l'indicateur national de l'érosion côtière.* <http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/indicateur-national-de-l-erosion-cotiere-r473.html>
- Cerema, 2021. *Dynamiques et évolution du littoral.* Fascicule 4 : Synthèse des connaissances du cap de la Hague à la pointe de Corsen. Collection : Connaissances. 272 p.
- Cerema, 2021. *Dynamiques et évolution du littoral.* Fascicule 5 : Synthèse des connaissances de la pointe de Corsen à la pointe de Chémoulin. Collection : Connaissances. 273 p.
- Chaumillon E., Bertin X., Fortunato A.B., Bajo M., Schneider J.-L., Dezileau L., Walsh J.P., Michelot A., Chauveau E., Créach A., Hénaff A., Sauzeau T., Waeles B., Gervais B., Jan G., Baumann J., Breilh J.-F., Pedreros R., 2017. Storm-induced marine flooding: Lessons from a multidisciplinary approach. *Earth-Science Reviews*, 165, p. 151-184.
- D'Ercole R., 1994. Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse. *Revue de Géographie Alpine*, 4, LXXXII, 87-96.
- Géoportail IGN: <https://www.geoportail.gouv.fr/carte>
- GeoBretagne 1950': <https://geobretagne.fr/sviewer/dual.html>
- Hédou F., Roche A., Trmal C., Moraud S., Deniaud Y., 2018. *Elaboration de l'indicateur national de l'érosion côtière. XVe Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, La Rochelle, 29-31 mai 2018, 648-654.*
- Hénaff A., Lageat Y., Bodéré J.-C., 2003. *PRIR "EROCOVUL", Erosion et vulnérabilité du trait de côte en Bretagne.* Rapport annuel pour la Région Bretagne, année 3, Géomer LETG UMR 6554 CNRS, 43 p.
- Hénaff A., Philippe M. (Eds), 2014. *Gestion des risques d'érosion et de submersion marines, guide méthodologique.* Projet-ANR-10-CEPL-0001Cocorisco, 156 p.
- Alain Hénaff, Catherine Meur-Ferec et Yannick Lageat, 2013. Changement climatique et dynamique géomorphologique des côtes bretonnes. Leçons pour une gestion responsable de l'imbrication des échelles spatio-temporelles. *Cybergeo: European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 654, <http://journals.openedition.org/cybergeo/26058> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeo.26058>
- Hénaff A., Le Cornec E., Jabbar M., Pétré A., Corfou J., Le Drezen Y., van Vliet-Lanoë B., 2018. Caractérisation des aléas littoraux d'érosion et de submersion en Bretagne par l'approche historique. *Cybergeo: European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 847, <http://journals.openedition.org/cybergeo/29000> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeo.29000>
- Indigeo: infrastructure de données et d'informations géospatialisées sur l'environnement, UMR LETG, OSU IUEM, ZABrI: <https://indigeo.fr/>
- Institut Géographique National "Remonter le temps": <https://remonterletemps.ign.fr>
- Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques: <https://www.insee.fr>
- Le Berre, I., Meur-Ferec, C., Cuq, V., Guillou, E., Lami, T., Dantec, N., Letortu, P., Lummert, C., Philippe, M., Rouan, M., Noûs, C., Hénaff, A., 2022. Systemic vulnerability of coastal territories to erosion and

marine flooding: A conceptual and methodological approach applied to Brittany (France). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 78, 103122. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103122>

Meur-Ferec C., Le Berre I., Cocquempot L., Guillou E., Hénaff A., Lami T., Le Dantec N., Letortu P., Philippe M. et Camille Noûs, 2020. Une méthode de suivi de la vulnérabilité systémique à l'érosion et la submersion marines. *Développement durable et territoires* [En ligne], 11, 1. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.16731>

Partenariat Litto'Risques (2023). *Guide méthodologique de gestion des risques littoraux en Finistère – Volet 1 : genèse, évolution et gestion du littoral*. 84 p.

Partenariat Litto'Risques (2023). *Guide méthodologique de gestion des risques littoraux en Finistère – Volet 2 : méthodologie de gestion des risques littoraux*. 196 p.

Partenariat Litto'Risques (2023). *Guide méthodologique de gestion des risques littoraux en Finistère – Volet 3 : recensement et retours d'expérience sur les solutions mises en oeuvre sur le territoire du Finistère dans la gestion du trait de côte*. 216 p.

Philippe M. et Hénaff A. (coord.), 2021. *Expérimentation pour un observatoire régional de la vulnérabilité aux risques côtiers en Bretagne. Projets OSIRISC et OSIRISC+*. UBO, CNRS, Cerema. Soutenus financièrement par la Fondation de France et la DREAL Bretagne. 84 p + annexes. <https://doi.org/10.48386/POPS-1519>

Poupard G., 2017. L'urbanisation du littoral : un essouflement ? – L'exemple de la Bretagne. *Population & Avenir*, 733, 4-8.

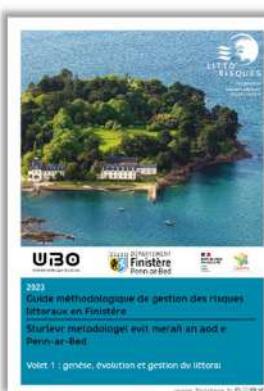
Stéphan P., Blaise E., Suanez S., Fichaut B., Autret R., Floc'h F., Madec-Cuq V., Le Dantec N., Ammann J., David L., Jaud M., Delacourt C. (2019). Long, medium, and short-term shoreline dynamics of the Brittany coast (Western France). *Journal of Coastal Research*, SI 88, p.89-109. (10.2112/SI88-008.1).

Vinet F., Defossez S., Rey T., Boissier L., 2012. Le processus de production du risque "submersion marine" en zone littorale : l'exemple des territoires "Xynthia". *Norois*, 222, 11-26, <https://doi.org/10.4000/norois.3834>

Guide méthodologique de gestion du trait de côte

Ce guide, inédit à l'échelle nationale, constitue un recueil complet d'informations permettant à la fois de connaître les facteurs influençant l'évolution du trait de côte et de comprendre les phénomènes constitutifs des risques littoraux (**volet 1**). L'originalité de ce guide provient surtout de la méthode exposée en 5 étapes pour aborder de manière globale la résolution d'une problématique d'érosion côtière ou de submersion marine (**volet 2**). Cette méthode est complétée par un retour d'expérience exhaustif des techniques les plus fréquemment mises en œuvre dans le Finistère ainsi que celles, plus innovantes, développées sur d'autres littoraux français (**volet 3**).

Téléchargement : <https://www.finistere.fr/aides-et-services/environnement/les-risques-littoraux-et-fluviaux-en-finistere/litorisques-assistance-technique-des-collectivites-littorales/>



Volet 1 : Genèse, évolution et gestion du littoral

Partenariat Litto'Risques (2023). *Guide méthodologique de gestion des risques littoraux en Finistère – Volet 1 : genèse, évolution et gestion du littoral.* 84 p.



Volet 2 : Méthodologie de gestion des risques littoraux

Partenariat Litto'Risques (2023). *Guide méthodologique de gestion des risques littoraux en Finistère – Volet 2 : méthodologie de gestion des risques littoraux.* 196 p.



Volet 3 : Techniques de gestion du trait de côte - Présentation et retours d'expériences

Partenariat Litto'Risques (2023). *Guide méthodologique de gestion des risques littoraux en Finistère – Volet 3 : recensement et retours d'expérience sur les solutions mises en œuvre sur le territoire du Finistère dans la gestion du trait de côte.* 216 p.

