



Téo BIGLIETTI
Cartographie des infrastructures routières exposées
aux risques côtiers dans le Finistère (29)
Notice Méthodologique

Crédit photo : Pierrick CRIQUET, 23/11/2018

Mémoire de stage de Master 1
Année Universitaire **2021-2022**
Structure d'accueil : **LETG**
Tuteur universitaire : **Alain HENAFF**
Maître de stage : **Iwan LE BERRE**

Sommaire

Glossaire : sigles et acronymes	3
Introduction	4
Méthodologie	6
Description des jeux de données utilisés	6
Protocole d'analyse	7
Approche qualitative de l'aléa submersion : Zones basses	7
Approche quantitative de l'aléa submersion : Litto3D®	9
Aléa érosion : INEC & CATC	12
Résultats	14
Approche qualitative de l'aléa submersion : Zones basses	14
Approche quantitative de l'aléa submersion : Litto3D®	17
Aléa érosion : INEC & CATC	19
Conclusion & perspectives	21
Table des figures	22
Table des tableaux	22
Bibliographie	23
Sitographie	23
Annexes	24
Table des annexes	33

Glossaire : sigles et acronymes

CATC : Cartographie de l'Artificialisation du Trait de Côte

CD29 : Conseil Départemental du Finistère

CEPRI : Centre Européen de la Prévention du Risque d'Inondation

Cerema : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

EGEL : Expertise et Gestion de l'Environnement Littoral

FEDER : Fond Européen de Développement Régional

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat

IGN : Institut National de l'information géographique et forestière

INEC : Indicateur National de l'Érosion Côtière

LETG : Littoral, Environnement, Télédétection et Géomatique

MNT : Modèles Numériques de Terrain

OSIRISC : Vers un Observatoire Intégré des Risques Côtiers d'érosion submersion

QGIS : *Quantum Geographic information System*

RCP : *Representative Concentration Pathways*

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

SIG : Système d'Information Géographique

TCD : Tableau Croisé Dynamique

TCH : Trait de Côte HISTOLITT®

UBO : Université de Bretagne Occidentale

UQAR : Université du Québec à Rimouski

Introduction

Ce stage, réalisé au laboratoire Littoral, Environnement, Télédétection et Géomatique (LETG), se déroule dans le cadre du projet INTERREG “Plateforme Atlantique pour la gestion des Géo-risques” (AGEO) financé par le Fond Européen de Développement Régional (FEDER), au travers de son volet 7 “Mise en place de l'observatoire pilote OSIRISC (Vers un ObServatoire Intégré des RISques Côtiers d'érosion submersion)”.

Ainsi, ce stage s'inscrit dans le cadre du partenariat Litto'Risques¹ entre le Conseil Départemental du Finistère (CD29), le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) et l'Université de Bretagne Occidentale (UBO).

Le présent document vise à proposer une méthodologie et des techniques d'étude de la sensibilité des routes départementales et communales du Finistère aux risques côtiers d'érosion et de submersion actuels et futurs, en lien avec l'évolution du niveau de la mer. Ce type de prospective a par ailleurs déjà été réalisé² avec succès par l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) qui travaille avec l'UBO.

L'objectif du stage est d'identifier les sections de route concernées par les aléas d'érosion et de submersion marine dans le département du Finistère actuellement et dans l'avenir. A terme, cette étude permettra d'identifier plus particulièrement les routes qui constituent une unique alternative pour quitter un lieu ou pour s'y rendre. Cette vision permet de prendre en considération la possibilité d'évacuation de personnes isolées ou la venue de secours en cas de blocage d'un accès.

La démarche de ce stage consiste à croiser des données cartographiques à la fois des enjeux (infrastructures routières) et des aléas (submersion, érosion) pour déterminer les linéaires routiers concernés par les risques d'érosion et de submersion marine dans le Finistère (impossibilité d'intervention des secours, impossibilité d'évacuation de la population, etc).



Figure 1 : Schématisation du risque, résultat d'un aléa combiné à un enjeu³

¹ Source : <https://www.risques-cotiers.fr/connaitre-les-risques-cotiers/projets/littorisques/>

² Source : Drejza et al, 2019, Quantifying road vulnerability to coastal hazards

³ Source : Pays de Châlons-en-Champagne
<https://www.paysdechalonsenchampagne.com/comprendre-les-inondations>

Si une route donnée est coupée en raison d'un phénomène d'érosion et/ou de submersion marine, quel est l'itinéraire le plus court pour se rendre ou quitter le lieu desservi par cette route ?

Cette problématique met en jeu une contrainte de nature temporelle et/ou spatiale si le chemin emprunté est différent ou rallongé, et devient sécuritaire si la route impraticable est l'unique moyen de parvenir à la destination en question.

Le présent rapport constitue une première étape afin de donner à la Direction des Routes des clés de réflexion et une vision globale pour planifier le déplacement, l'élévation voire la suppression des routes concernées.

Méthodologie

Description des jeux de données utilisés

Le travail cartographique exposé dans le présent rapport s'appuie sur différents jeux de données publics :

- La BD TOPO⁴ (septembre 2021), produite par l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), donne le réseau routier hiérarchisé, les limites administratives du département et des communes qui le composent ;
- Les Zones Basses⁵ (septembre 2009), produites par le Cerema, fournissent les zones topographiques situées sous le niveau centennal de la mer. Ces données ont été adaptées par le laboratoire LETG de l'UBO pour conserver uniquement les zones de submersion du domaine terrestre et exclure les zones intertidales ;
- Le Trait de Côte HISTOLITT⁶ (TCH) (14 avril 2007), co-produit par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) et l'IGN, correspond au trait de côte français défini par la laisse des plus hautes mers pour une marée astronomique de coefficient 120 dans des conditions météorologiques normales ;
- Litto3D⁷ Finistère⁷ (2014) produit par le SHOM, est un modèle numérique altimétrique tridimensionnel représentant la topographie de la frange littorale de façon continue terre-mer ;
- L'Indicateur National de l'Érosion Côtière⁸ (INEC) (juin 2018), produit par le Cerema, fournit à l'échelle de la France métropolitaine des tendances d'évolution annuelle de la position du trait de côte par transects littoraux d'environ 200 mètres, en moyennant les valeurs observées sur les 60 dernières années. Basé sur l'observation d'orthophotographies, l'indicateur n'est pas calculé lorsqu'un ouvrage se substitue au trait de côte naturel ;
- La Cartographie de l'Artificialisation du Trait de Côte⁹ (CATC) (mars 2019), produite par le Cerema, renseigne sur les portions littorales artificialisées (présence d'ouvrages et/ou d'aménagements, ou évolution potentiellement influencée par ces constructions).

⁴ Source : Métadonnées BD TOPO®, accessible ici : <https://geoservices.ign.fr/>

⁵ Source : Métadonnées Zones basses, accessible ici : <https://www.geocatalogue.fr/Detail.do?fileIdentifier=06dfc140-d120-4d01-82d8-0f68a78c03d1>

⁶ Source : Métadonnées Trait de Côte HISTOLITT®, accessible ici : <https://geo.data.gouv.fr/fr/datasets/5963a6099d7ec69f3214a440f4c6743526f0bb48>

⁷ Source : Litto3D® Version 1.0 Descriptif du contenu, Mars 2015, SHOM, accessible ici : https://services.data.shom.fr/static/specifications/DC_Litto3D.pdf

⁸ Source : Métadonnées de l'Indicateur National de l'Érosion Côtière, accessible ici : <https://www.geocatalogue.fr/Detail.do?fileIdentifier=43746f84-6577-4e97-bd8b-1436532ed4b2>

⁹ Source : Métadonnées Cartographie de l'artificialisation du trait de côte, accessible ici : <https://www.geocatalogue.fr/Detail.do?fileIdentifier=1cb26648-a91f-4d66-8619-80442834c5aa>

Protocole d'analyse

Le traitement et les analyses sont effectués à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG) sur le logiciel QGIS 3.10. Dans cette partie sont mises en évidence en *italique* les instructions permettant de reproduire le traitement sur QGIS 3.10.

Approche qualitative de l'aléa submersion : Zones basses

Dans un premier temps, la couche Zones Basses fournie par le Cerema et adaptée par le laboratoire LETG est utilisée. Cette donnée produite en 2009 est établie à partir de la BD ALTI® de l'IGN. Elle offre une précision métrique et ne permet donc pas d'obtenir des résultats quantitatifs précis. Cependant, elle est utile pour effectuer des calculs rapides et pour identifier les principaux espaces menacés par l'aléa submersion dans le département.

La couche Zones Basses comprend initialement des valeurs de hauteurs d'eau (en m) susceptibles de recouvrir des portions de la frange littorale sous forme discrète : 0 ; 0,5 ; 1,5 ; 2,5 ; 3,5 ; ... ; 5,5. Par interpolation, nous supposons qu'une hauteur d'eau de 0 m correspond à un niveau d'eau potentiel compris entre 0 et 0,5 m, une hauteur de 0,5 m correspond à un niveau d'eau potentiel compris entre 0,5 et 1,5 m, et ainsi de suite.

Dans un souci de lisibilité cartographique, les niveaux d'eau sont classés en quatre catégories :

- > 0 à 0,5
- 0,5 à 1,5
- 1,5 à 2,5
- 2,5 et plus

Pour cela, un nouvel attribut est ajouté dans la table attributaire grâce à la formule suivante (*Ouvrir la table d'attributs > Ouvrir la calculatrice de champs > Créer un nouveau champ*) :

```
if ("NIVEAU_EAU" = 0, 1, if ("NIVEAU_EAU" = 0.5, 2, if ("NIVEAU_EAU" = 1.5, 3, if ("NIVEAU_EAU" >= 2.5, 4, NULL))))
```

Les tronçons de route sont importés via la BD TOPO® de l'IGN de septembre 2021. Leur exposition aux risques de submersion est mise en évidence grâce aux données des Zones Basses. L'*intersection* entre les zones de submersion et les routes des communes littorales nous permet de visualiser les portions de route sensibles.

Les routes non accessibles aux véhicules lourds sont éliminées par sélection attributaire (*Ouvrir la table d'attributs > Sélectionner les entités en utilisant une expression*) grâce à la formule suivante :

```
"NATURE" = 'Bretelle' or "NATURE" = 'Rond-point' or "NATURE" = 'Route à 1 chaussée' or "NATURE" = 'Route à 2 chaussées' or "NATURE" = 'Type autoroutier' or ("NATURE" = 'Chemin' and "ACCES_VL" != 'Physiquement impossible') or ("NATURE" = 'Route empierrée' and "ACCES_VL" != 'Physiquement impossible')
```

L'*ajout d'attributs de géométrie* permet de connaître la longueur des portions de route concernée par les risques. Un Tableau Croisé Dynamique (TCD) (cf. tableau 1) est alors dressé. Il permet d'apprécier

les longueurs de route en fonction de leur nature (nationale, départementale et non renseignée) et de la hauteur d'eau (en m) susceptibles de les recouvrir (> 0 à 0,5 ; 0,5 à 1,5 ; 1,5 à 2,5 ; 2,5 et plus).

		Niveaux d'eau				
		0 à 0,5	0,5 à 1,5	1,5 à 2,5	2,5 et +	Sous-Totaux
Natures des routes	Autres	206128,3	164778,2	100305,1	114924,8	586136,4
	Départementale	26247,4	16260,1	11123,4	18447	72077,9
	Nationale	99,6	91,6	93,7	119,7	404,6
	Sous-Totaux	232475,3	181129,9	111522,2	133491,5	
					Total	658618,9

Tableau 1 : TCD des longueurs de route (en m) en fonction de leur nature et de la hauteur d'eau potentielle (en m) à l'échelle du département du Finistère à partir des données Zones Basses

En se basant sur les travaux de l'UQAR¹⁰ et les recommandations du Centre Européen de la Prévention du Risque d'Inondation¹¹ (CEPRI) un indice empirique (cf. tableau 2) est défini pour quantifier le degré de risque en fonction de la nature de la route et du niveau d'eau potentiel sur celle-ci.

Degré de risque	1	2	3	4
Dangers	Faible	Moyen	Fort	Critique

Tableau 2 : Indice de degré de risque défini empiriquement à partir des données Zones Basses en fonction de la nature de la route et de la hauteur d'eau potentielle

En fonction de l'indice, le danger est classé en 4 catégories empiriques (cf. tableau 2) : faible, moyen, fort et critique. Selon la nature de la route et le niveau d'eau qui peut potentiellement la submerger, les portions de routes se voient attribuer un indice allant de 1 à 4 (cf. tableau 1). Les formules suivantes permettent la sélection attributaire des portions de route selon le niveau de danger :

- Danger faible :
"CL_ADMIN" is NULL and "NIVEAU_EAU" = 0
- Danger moyen :
("CL_ADMIN" = 'Départementale' and "NIVEAU_EAU" = 0) or ("CL_ADMIN" is NULL and "NIVEAU_EAU" = 0.5)
- Danger fort :

¹⁰ Source : Drejza et al, 2019, Quantifying road vulnerability to coastal hazards

¹¹ Source : CEPRI, 2018, Guide de sensibilisation Le secteur de la santé face au risque d'inondation

("CL_ADMIN" = 'Nationale' and "NIVEAU_EAU" = 0) or ("CL_ADMIN" = 'Départementale' and "NIVEAU_EAU" = 0.5) or ("CL_ADMIN" is NULL and "NIVEAU_EAU" = 1.5)

- Danger critique :

("CL_ADMIN" = 'Nationale' and "NIVEAU_EAU" >= 0.5) or ("CL_ADMIN" = 'Départementale' and "NIVEAU_EAU" >= 1.5) or ("CL_ADMIN" is NULL and "NIVEAU_EAU" >= 2.5)

Afin de différencier les routes selon le niveau de danger qui leur est attribué, la formule suivante permet d'insérer une nouvelle colonne à la table attributaire en y indiquant l'indice de risque (*Ouvrir la table d'attributs > Ouvrir la calculatrice de champs > Créer un nouveau champ*) :

if(("CL_ADMIN" = 'Nationale' and "NIVEAU_EAU" >= 0.5) or ("CL_ADMIN" = 'Départementale' and "NIVEAU_EAU" >= 1.5) or ("CL_ADMIN" is NULL and "NIVEAU_EAU" >= 2.5), 4, if(("CL_ADMIN" = 'Nationale' and "NIVEAU_EAU" = 0) or ("CL_ADMIN" = 'Départementale' and "NIVEAU_EAU" = 0.5) or ("CL_ADMIN" is NULL and "NIVEAU_EAU" = 1.5), 3, if(("CL_ADMIN" = 'Départementale' and "NIVEAU_EAU" = 0) or ("CL_ADMIN" is NULL and "NIVEAU_EAU" = 0.5), 2, if ("CL_ADMIN" is NULL and "NIVEAU_EAU" = 0, 1, NULL))))

De ce fait, une légende composée d'une gamme de couleurs rouges et d'une épaisseur de trait croissante selon le danger, permet une représentation cartographique qui sera détaillée dans la partie Résultats.

Approche quantitative de l'aléa submersion : Litto3D®

Afin d'affiner les résultats obtenus en utilisant le jeu de données Zones Basses, les données Litto3D® produites par le SHOM offrent une précision supérieure mais nécessitent en contrepartie des temps de calcul plus longs. Les zones les plus vulnérables étant déjà identifiées, les cartes sont directement produites à l'échelle communale ou pluricommunale. Le cas de Penmarc'h, commune présentant le plus d'infrastructures routières concernées par le risque de submersion marine à l'échelle du département, sera détaillé dans ce rapport. La méthodologie présentée pourra être appliquée aux autres communes et zones littorales susceptibles d'être impactées.

Les dalles Litto3D®¹² sont préalablement téléchargées via le site du SHOM, en veillant à privilégier Chrome à Firefox, ce dernier ne permettant pas toujours un téléchargement optimal. Tous les fichiers sont décompressés simultanément avec le logiciel 7zip. Pour chaque dalle, ou chaque dossier, les fichiers ascii (*.asc) des MNT5m sont sélectionnés et placés dans un nouveau dossier au plus proche de la racine, ce qui facilite leur manipulation sur QGIS. Le MNT5m possède une précision planimétrique de 5 mètres (x, y) et une précision altimétrique centimétrique (z). Il suffit à obtenir des résultats précis tout en permettant de conserver des temps de calcul raisonnables par rapport au MNT1m ou aux semis de points. En cas d'étude plus approfondie par la suite, il serait envisageable d'utiliser ces derniers pour gagner en précision sur un secteur côtier particulier.

¹² Source : <https://diffusion.shom.fr/pro/risques/litto3dr-finistere-2014.html>

Après avoir importé les fichiers ascii dans QGIS, les dalles sont fusionnées pour créer une unique couche (*Raster > Divers > Fusionner*). Leur reclassification (*Boîte à outils > Reclassification par table*) permet de découper la couche en plusieurs “niveaux”. Pour cela, une table est remplie manuellement.

Pour chaque commune, deux tables sont créées. La première table se base sur la valeur centennale des niveaux extrêmes de pleine mer donnée par le SHOM¹³. Dans le cas de la commune de Penmarc'h, la valeur centennale est de 3,45 m (cf. tableau 3). Deux sous-niveaux sont établis : 0,5 m sous l'aléa de référence et 1 m sous l'aléa de référence. La seconde table est identique à la première avec un ajout de 60 cm pour chaque niveau. Ce chiffre correspond à la fourchette haute du scénario RCP2.6 (*Representative Concentration Pathways*), moyenne du RCP4.5 et basse du RCP8.5, qui sont des scénarios développés dans le 5ème rapport du GIEC (2014)¹⁴ et ses mises à jour, dans l'attente du 6ème rapport prévu pour 2022. Cette donnée correspond à l'aléa submersion à horizon 2100. A Penmarc'h, la valeur centennale des niveaux extrêmes de pleine mer à horizon 2100 sera de 4,05 m (cf. tableau 3). A noter que la valeur de 60 cm pourra être modifiée en cas de réactualisation des prévisions de l'évolution du niveau de la mer.

<i>AUJOURD'HUI</i>			<i>HORIZON 2100</i>		
Reclassification selon le niveau centennal de pleine mer du SHOM (2012) Exemple de la commune de Penmarc'h			Reclassification selon le niveau centennal de pleine mer du SHOM (2012) avec valeur du GIEC Exemple de la commune de Penmarc'h		
Valeur minimale (m)	Valeur maximale (m)	Indice de reclassification	Valeur minimale (m)	Valeur maximale (m)	Indice de reclassification
-28	0	0	-28	0	0
0	2,45	1	0	3,05	1
2,45	2,95	2	3,05	3,55	2
2,95	3,45	3	3,55	4,05	3
3,45	24	24	4,05	24	24

Tableau 3 : Exemple de table de reclassification pour la commune de Penmarc'h définie par le niveau centennal de pleine mer et les prévisions du GIEC, à gauche pour aujourd'hui et à droite à horizon 2100

La fusion des dalles Litto3D® crée une unique dalle qui conserve en chaque point des coordonnées (x,y,z). Les valeurs altimétriques (z) minimales et maximales doivent être comprises dans les tables de reclassification. Dans le cas de Penmarc'h, les valeurs altimétriques extrêmes sont de -27,94 m et 23,12 m, les bornes du tableau seront donc -28 m et 24 m (cf. tableau 3).

Les couches obtenues étant des rasters, elles sont converties en vecteur (*Raster > Conversion > Polygoniser*), puis un *buffer* de 0 m est appliqué pour éliminer les erreurs géométriques. Une couche Penmarch.shp, issue de la BD TOPO®, permet de conserver uniquement la partie terrestre par *intersection*.

¹³ Source : Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique), SHOM, 2012

¹⁴ Source : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat/3-scenarios-et-projections-climatiques>

Les routes sont importées via la BD TOPO® et les portions concernées par le risque de submersion sont identifiées par *intersection* avec les zones potentiellement submersibles.

L'ajout d'attributs de géométrie permet de connaître la longueur des portions de routes concernées par les risques. Un TCD (tableau 4) permet d'apprécier les longueurs de route en fonction de leur nature (nationale, départementale et non renseignée) et de la hauteur d'eau (en m) susceptible de les recouvrir (> 0 à 0,5 ; 0,5 à 1,5 ; 1,5 à 2,5 ; 2,5 et plus).

		Niveaux d'Eau (m)							
		Litto3D				Litto3D et GIEC			
		0 à 2,45	2,45 à 2,95	2,95 à 3,45	Sous-Totaux	0 à 3,05	3,05 à 3,55	3,55 à 4,05	Sous-Totaux
Natures des routes	Autres	4138,7	7950,7	10400,5	22489,9	15058,0	9459,5	9224,7	33742,2
	Départementale	0,0	6,0	355,8	361,8	61,5	539,3	1205,3	1806,2
	Sous-Totaux	4138,7	7956,7	10756,3		15119,5	9998,8	10430,1	
	Total				22851,8				35548,4

Tableau 4 : TCD des longueurs de route (en m) en fonction de leur nature et de la hauteur d'eau potentielle (en m) pour la commune de Penmarc'h, établi à partir des tables de reclassification selon le niveau centennal de pleine mer et les prévisions du GIEC, à gauche pour aujourd'hui et à droite à horizon 2100

Les portions de route sont ensuite classifiées selon un nouvel indicateur (cf. tableaux 4 & 5) défini de façon similaire à celui des tableaux 1 & 2.

Degré de risque	1	2	3	4
Dangers	Faible	Moyen	Fort	Critique

Tableau 5 : Indice de degré de risque défini empiriquement à partir des données Litto3D® en fonction de la nature de la route et de la hauteur d'eau potentielle

La formule suivante permet d'ajouter une colonne dans la table attributaire des routes menacées et d'y renseigner l'indice de danger (*Table attributaire > Activer le mode édition > Ouvrir la calculatrice de champ > Créer un nouveau champ*) :

```
if(("CL_ADMIN" is 'Départementale' and "DN" = 1), 4, if(("CL_ADMIN" = 'Départementale' and "DN" = 2) or ("CL_ADMIN" is NULL and "DN" = 1), 3, if(("CL_ADMIN" = 'Départementale' and "DN" = 3) or ("CL_ADMIN" is NULL and "DN" = 2), 2, if("CL_ADMIN" is NULL and "DN" = 3, 1, NULL))))
```

Comme pour la première étape, cette manipulation permet une représentation cartographique avec une gamme de couleurs rouges et une épaisseur de trait croissante selon le danger. Elle sera détaillée dans la partie Résultats.

Aléa érosion : INEC & CATC

Après avoir isolé la portion côtière de l'INEC correspondant à la localisation souhaitée, deux nouveaux attributs sont ajoutés à la couche.

Le premier (EVOL_TDC) est obtenu en utilisant la formule suivante :

```
if(("taux" <= -3 and "taux" > -10), 1, if(("taux" <= -1.5 and "taux" > -3), 2, if(("taux" <= -0.5 and "taux" > -1.5), 3, if(("taux" < 0 and "taux" > -0.5), 4, if ("taux" = 0, 5, if(("taux" > 0 and "taux" <= 0.5 ), 6, if(("taux" > 0.5 and "taux" <= 1.5 ), 7, if(("taux" > 1.5 and "taux" <= 3), 8, if ("taux" > 3, 9, if("taux" = -9999, 11, NULL))))))))))
```

Cette formule permet de classer les portions de côte selon le tableau 6 :

Evolution annuelle	Indice
Recul supérieur à 3m	1
Recul entre 1,5 et 3m	2
Recul entre 0,5 et 1,5m	3
Recul entre 0 et 0,5m	4
Non perceptible	5
Avancée entre 0 et 0,5m	6
Avancée entre 0,5 et 1,5m	7
Avancée entre 1,5 et 3m	8
Avancée supérieur à 3m	9
Pas de calcul (pas de données)	10
Pas de calcul (ouvrage)	11

Tableau 6 : Table de classification de l'évolution annuelle du trait de côte (en rouge : érosion du trait de côte, en vert : accrétion, en bleu : stabilisation et en gris : présence d'un ouvrage qui ne permet pas l'évolution du trait de côte)

Le second attribut ajouté (EVOL_2100) multiplie par 78 la tendance annuelle observée du trait de côte et permet ainsi d'obtenir une prédiction de son évolution à horizon 2100.

L'*intersection* avec le TCH, permet de découper ce dernier en tronçons de 200 mètres et de lui donner les attributs calculés précédemment de l'évolution du trait de côte sur ces segments.

Afin d'appliquer un *buffer* qui permettra une représentation cartographique des zones érodées, les valeurs de l'évolution du trait de côte doivent être positives. Un nouvel attribut (EVOL2_2100) qui calcule la valeur absolue de EVOL_2100 est donc ajouté grâce à la formule suivante :

```
if ("EVOL_2100" >= -1000, abs("EVOL_2100"), NULL)
```

Le *buffer* est appliqué à partir de la colonne EVOL2_2100. La nouvelle couche ainsi obtenue est *regroupée* puis une *intersection* avec la zone étudiée permet de conserver uniquement la partie terrestre du *buffer* et ainsi d'avoir la zone potentiellement érodée à horizon 2100.

L'emprise moyenne des routes est matérialisée par un *buffer* de 5 m. Comme les routes sont répertoriées dans la BD TOPO® par des lignes, le *buffer* leur confère une largeur de 10 m ce qui permet de prendre en compte les accotements et les fossés, car en cas de dommage de ces derniers, les routes sont déjà considérées comme vulnérables au risque d'érosion.

L'*intersection* entre les routes et les zones d'érosion donne les portions de routes concernées par le risque. Sont conservées uniquement les routes permettant l'accès des véhicules lourds. Pour faciliter la lecture cartographique, les routes concernées par le risque d'érosion sont représentées par leur centroïdes (*Outils de géométrie > Centroides*) ce qui permet de visualiser des points sur la carte.

Pour compléter la représentation cartographique, la CATC permet d'obtenir la portion du TCH aménagé qui ne connaît pas de recul annuel.

Résultats

Après export au format .svg, les cartes sont mises en page à l'aide du logiciel Publisher de la suite Affinity. Sont disponibles en annexes l'ensemble des cartes réalisées durant ce stage non présentées dans le corps du rapport.

Approche qualitative de l'aléa submersion : Zones basses

Les résultats obtenus avec les données Zones Basses du Cerema permettent de dresser des cartes présentant un premier niveau de précision.

Par souci de lisibilité, les longueurs de routes menacées par le risque de submersion par commune sont représentées par des diagrammes sectoriels de taille proportionnelle afin de réaliser une carte du Finistère (figure 2). Les diagrammes sont divisés selon les proportions de routes concernées par les indices allant de 1 à 4. Les communes les plus sévèrement touchées sont identifiées et des cartes individuelles leur sont consacrées.

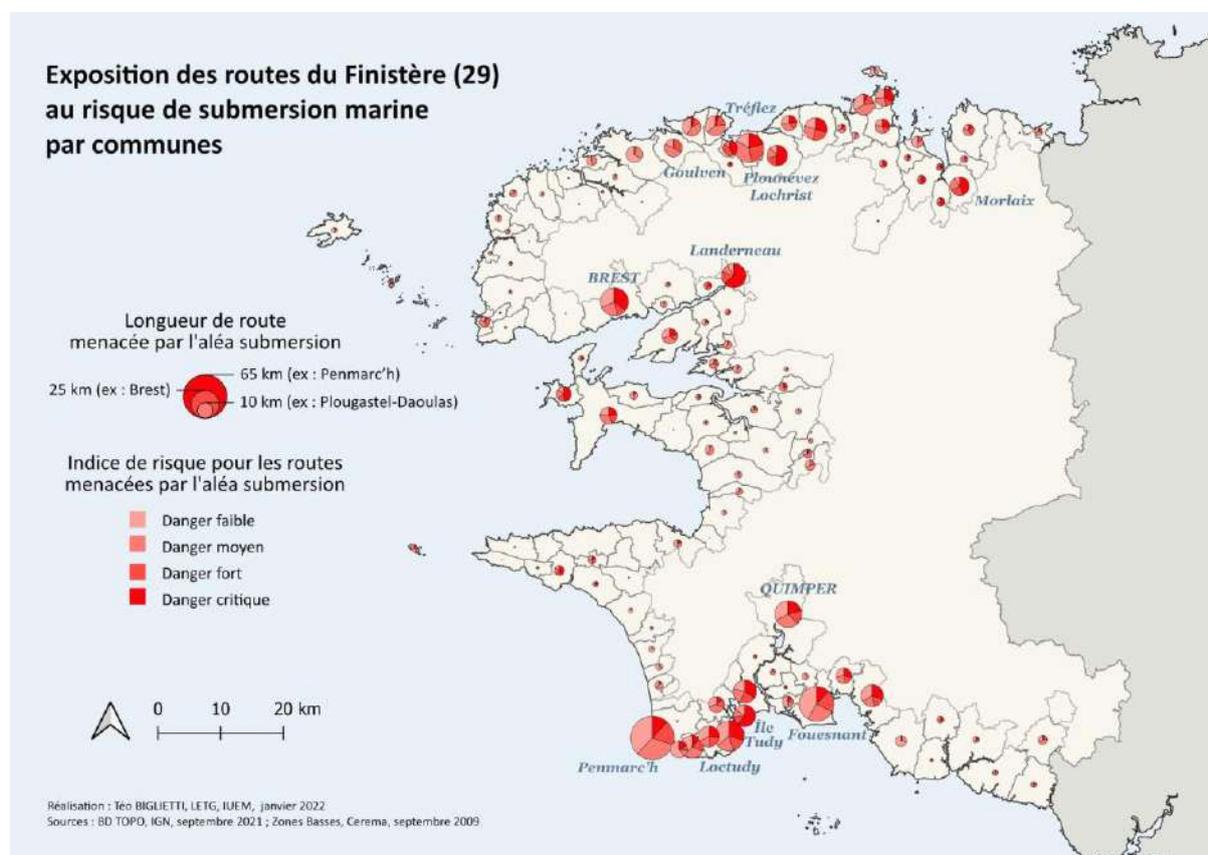


Figure 2 : Exposition des routes du Finistère au risque de submersion marine, réalisé à partir des données Zones Basses

La figure 2 met en avant la vulnérabilité relativement importante de certaines communes ou portions littorales. Dix d'entre-elles ont été identifiées (cf. tableau 7) et cartographiées :

- Fouesnant ;
- Quimper ;

- Combrit et l'Île-Tudy ;
- Loctudy et Plobannaec-Lesconil ;
- Le Guilvinec et Treffiagat ;
- Penmarc'h ;
- Landerneau ;
- Brest ;
- La baie de Goulven (Plounéour-Brignogan-Plages, Plouider, Goulven, Tréfléz et Plounévez-Lochrist) ;
- La baie de Morlaix (Taulé, Locquéolé, Saint-Martin-des-Champs, Morlaix et Plouezoc'h).

Communes ou portions littorales	Longueur totale de route concernée (en m) à partir des données Zones Basses
Tréfléz, Goulven, Plouider, Plounévez-Lochrist et Plounéour-Brignogan-Plage	67256,9
Penmarch	65431,5
Loctudy et Plobannaec-Lesconil	46510,9
Fouesnant	41597,3
Combrit et Île-Tudy	35005,4
Treffiagat le Guilvinec	27902,6
Brest	26508,1
Quimper	24958,3
Morlaix, Taulé, St-Martin-des-Champs, Plouezoc'h et Locquéolé	20925,6
Landerneau	20140,7

Tableau 7 : Longueur totale de route concernée par le risque de submersion selon les communes ou les portions littorales identifiées comme les plus sensibles à partir des données Zones Basses

Le linéaire côtier du Finistère est inégalement soumis au risque de submersion en raison de sa topographie et du type de côte. Par exemple, les côtes rocheuses hautes peuvent être moins soumises au risque de submersion marine que des côtes d'accumulation basses, certaines portions de côte concentrent les enjeux quand d'autres sont vierges d'infrastructures, etc.

L'étude des données Zones Basses nous permet une vue d'ensemble qualitative et une identification des sites les plus fortement exposés (cf. figure 2). Le linéaire routier menacé s'élève au total à 658,6 km pour l'ensemble du département.

Comme dans la partie précédente, le cas de Penmarc'h est développé et les manipulations effectuées peuvent être répétées à l'identique pour chacune des localisations identifiées ou sur d'autres localisations au besoin.

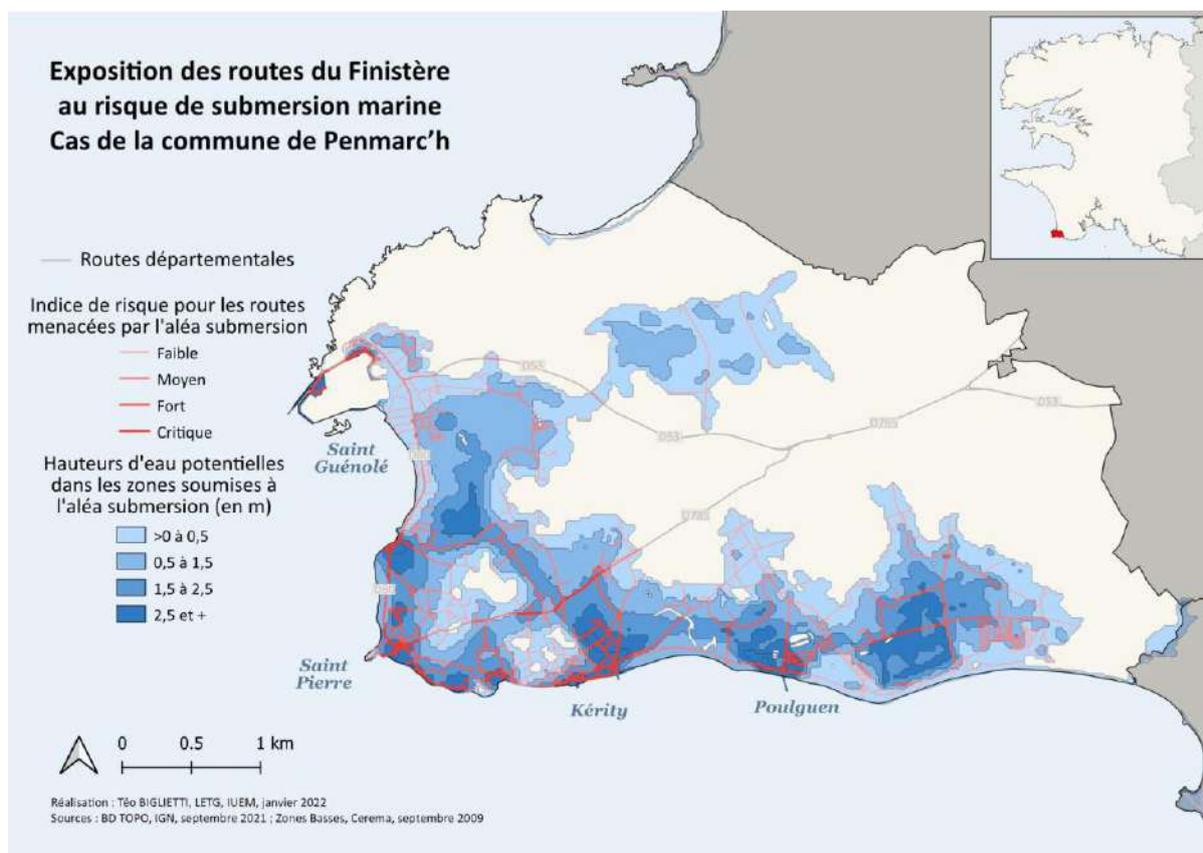


Figure 3 : Exposition des routes de la commune de Penmarc'h au risque de submersion marine, réalisé à partir des données Zones Basses

La commune de Penmarc'h compte 65,4 km de routes menacées par le risque de submersion marine (cf. figure 3). Elle est de ce fait la commune la plus menacée du département (la baie de Goulven comporte plus de linéaire routier menacé, mais il s'agit d'un ensemble de communes).

Certains quartiers de Penmarc'h sont particulièrement exposés. C'est le cas de Saint-Guénolé, Saint-Pierre, Kérity ou encore Poulguen.

Approche quantitative de l'aléa submersion : Litto3D®

L'étude des données Litto3D® offre une analyse quantitative des sites précédemment identifiés. Les indices de vulnérabilité définis précédemment (cf. tableaux 2 et 5) ne sont pas comparables entre eux et sont ici utilisés à titre indicatif, dans un objectif cartographique. En effet, les hauteurs d'eau utilisées pour les Zones Basses et Litto3D® n'étant pas les mêmes, seule la somme des portions de routes potentiellement submersibles permet la comparaison.

Les nouveaux résultats obtenus pour la commune de Penmarc'h (cf. figures 4 et 5) montrent que les données Litto3D® présentent une exposition moindre de la commune à la submersion marine. En effet, le linéaire routier concerné total est moins élevé tout en restant relativement important puisqu'il concerne plus de 22 km de route aujourd'hui et plus de 35 km à horizon 2100, comme le montre le tableau 8.

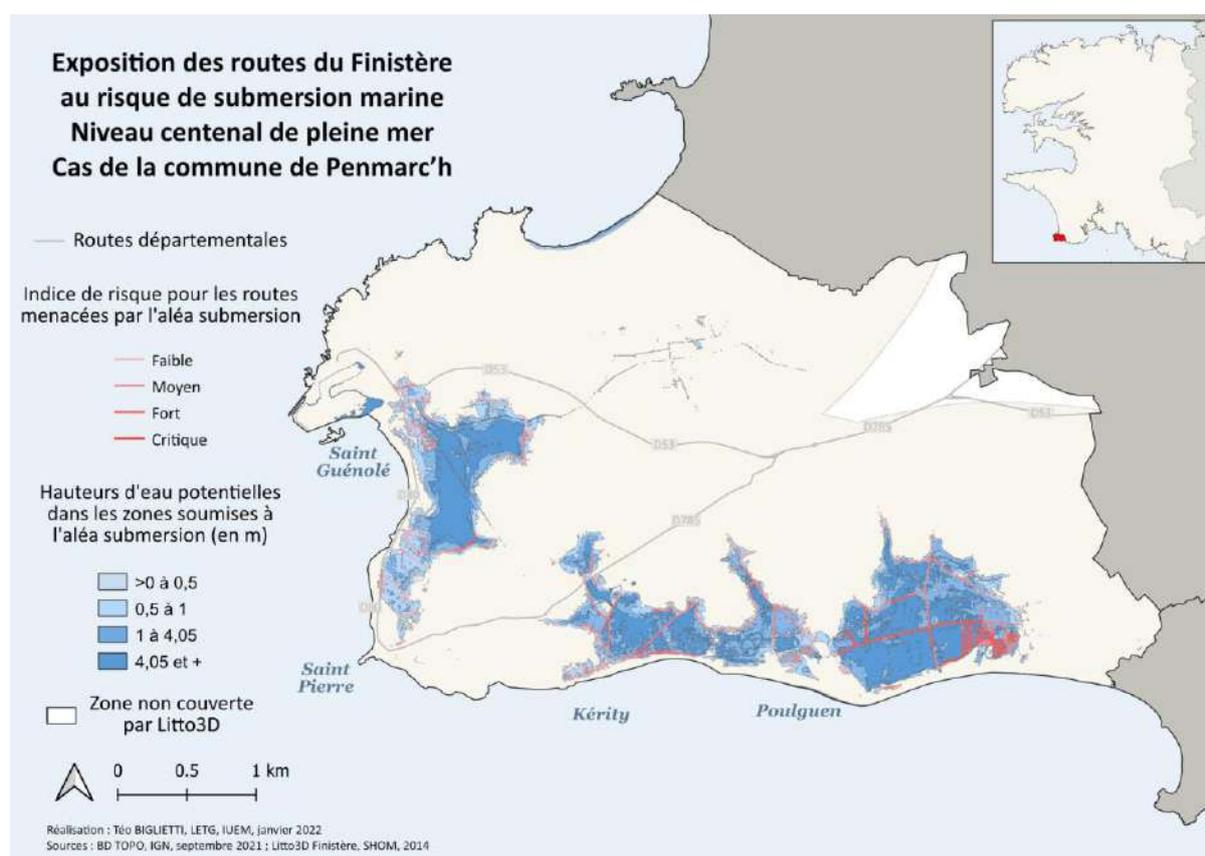


Figure 4 : Exposition des routes de la commune de Penmarc'h au risque de submersion marine, niveau centennal de pleine mer calculé à partir des données Litto3D®

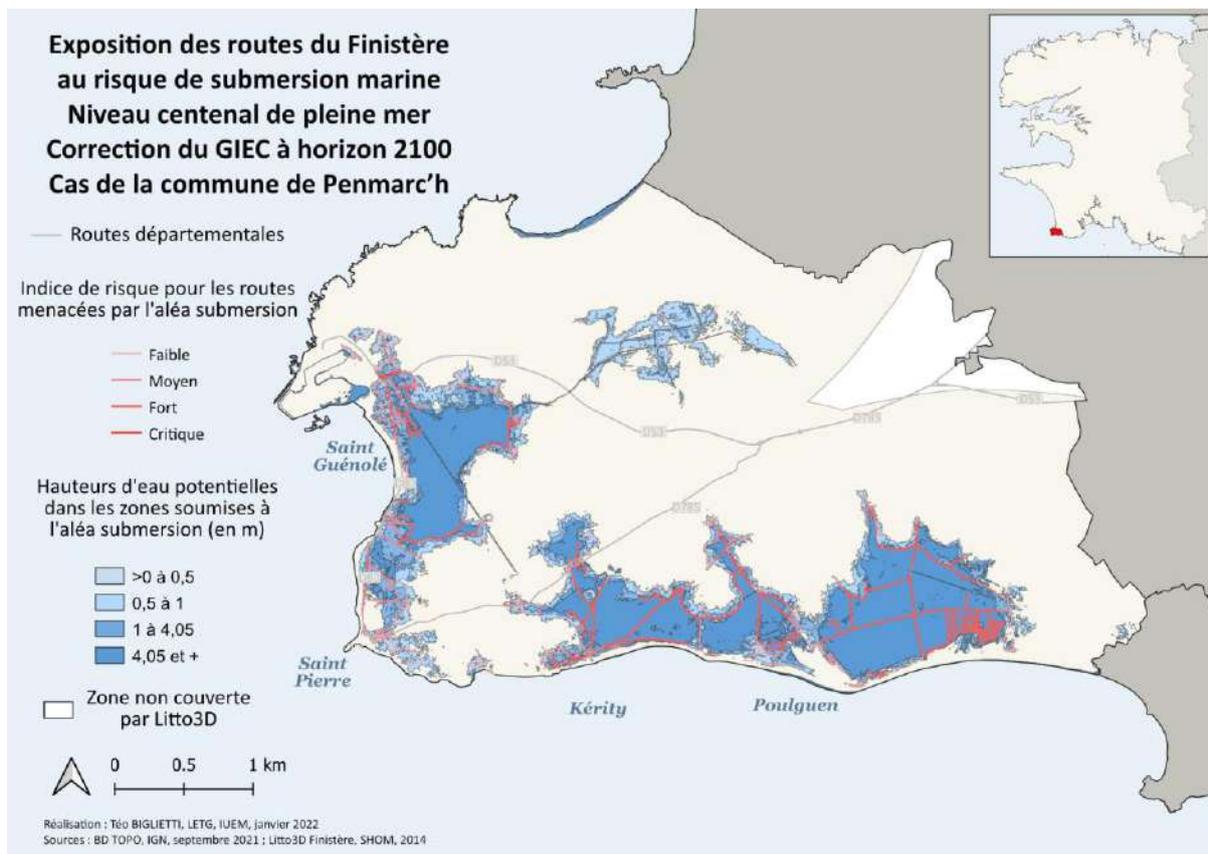


Figure 5 : Exposition des routes de la commune de Penmarc'h au risque de submersion marine, niveau centenal de pleine mer calculé à partir des données Litto3D® et corrigé avec les valeurs du GIEC à horizon 2100

	Longueur de route totale concernée (en m)		
	Zones Basses	Litto3D®	Litto3D® et GIEC
Penmarch	65431,5	22851,8	35548,4

Tableau 8 : Longueur de route totale concernée par le risque de submersion sur la commune de Penmarc'h à partir des données Zones Basses et Litto3D® avec ou sans correction du GIEC

Aléa érosion : INEC & CATC

Pour l'étude du risque d'érosion, seul le cas du pays Bigouden a été traité. Le cas de Penmarc'h était peu problématique car seuls deux chemins correspondant à des entrées de plage sont mis en évidence par cette méthode. Dans le cas du pays Bigouden (cf. figure 6), un total de 30 routes sont vulnérables dont 10 chemins, 10 routes empierrées et 10 routes à une chaussée (appellations utilisées par l'IGN dans la BD TOPO®). La totalité de ces routes concernent des entrées ou des parkings de bord de plage, comme le présente la figure 7 pour le cas du quartier de Larvor à Loctudy.

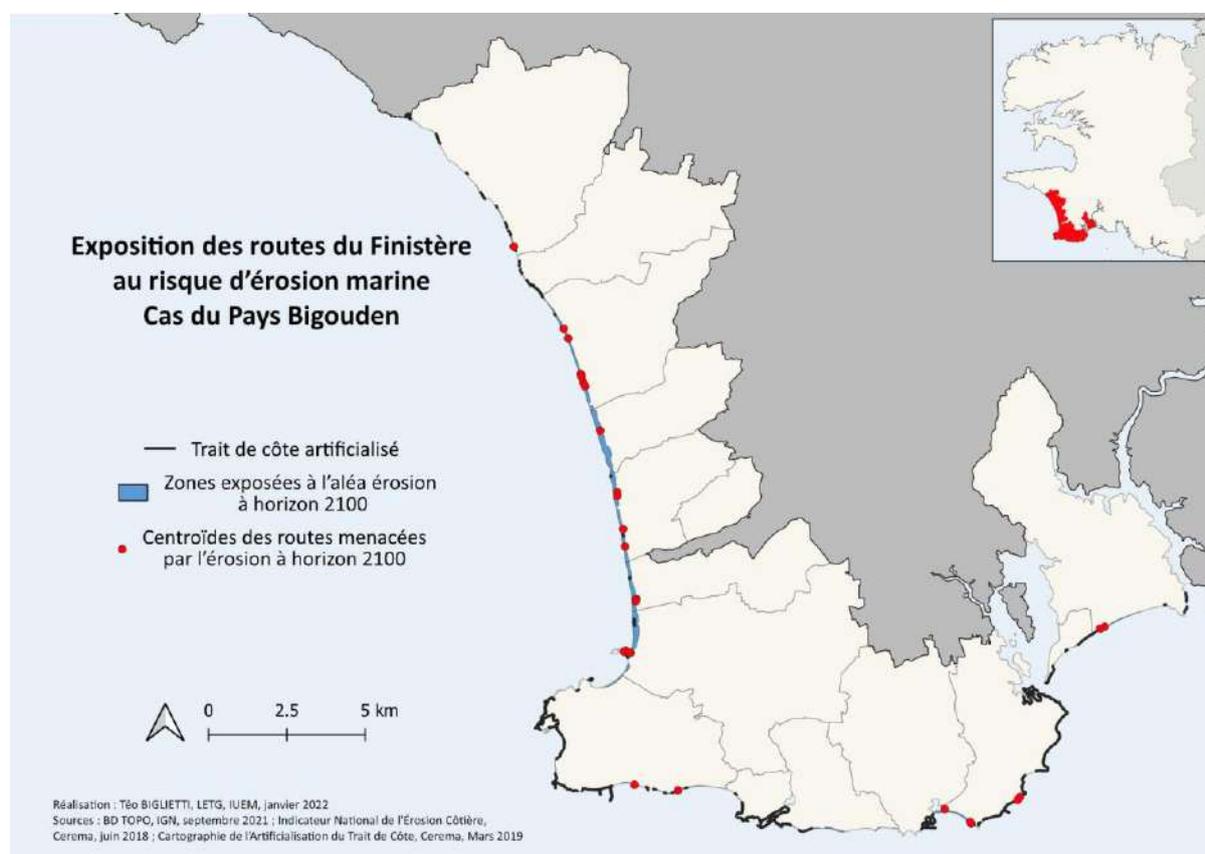


Figure 6 : Exposition des routes du Pays Bigouden au risque d'érosion marine, calculé à partir de l'INEC et de la CATC

Il apparaît que certaines routes déjà connues comme étant menacées par le risque d'érosion ne ressortent pas ici. C'est par exemple le cas de la route départementale D40 qui borde la plage de Penhors à cheval entre les communes de Pouldreuzic et de Plovan. Régulièrement soumise aux risques d'érosion et de submersion en période hivernale, celle-ci est protégée des assauts de l'océan par un cordon de galets qui a rompu à plusieurs reprises lors de tempêtes. Les dernières en date étant la tempête Eleanor du 3 janvier 2018¹⁵ et la tempête Justine du 30 janvier 2021¹⁶.

¹⁵ Source : Penhors, le cordon de galets s'est disloqué, Le Télégramme, 04/01/2018
<https://www.letelegramme.fr/finistere/pouldreuzic/penhors-le-cordon-de-galets-s-est-disloque-04-01-2018-11801310.php>

¹⁶ Source : A Pouldreuzic, les galets de Penhors soufflés par la tempête Justine, Le Télégramme, 31/01/2021
<https://www.letelegramme.fr/finistere/pouldreuzic/a-pouldreuzic-les-galets-de-penhors-souffles-par-la-tempete-justine-31-01-2021-12697061.php>



Figure 7 : Exposition des routes du quartier de Larvor à Loctudy au risque d'érosion marine, calculé à partir de l'INEC et de la CATC

En effet, l'analyse menée comporte plusieurs limites :

- Le TCH est peu précis à l'échelle locale (réalisé au 1/15000) et n'a pas été actualisé depuis 2007 ;
- L'INEC étant produit à partir de photographies aériennes/d'orthophotographies, il ne donne pas forcément des taux d'évolution du trait de côte représentatifs de la vitesse d'érosion. Comme il est indiqué dans la généalogie des métadonnées de la couche : l'INEC "représente des tendances d'évolution pluriannuelles entre deux dates qui ne rendent pas nécessairement compte des dynamiques d'évolution au sein même de la période observée, ni des potentiels changements récents de dynamique." Par exemple, le recul des falaises est très difficile à quantifier car il ne se produit pas de façon continue mais par des événements ponctuels pouvant être importants et rarement prévisibles ;
- La présence d'ouvrages est ici considérée comme protégeant le trait de côte de l'érosion, les routes qu'ils protègent étant ainsi considérées comme non exposées au risque d'érosion ;
- Les ouvrages qui s'abîment ou se déchaussent via le phénomène d'érosion ne sont pas pris en compte. Ils génèrent pourtant un danger et occasionnent des coûts de maintenance importants.

Il en résulte que la compréhension de l'exposition des routes à l'érosion nécessite des investigations de terrain et des mesures lors d'événements ponctuels majeurs. Peu de routes sont exposées au risque d'érosion dans le Finistère, mais quelques exemples sont préoccupants sur des portions de l'ordre de quelques mètres à la centaine de mètres. En effet, ces routes peuvent être coupées en cas d'événement ponctuel, comme pour les communes de Saint Nic, Locquirec, Telgruc, Argol, etc.

Conclusion & perspectives

Afin de poursuivre la démarche entreprise lors de ce stage, il est envisageable de généraliser les traitements proposés pour analyser les risques d'érosion et de submersion marine dans l'ensemble des lieux jugés sensibles dans le département. Coupler les données d'érosion et de submersion permettra de définir les zones vulnérables aux risques côtiers et de prioriser les lieux où des interventions seront nécessaires. Éventuellement, si la donnée existe, étudier la submersion associée à des événements météo-marins générant des surcotes pourrait être envisagé. La fréquentation (nombre de véhicules par jour) des portions de routes concernées pourrait être intégrée à la définition de l'indice de risque. L'identification des lieux isolés des secours en cas de blocage d'un accès viendrait fournir des éléments de compréhension supplémentaires et d'aide à la décision quant aux moyens à développer. Un travail complémentaire de terrain permettrait de contrôler, d'avérer ou de contester les données obtenues par traitement numérique, notamment dans le contexte finistérien d'érosion qui nécessite la réalisation de diagnostics de terrain.

Les lieux, les types de route, et les linéaires concernés permettraient de définir des espaces où s'appliquent des contraintes spatiale et/ou temporaire comme la baie de Morlaix ou la baie de Goulven, et des lieux où sont mises en jeu des contraintes sécuritaires comme le cas de l'Île-Tudy.

Ainsi, une estimation budgétaire en fonction des résultats obtenus pourrait être réalisée par le CD29 avec un coût en fonction du linéaire de route concerné, de même qu'une planification de travaux.

Ce schéma pourrait être répété pour analyser la vulnérabilité d'autres types d'équipements et d'activités tels que les activités aquacoles, les espaces portuaires et les terres et infrastructures agricoles face aux risques côtiers.

Ces différentes études pourraient être menées dans le cadre de stages de Master dans le cadre du partenariat Litto'Risques. Leurs résultats pourraient permettre de compléter les indicateurs de vulnérabilité intégré dans l'interface web-SIG de l'observatoire régional OSIRISC¹⁷.

¹⁷ Plus d'information sur le site : <https://www.risques-cotiers.fr/connaitre-les-risques-cotiers/projets/osirisc/>

Table des figures

Figure 1 : Schématisation du risque, résultat d'un aléa combiné à un enjeu

Figure 2 : Exposition des routes du Finistère au risque de submersion marine, réalisé à partir des données Zones Basses

Figure 3 : Exposition des routes de la commune de Penmarc'h au risque de submersion marine, réalisé à partir des données Zones Basses

Figure 4 : Exposition des routes de la commune de Penmarc'h au risque de submersion marine, niveau centennal de pleine mer calculé à partir des données Litto3D®

Figure 5 : Exposition des routes de la commune de Penmarc'h au risque de submersion marine, niveau centennal de pleine mer calculé à partir des données Litto3D® et corrigé avec les valeurs du GIEC à horizon 2100

Figure 6 : Exposition des routes du Pays Bigouden au risque d'érosion marine, calculé à partir de l'INEC et de la CATC

Figure 7 : Exposition des routes du quartier de Larvor à Loctudy au risque d'érosion marine, calculé à partir de l'INEC et de la CATC

Table des tableaux

Tableau 1 : TCD des longueurs de route (en m) en fonction de leur nature et de la hauteur d'eau potentielle (en m) à l'échelle du département du Finistère à partir de données Zones Basses

Tableau 2 : Indice de degré de risque défini empiriquement à partir des données Zones Basses en fonction de la nature de la route et de la hauteur d'eau potentielle

Tableau 3 : Exemple de table de reclassification pour la commune de Penmarc'h définie par le niveau centennal de pleine mer et les prévisions du GIEC, à gauche pour aujourd'hui et à droite à horizon 2100

Tableau 4 : TCD des longueurs de route (en m) en fonction de leur nature et de la hauteur d'eau potentielle (en m) pour la commune de Penmarc'h, établi à partir des tables de reclassification selon le niveau centennal de pleine mer et les prévisions du GIEC, à gauche pour aujourd'hui et à droite à horizon 2100

Tableau 5 : Indice de degré de risque défini empiriquement à partir des données Litto3D® en fonction de la nature de la route et de la hauteur d'eau potentielle

Tableau 6 : Table de classification de l'évolution annuelle du trait de côte (en rouge : érosion du trait de côte, en vert : accrétion, en bleu : stabilisation et en gris : présence d'un ouvrage qui ne permet pas l'évolution du trait de côte)

Tableau 7 : Longueur totale de route concernée par le risque de submersion selon les communes ou les portions littorales identifiées comme les plus sensibles à partir des données Zones Basses

Tableau 8 : Longueur de route totale concernée par le risque de submersion sur la commune de Penmarc'h à partir des données Zones Basses et Litto3D® avec ou sans correction du GIEC

Bibliographie

- CEPRI (2018), *Le secteur de la santé face au risque d'inondation - Guide de sensibilisation*, 56p.
- Drejza S., Bernatchez P., Marie G. & Friesinger S. (2019), *Quantifying road vulnerability to coastal hazards: Development of a synthetic index*. *Ocean & Coastal Management*, vol. 181, p. 104894, 11p.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104894>
- SHOM (2012), *Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique)*, 160p.
- SHOM & IGN (2015), *Litto3D® Version 1.0 - Descriptif de contenu*, 32p.

Sitographie

- Cerema (2009), "Zones basses". Consulté le 3 février 2022, à l'adresse suivante :
<https://www.geocatalogue.fr/Detail.do?fileIdentifieur=06dfc140-d120-4d01-82d8-0f68a78c03d1>
- Cerema (2015), "Indicateur national de l'érosion côtière". Consulté le 3 février 2022, à l'adresse suivante :
<https://www.geocatalogue.fr/Detail.do?fileIdentifieur=43746f84-6577-4e97-bd8b-1436532ed4b2>
- Cerema (2018), "Cartographie de l'artificialisation du trait de côte". Consulté le 3 février 2022, à l'adresse suivante :
<https://www.geocatalogue.fr/Detail.do?fileIdentifieur=1cb26648-a91f-4d66-8619-80442834c5aa>
- Ministère de la Transition Ecologique (2021), "Scénarios et projections climatiques". Consulté le 3 février 2022, à l'adresse suivante :
<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat/3-scenarios-et-projections-climatiques.php>
- IGN (2021), "Géoservices". Consulté le 3 février 2022, à l'adresse suivante :
<https://geoservices.ign.fr/>
- Le Télégramme (2018), "Penhors. Le cordon de galets s'est disloqué". Consulté le 3 février 2022, à l'adresse suivante :
<https://www.letelegramme.fr/finistere/pouldreuzic/penhors-le-cordon-de-galets-s-est-disloque-04-01-2018-11801310.php>
- Le Télégramme (2021), "À Pouldreuzic, les galets de Penhors soufflés par la tempête Justine". Consulté le 3 février 2022, à l'adresse suivante :
<https://www.letelegramme.fr/finistere/pouldreuzic/a-pouldreuzic-les-galets-de-penhors-souffles-par-la-tempete-justine-31-01-2021-12697061.php>
- Pays de Châlons-en-Champagne (2018), "Comprendre les inondations". Consulté le 3 février 2022, à l'adresse suivante :
<https://www.paysdechalonenchampagne.com/comprendre-les-inondations>
- Risques côtiers (2019), "Osirisc". Consulté le 3 février 2022, à l'adresse suivante :
<https://www.risques-cotiers.fr/connaitre-les-risques-cotiers/projets/osirisc/>
- Risques côtiers (2021), "Litto'Risques". Consulté le 3 février 2022, à l'adresse suivante :
<https://www.risques-cotiers.fr/connaitre-les-risques-cotiers/projets/littorisques/>
- SHOM (2007), "Trait de côte Histolitt". Consulté le 3 février 2022, à l'adresse suivante :
<https://geo.data.gouv.fr/fr/datasets/5963a6099d7ec69f3214a440f4c6743526f0bb48>
- SHOM (2014), "Litto3D® - Finistère 2014". Consulté le 3 février 2022, à l'adresse suivante :
<https://diffusion.shom.fr/pro/risques/litto3dr-finistere-2014.html>

Annexes

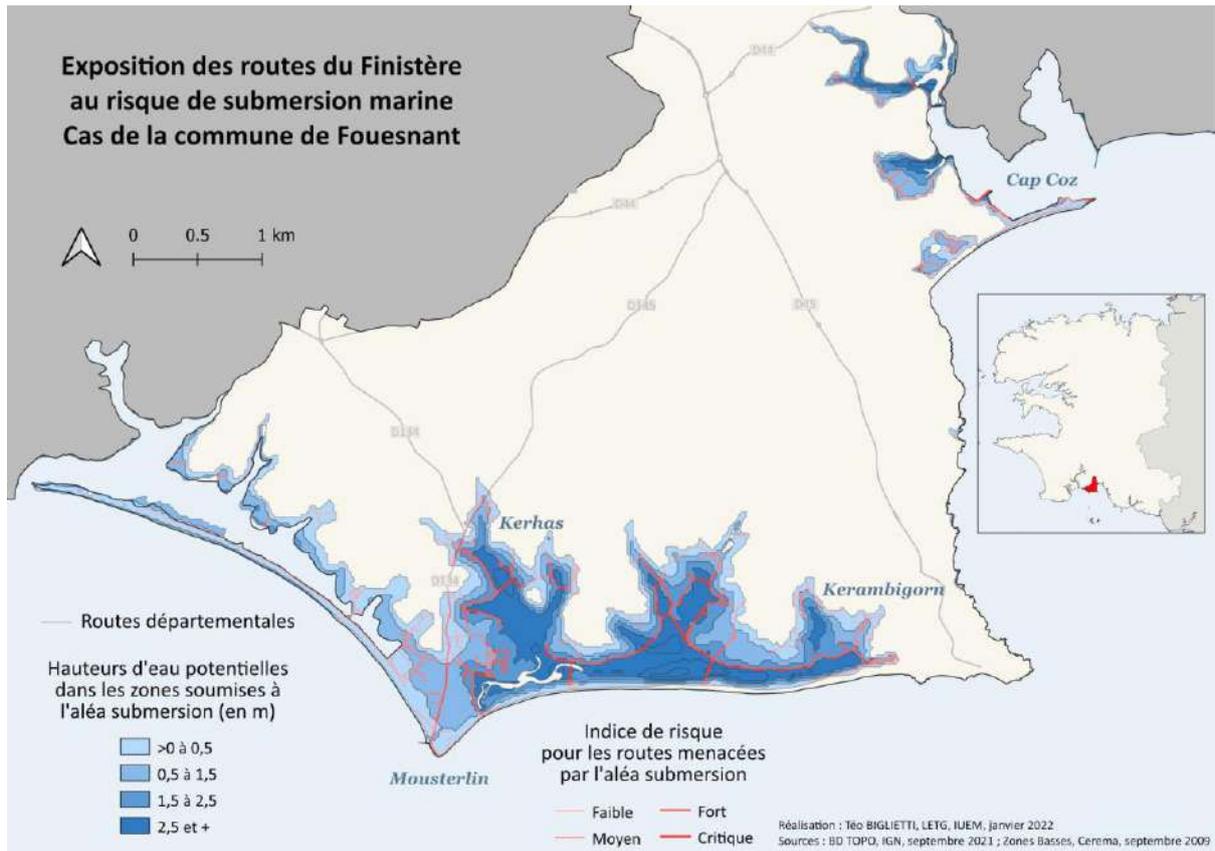


Figure 1 : Exposition des routes de la commune de Fouesnant au risque de submersion marine

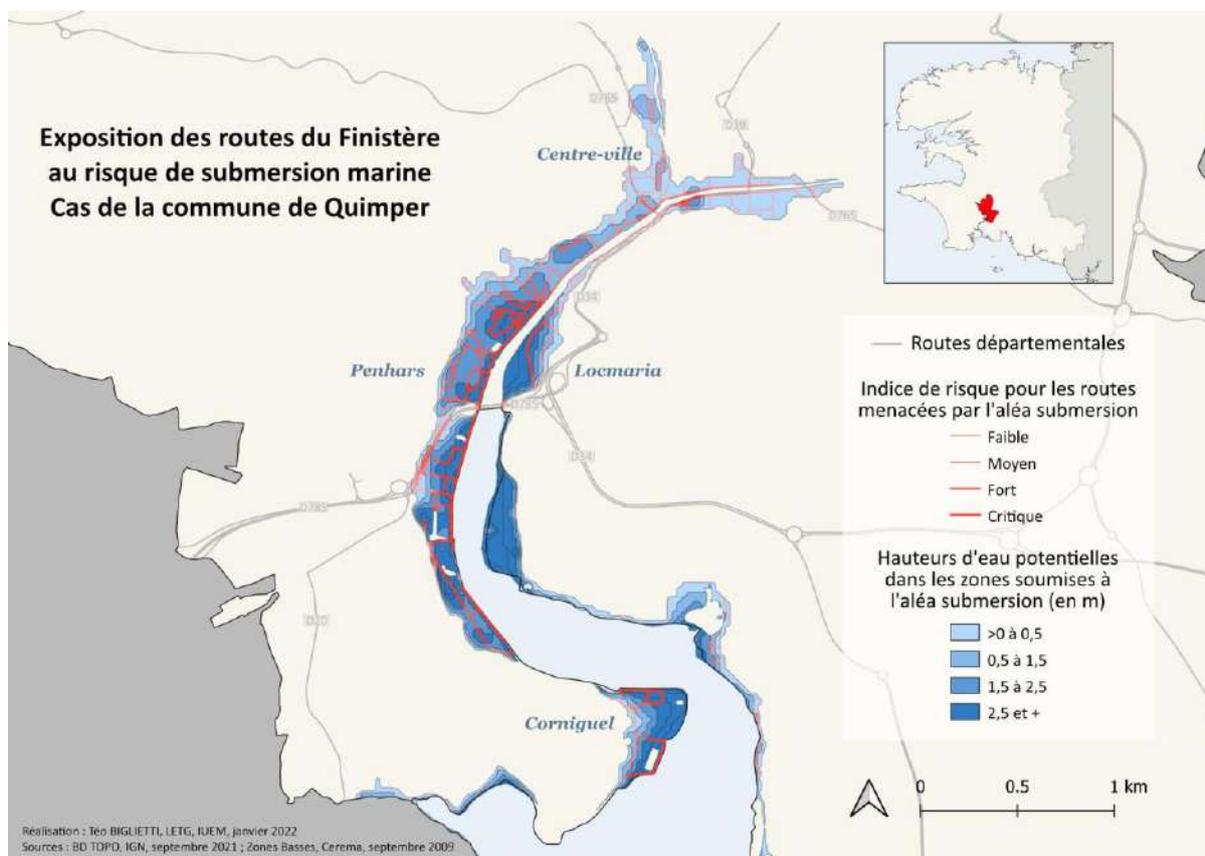


Figure 2 : Exposition des routes de la commune de Quimper au risque de submersion marine

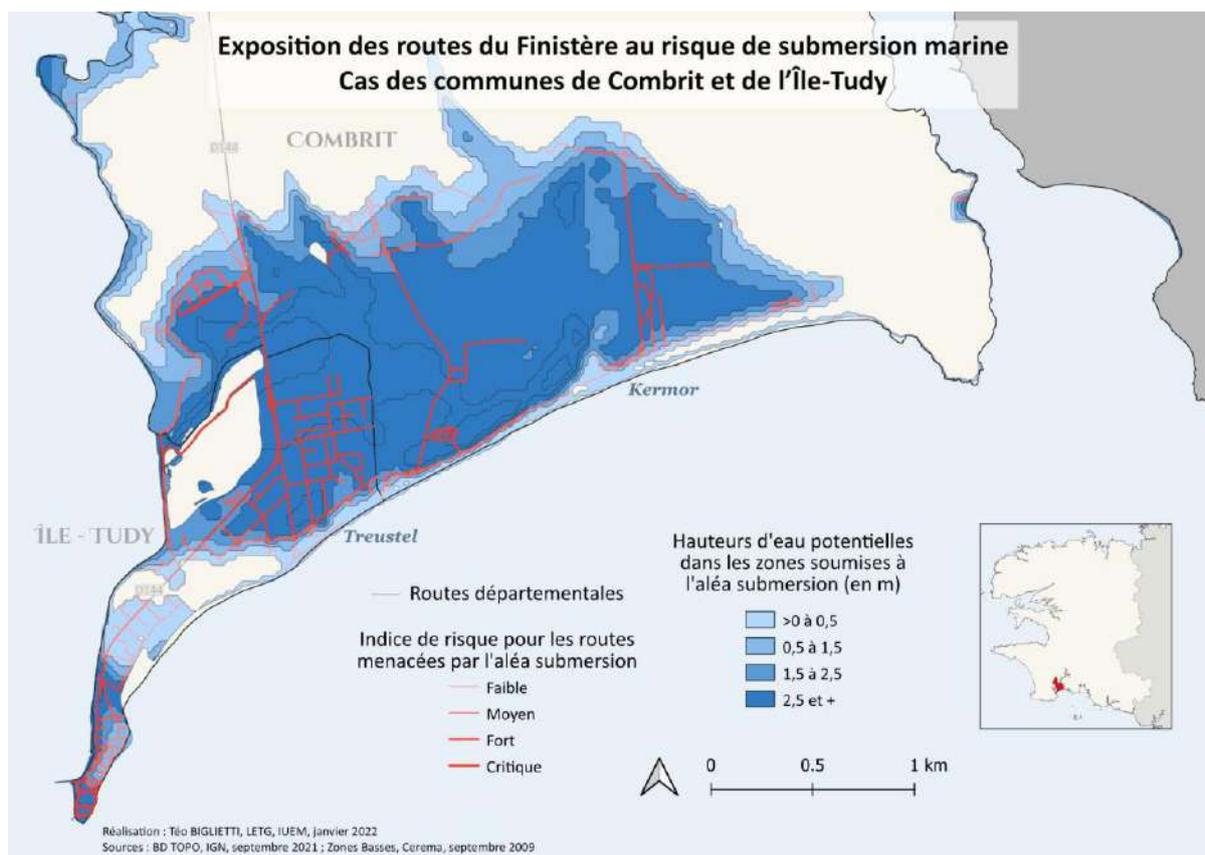


Figure 3 : Exposition des routes des communes de Combrit et de l'Île-Tudy au risque de submersion marine

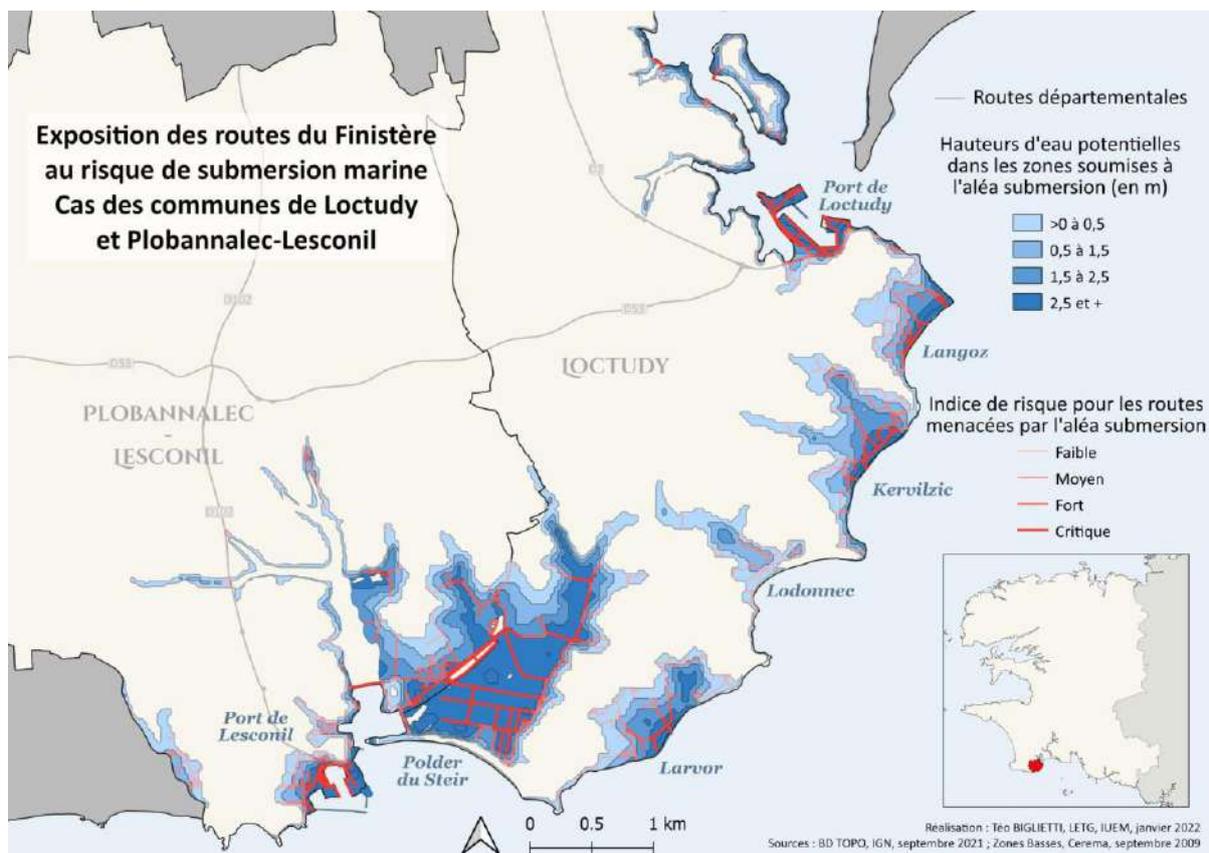


Figure 4 : Exposition des routes des communes de Loctudy et Plobannaec-Lesconil au risque de submersion marine

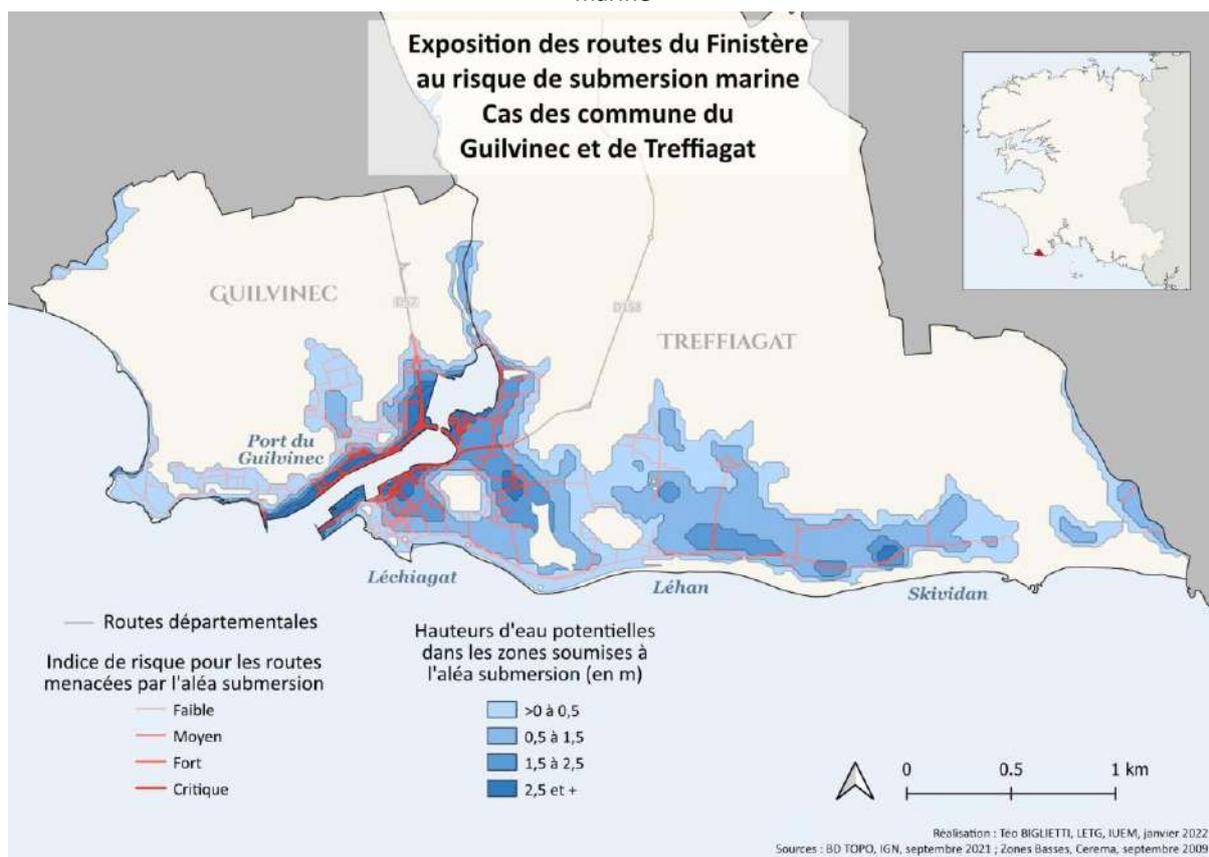


Figure 5 : Exposition des routes des communes du Guilvinec et de Treffiagat au risque de submersion marine

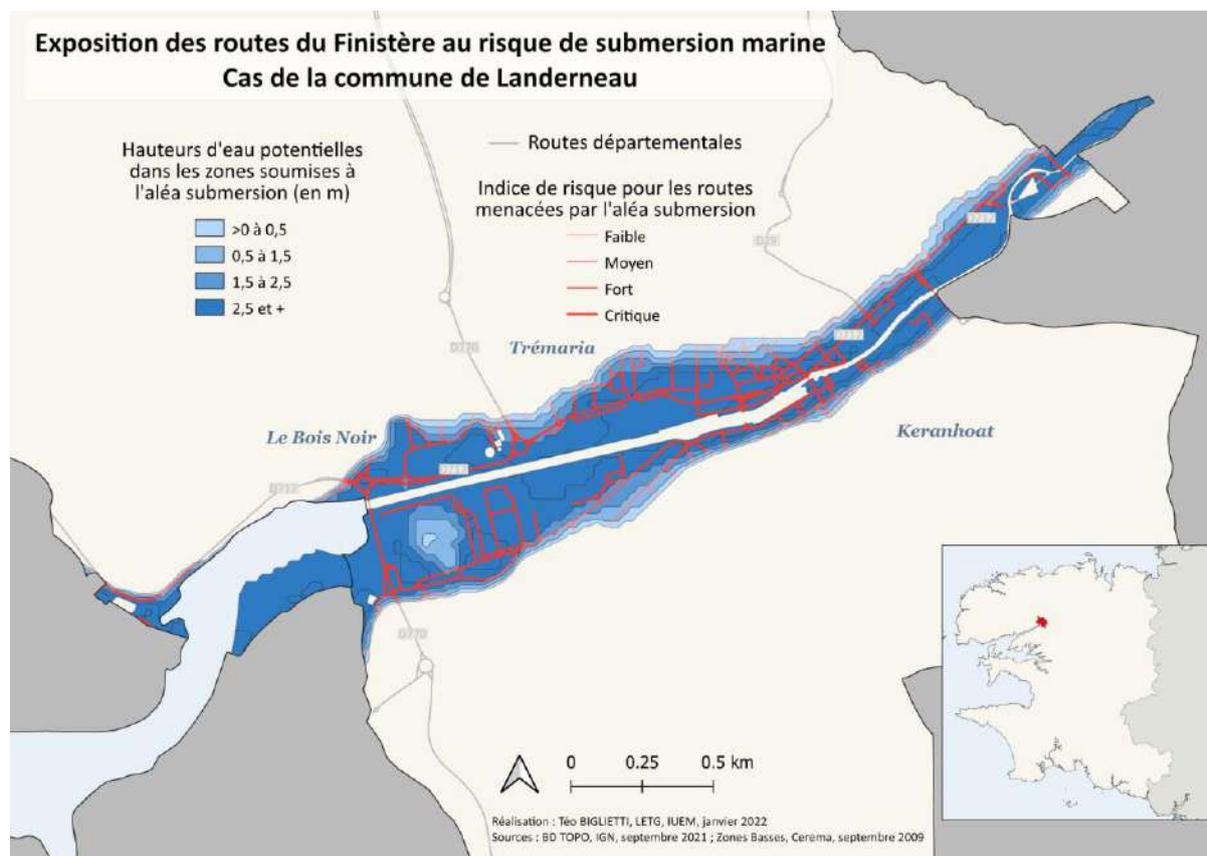


Figure 6 : Exposition des routes de la commune de Landerneau au risque de submersion marine

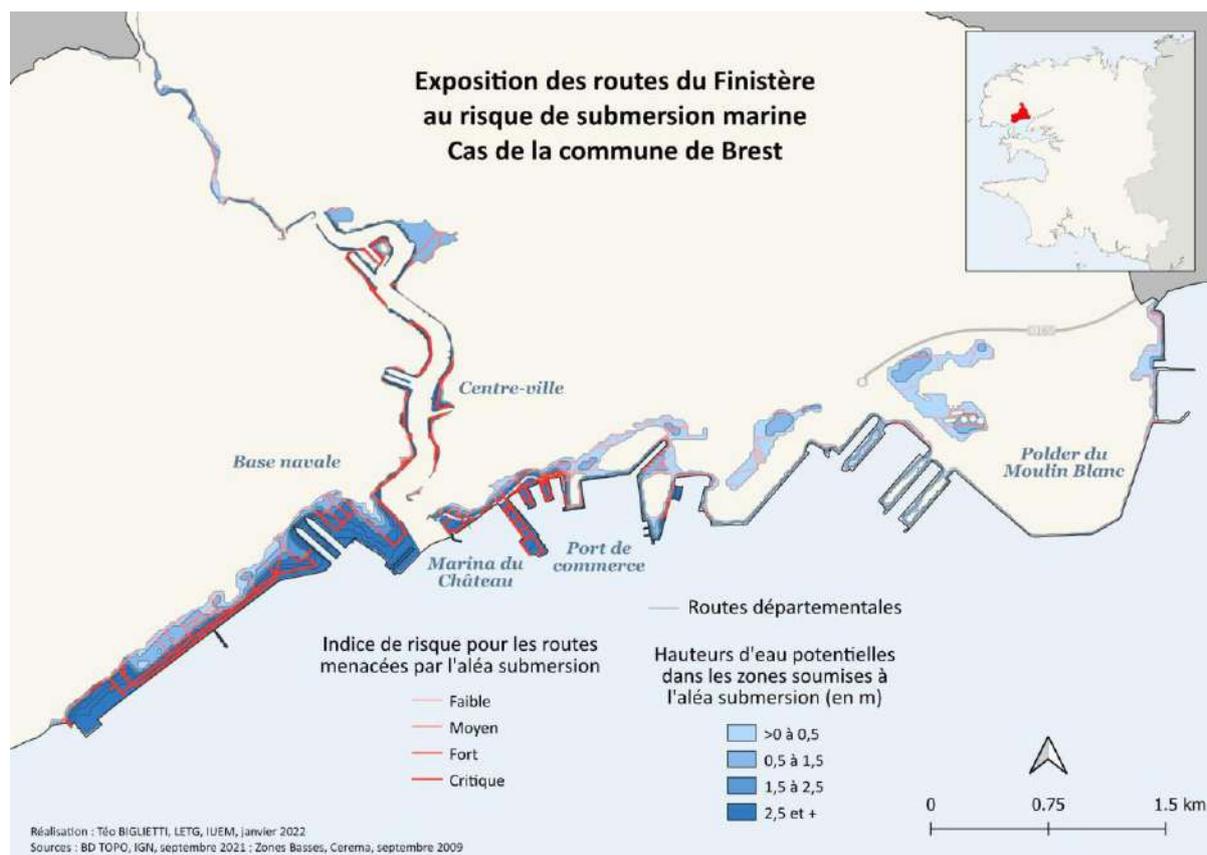


Figure 7 : Exposition des routes de la commune de Brest au risque de submersion marine

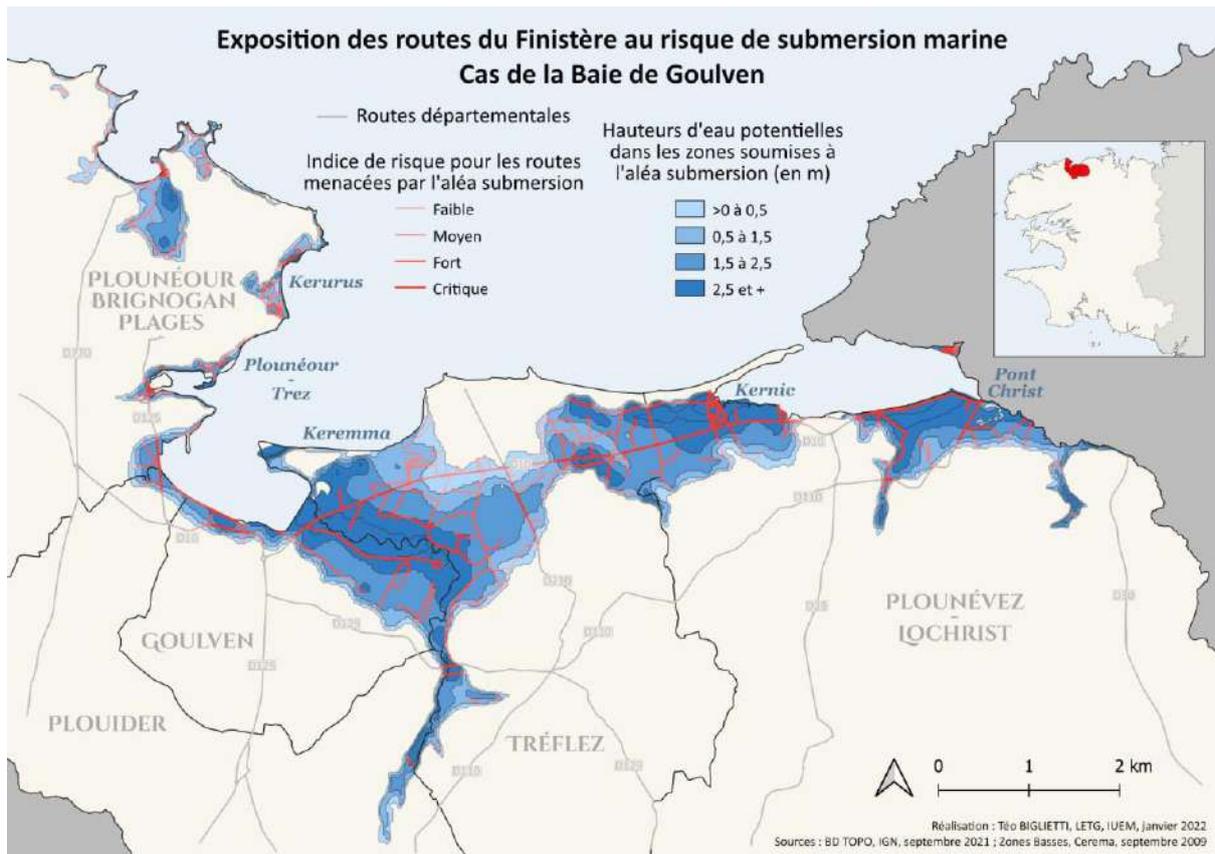


Figure 8 : Exposition des routes des communes bordant la baie de Goulven au risque de submersion marine

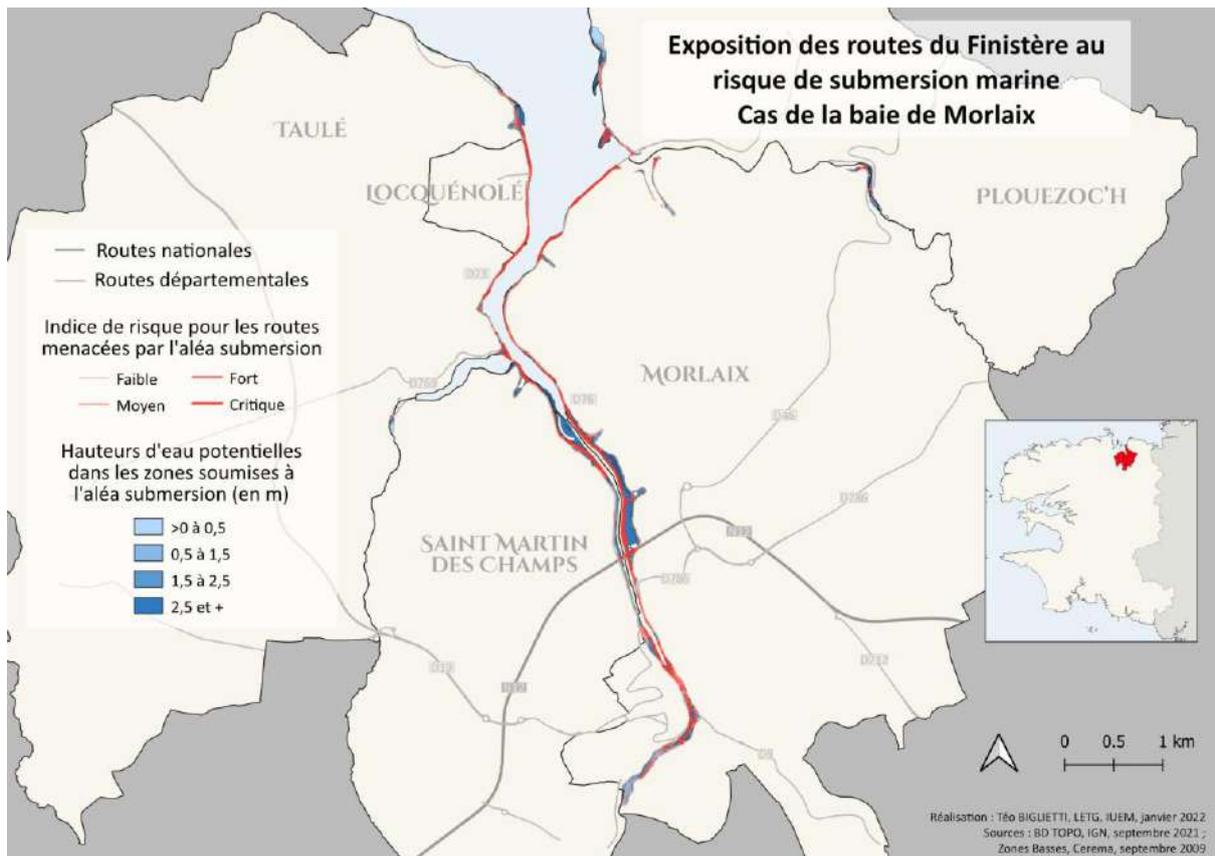


Figure 9 : Exposition des routes des communes bordant la baie de Morlaix au risque de submersion marine

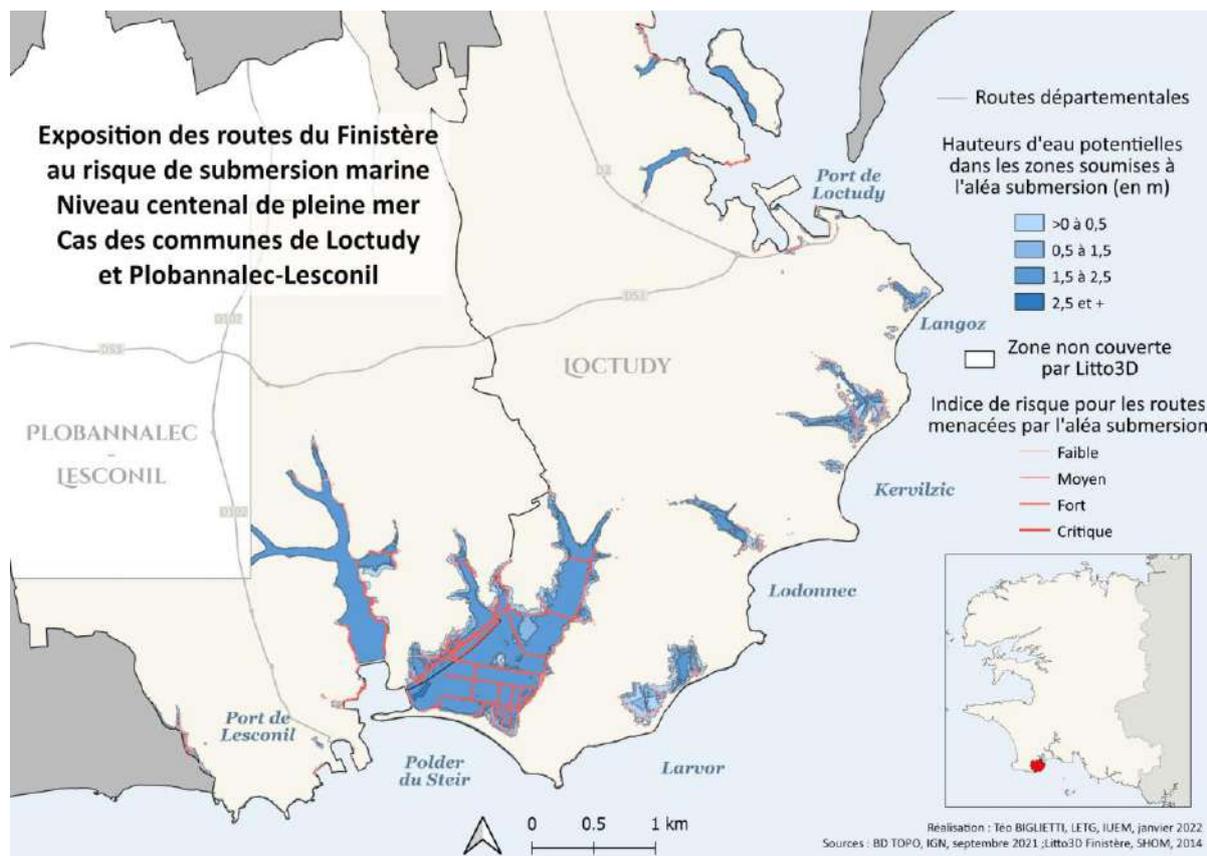


Figure 10 : Exposition des routes des communes de Loctudy et Plobannaec-Lesconil au risque de submersion marine, niveau centennal de pleine mer calculé à partir des données Litto3D®

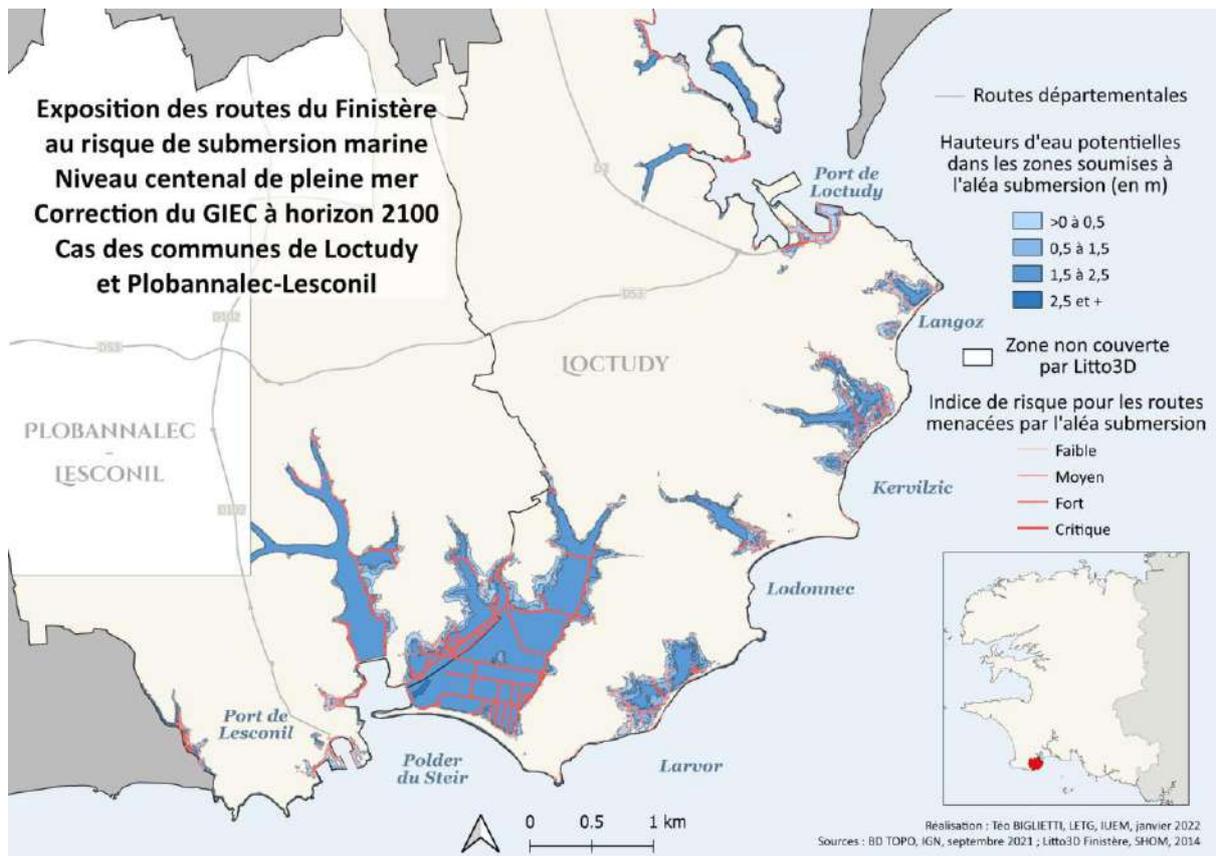


Figure 11 : Exposition des routes des communes de Loctudy et Plobannalec-Lesconil au risque de submersion marine, niveau centennial de pleine mer calculé à partir des données Litto3D® et corrigé avec les valeurs du GIEC à horizon 2100

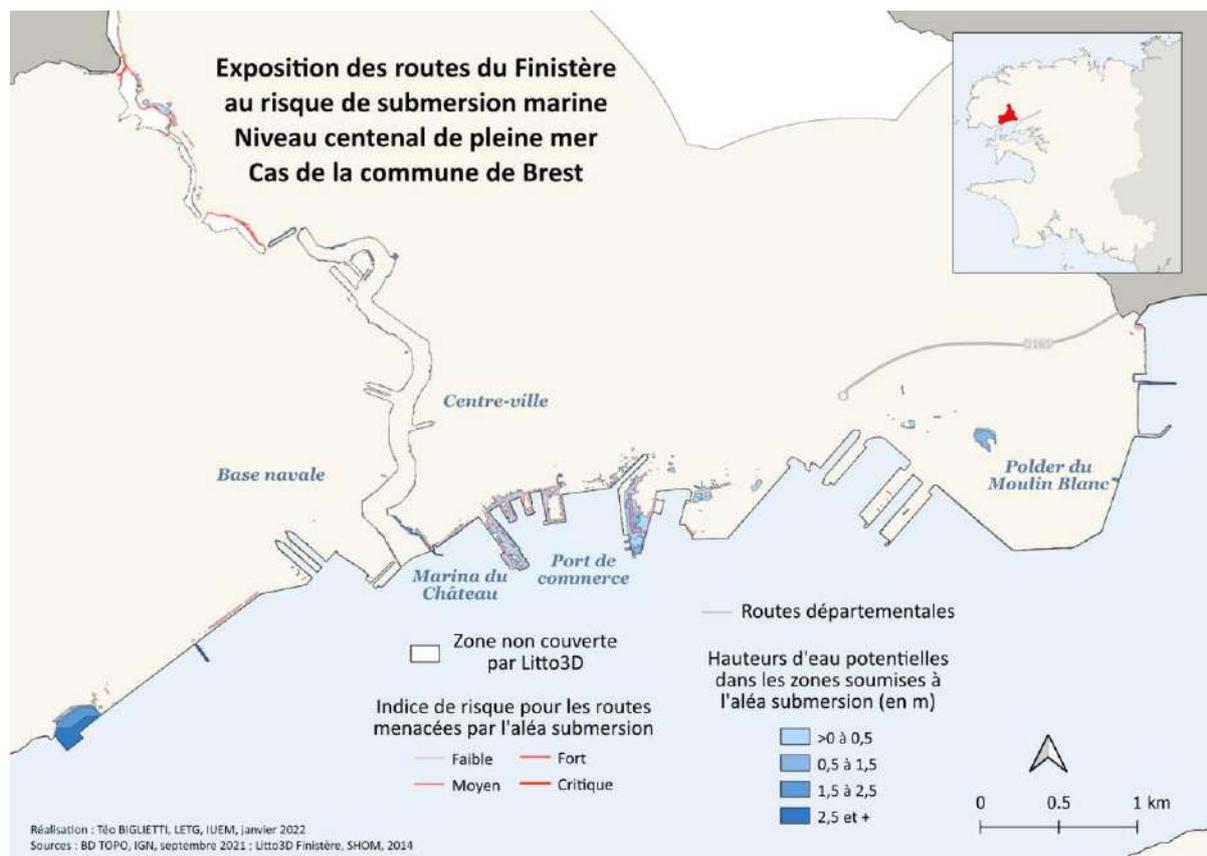


Figure 12 : Exposition des routes de la commune de Brest au risque de submersion marine, niveau centenal de pleine mer calculé à partir des données Litto3D®

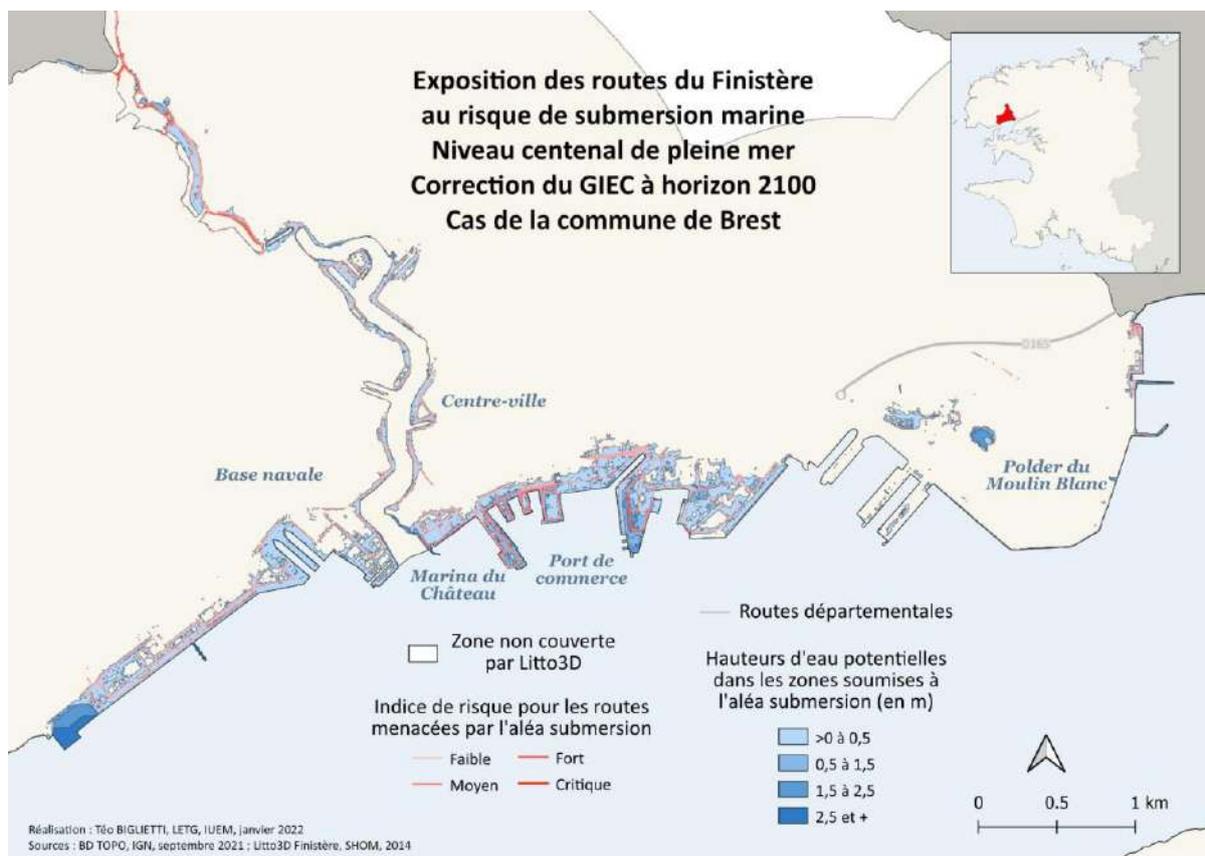


Figure 13 : Exposition des routes de la commune de Brest au risque de submersion marine, niveau centenal de pleine mer calculé à partir des données Litto3D® et corrigé avec les valeurs du GIEC à horizon 2100

	Longueur de route totale concernée (en m)		
	Zones Basses	Litto3D	Litto3D et GIEC
Penmarch	65431,5	22851,8	35548,4
Loctudy et Plobannalec-Lesconil	46510,9	19762,7	30946,0
Brest	26508,1	6254,1	29261,6

Tableau 1 : Longueurs totales de routes concernées par le risque de submersion sur les communes de Penmarc'h, Loctudy et Plobannalec-Lesconil, et Brest à partir des données Zones Basses et Litto3D® avec ou sans correction du GIEC

Table des annexes

Figure 1 : Exposition des routes de la commune de Fouesnant au risque de submersion marine

Figure 2 : Exposition des routes de la commune de Quimper au risque de submersion marine

Figure 3 : Exposition des routes des communes de Combrit et de l'Île-Tudy au risque de submersion marine

Figure 4 : Exposition des routes des communes de Loctudy et Plobannalec-Lesconil au risque de submersion marine

Figure 5 : Exposition des routes des communes du Guilvinec et de Treffiagat au risque de submersion marine

Figure 6 : Exposition des routes de la commune de Landerneau au risque de submersion marine

Figure 7 : Exposition des routes de la commune de Brest au risque de submersion marine

Figure 8 : Exposition des routes des communes bordant la baie de Goulven au risque de submersion marine

Figure 9 : Exposition des routes des communes bordant la baie de Morlaix au risque de submersion marine

Figure 10 : Exposition des routes des communes de Loctudy et Plobannalec-Lesconil au risque de submersion marine, niveau centennal de pleine mer calculé à partir des données Litto3D®

Figure 11 : Exposition des routes des communes de Loctudy et Plobannalec-Lesconil au risque de submersion marine, niveau centennal de pleine mer calculé à partir des données Litto3D® et corrigé avec les valeurs du GIEC à horizon 2100

Figure 12 : Exposition des routes de la commune de Brest au risque de submersion marine, niveau centennal de pleine mer calculé à partir des données Litto3D®

Figure 13 : Exposition des routes de la commune de Brest au risque de submersion marine, niveau centennal de pleine mer calculé à partir des données Litto3D® et corrigé avec les valeurs du GIEC à horizon 2100

Tableau 1 : Longueurs totales de routes concernées par le risque de submersion sur les communes de Penmarc'h, Loctudy et Plobannalec-Lesconil, et Brest à partir des données Zones Basses et Litto3D® avec ou sans correction du GIEC

