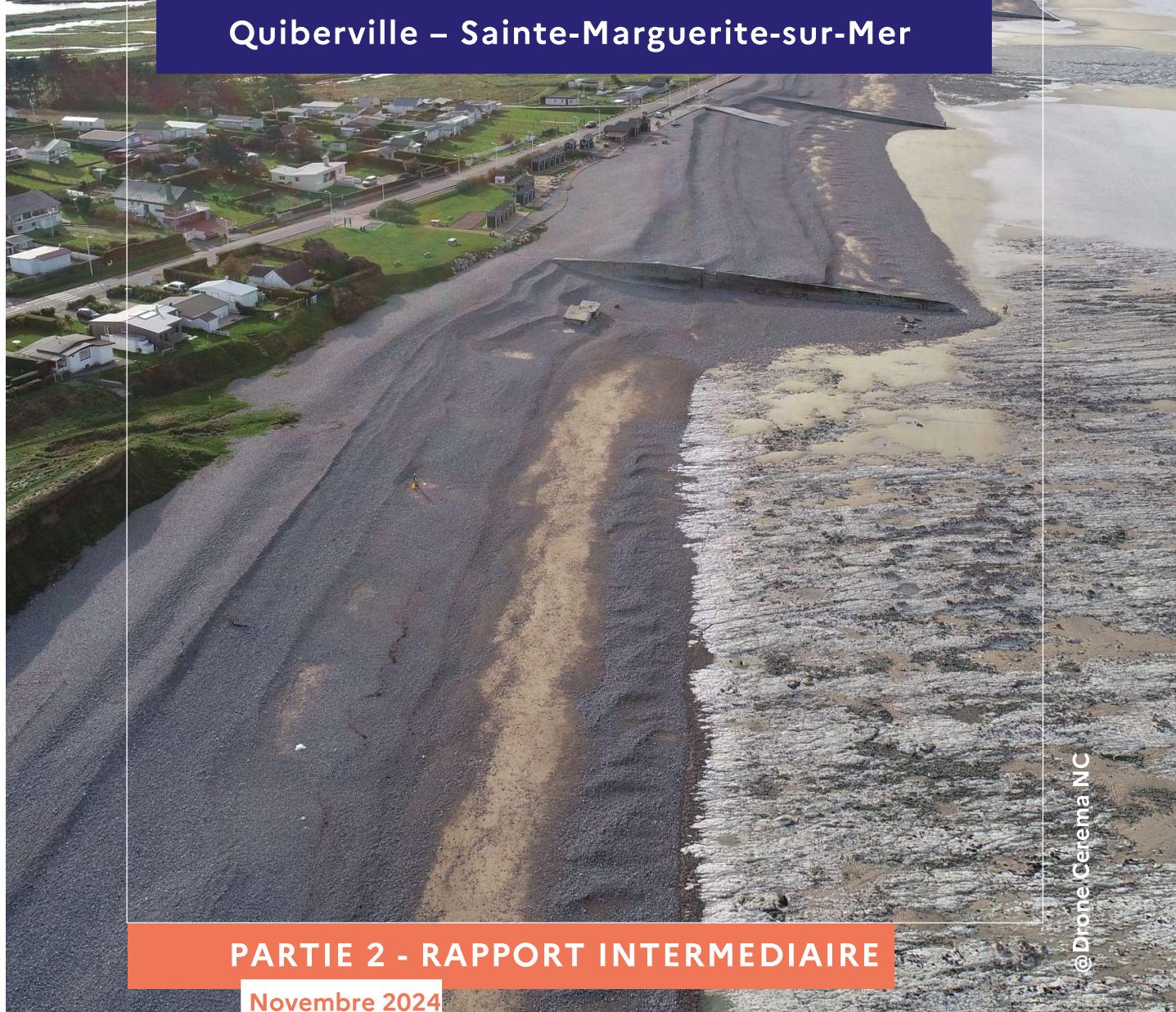


Etude de projection du trait de côte et définition de scénarios

Quiberville – Sainte-Marguerite-sur-Mer



© Drone Cerema NC

PARTIE 2 - RAPPORT INTERMEDIAIRE

Novembre 2024

Le Cerema est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique, présent partout en métropole et dans les Outre-mer grâce à ses 26 implantations et ses 2 400 agents. Détenteur d'une expertise nationale mutualisée, le Cerema accompagne l'État et les collectivités territoriales pour la transition écologique, l'adaptation au changement climatique et la cohésion des territoires par l'élaboration coopérative, le déploiement et l'évaluation de politiques publiques d'aménagement et de transport. Doté d'un fort potentiel d'innovation et de recherche incarné notamment par son institut Carnot Clim'adapt, le Cerema agit dans 6 domaines d'activités : Expertise & ingénierie territoriale, Bâtiment, Mobilités, Infrastructures de transport, Environnement & Risques, Mer & Littoral.

Site web : www.cerema.fr

Cartographie locale d'exposition au recul du trait de côte des communes de Quiberville et Sainte-Marguerite-sur-Mer

Commanditaire : EPCI terroir de Caux et la commune de Sainte-Marguerite-sur-Mer

Auteur :

Responsable du rapport

Pauline DUPONT – DLAB - MEL
Tél. : +33(0)6 58 64 34 10
Courrier : pauline.dupont@cerema.fr
Direction territoriale Normandie-Centre - 10 chemin de la Poudrière - CS 90245 - 76121 Le Grand-Quevilly cedex

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
V1	26/11/2024	Version initiale

Références

N° d'affaire : 22-NC-0168

Nom	Service	Rôle
Pauline DUPONT	DLAB/MEL	Auteur principal
Jules HURPEAU	DLAB/MEL	Contributeur
Noémie MIDY	DLAB/MEL	Relecteur
Pierre VIGNE	DLAB/MEL	Relecteur

Contexte et objet de l'étude

Conformément à la loi « Climat et résilience », les communes de Quiberville-sur-Mer et Sainte-Marguerite-sur-Mer sont désignées, par décret du 30 avril 2022 en application de l'article L. 321-15 du code de l'environnement, comme faisant parties des communes dont l'action en matière d'urbanisme et la politique l'aménagement doivent être adaptées aux phénomènes hydro-sédimentaires entraînant l'érosion du littoral.

Cette inscription dans ce décret fait suite aux délibérations favorables des collectivités datées du 18 février 2022 (commune de Sainte-Marguerite-sur-Mer) et du 22 février 2022 (commune de Quiberville-sur-Mer).

L'autorité compétente en matière d'urbanisme a alors la charge d'établir cette carte locale d'exposition au recul du trait de côte.

Ce type de carte permet de délimiter dans les documents d'urbanisme de ces communes, la zone exposée au recul du trait de côte à l'horizon 30 ans et celle exposée au recul du trait de côte à un horizon compris entre 30 et 100 ans et d'en transposer le résultat dans le document graphique du document d'urbanisme (art. L. 121-22-2 du code de l'urbanisme). Les éléments techniques ayant prévalu à la délimitation de ces deux zones doivent être justifiés.

Par décision du 14 avril 2023 (commune de Sainte-Marguerite-sur-Mer) et du 18 avril 2023 (commune de Quiberville-sur-Mer), les collectivités ont engagé la procédure d'évolution des documents d'urbanisme, respectivement, PLU et PLUi pour y intégrer les zones exposées au recul du trait de côte.

Actuellement, les territoires des communes de Quiberville-sur-Mer et Sainte-Marguerite-sur-Mer sont couverts par un plan de prévention des naturels prévisibles (PPRN) du bassin versant de la Saâne et de la Vienne, prescrit le 23 mai 2001, comportant des dispositions relatives aux risques littoraux et d'inondation (submersion marine).

Ce présent rapport constitue donc la finalité de la deuxième phase, l'étude des projections des traits de côte et la définition des scénarios.

Sommaire

1 Etude de projection du trait de côte	7
1.1 Evaluation des tendances passées de l'évolution du trait de côte	7
1.1.1 Etape 1 : Découpage du littoral par transects.....	7
1.1.2 Etape 2 : Calcul de la surface totale d'évolution entre deux traits de côte	8
1.1.3 Etape 3 : Calcul de la vitesse d'évolution	8
1.2 Effets des reculs évènementiels.....	9
1.3 Conséquences du changement climatique sur l'évolution du littoral.....	10
1.3.1 Élévation du niveau de la mer	10
1.3.2 Précipitations	11
1.3.3 Action des températures.....	11
1.3.4 Conclusion de l'impact du changement climatique	12
1.4 Impacts des ouvrages littoraux.	12
1.5 Conclusion des observations des tendances passées	13
1.5.1 Analyse de la vitesse moyenne entre 1947 et 2022	14
1.5.2 Analyse des variations de la vitesse moyenne entre 1947 et 2022 en fonction de la localisation	15
1.5.3 Analyse de la variation de la vitesse moyenne entre 1947 et 2022 en aval de l'Epi Est de Saint-Marguerite-sur-Mer	16
2 Définition des scénarios	18
2.1 Scénarios médians	19
2.1.1 Méthode 1a – moyennes des grandes bornes.....	19
2.1.2 Méthode 1b - moyennes des petites bornes	20
2.1.3 Méthode 2 - médianes	20
2.1.4 Méthode 3 - moyennes pondérées	21
2.2 Scénarios sécuritaires	22
2.2.1 Méthode 4 - vitesses maximales.....	22
2.2.2 Méthode 5 - Limber	22
2.3 Variante possible	23
2.3.1 Prise en compte des ouvrages.....	23
2.4 Synthèse des scénarios.....	24
3 Bibliographie.....	27

4 Table des illustrations..... 28

1 ETUDE DE PROJECTION DU TRAIT DE COTE

1.1 Evaluation des tendances passées de l'évolution du trait de côte.

Le relevé de la position passée du trait de côte à plusieurs dates permet d'observer son évolution au cours du temps. En comparant la position à minima de deux traits de côte datés, il est possible de calculer un taux moyen annuel de recul du trait de côte. Ce dernier sera exprimé en mètre par an. Cette valeur est valable uniquement sur la période d'observation sur laquelle elle est calculée. L'évolution n'étant jamais strictement linéaire.

Dans un souci de cohérence avec d'autres études portant sur des thématiques similaires et sur un secteur géographique identique, les traits de côte déjà digitalisés (1947, 2012, 2016, 2019) ont été repris pour cette étude et de nouveaux ont été digitalisés (1957, 1966, 1990, 2022) via le géoréférencement de photos aériennes anciennes de la base de données de l'IGN. Ainsi, huit traits de côte ont été étudiés : 1947, 1957, 1966, 1990, 2012, 2016, 2019 et 2022.

A partir des traits de côte identifiés sur les photographies aériennes des différentes années, des rythmes d'évolution du trait de côte ont été calculés pour les périodes 1947-1957, 1957-1966, 1966-1990, 1990-2012, 2012-2016, 2016-2019, 2019-2022. La méthode utilisée a été celle des surfaces perdues entre les transects espacés de 20m comme proposé par le document de recommandations pour l'élaboration de la carte locale d'exposition au recul du trait de côte.

La méthodologie employée s'est décomposée en trois étapes :

- Découpage du secteur d'étude par transects ;
- Calcul de la surface entre deux traits de côte par casier ;
- Calcul de la vitesse d'évolution.

1.1.1 Etape 1 : Découpage du littoral par transects

Le littoral d'étude long d'environ 5km a été découpé par des transects espacés de 20m.

Les transects ont été positionnés le plus perpendiculairement au trait de côte possible, et parallèles les uns aux autres. Le choix a été fait de positionner les transects en fonction des ouvrages présents sur la zone d'étude.

Ces transects permettront par la suite de déterminer les casiers dans lesquels les calculs seront effectués. (Cerema, 2023). Au total 241 casiers ont été créés, ils sont numérotés de 1 à 241, de l'ouest vers l'est. Ainsi sont identifiables les casiers 1 à 86 à l'Ouest de l'épi le plus à l'ouest de Quiberville. Et les casiers n°87 à 241 sont localisés l'Est du dernier épi de Sainte-Marguerite-sur-Mer.

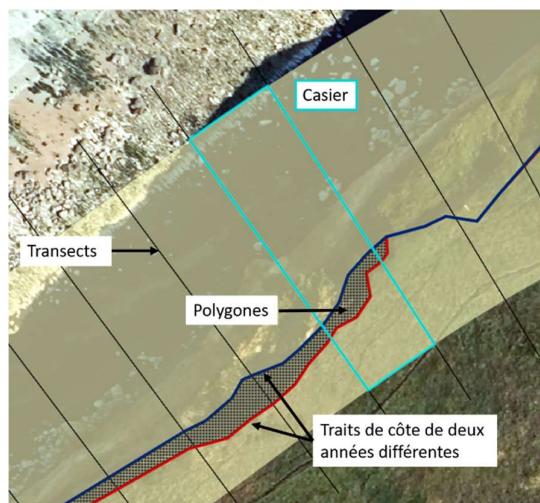


Figure 1 : Terminologie des éléments permettant de calculer la surface gagnée et/ou perdue entre deux traits de côte de millésimes différents

1.1.2 Etape 2 : Calcul de la surface totale d'évolution entre deux traits de côte

Pour obtenir la surface d'évolution entre deux traits de côte, des polygones sont créés par intersection entre les traits de côte et les transects (voir Figure 1 : Terminologie des éléments permettant de calculer la surface gagnée et/ou perdue entre deux traits de côte de millésimes différents. Ils représentent la surface perdue ou gagnée entre les deux dates étudiées. Un casier peut comporter un ou plusieurs polygones. Dans le cas de notre zone d'étude, le littoral étant principalement composé de falaises, l'évolution ne se fait que par de la perte de surface et donc de l'érosion.

Dans un premier temps les observations ont été menées par comparaison des traits de côte deux à deux (entre 1947 et 1957, puis 1957 et 1966, etc.), puis d'autres périodes de temps ont été déterminées avec des bornes plus larges (1947 à 2022, 1990 à 2022).

Cette analyse permet de mettre en lumière de possibles modifications du rythme d'évolution.

1.1.3 Etape 3 : Calcul de la vitesse d'évolution

Afin de mesurer la vitesse d'évolution, la méthode des « surfaces perdues / gagnées » est utilisée. Elle consiste à effectuer le quotient de la surface entre deux traits de côte au sein d'un même casier (S_{totale} d'évolution des polygones – voir Figure 1 : Terminologie des éléments permettant de calculer la surface gagnée et/ou perdue entre deux traits de côte de millésimes différents) par le produit du nombre d'années séparant les deux traits de côte ($N_{années}$) et la largeur des transects, ici 20 m ($L_{transect}$). La valeur obtenue est exprimée en m/an.

$$\frac{S_{totale}}{N_{années} \times L_{transect}}$$

Figure 2 : Formule de la méthode des "surfaces perdues ou gagnées" appliquée pour calculer la vitesse moyenne d'évolution entre deux traits de côte en m/an.

Le résultat obtenu de la vitesse est donné en m/an par casier de 20 m de large. Ces valeurs de vitesse d'évolution vont être utilisées dans la suite de l'étude afin de déterminer la position du trait de côte aux horizons 2050, 2120. (Cerema, 2023)

1.2 Effets des reculs évènementiels.

L'étude sur le recul du trait de côte en Seine-Maritime (2018) commandée par la DDTM et réalisée par le Cerema permet d'analyser l'impact des événements extrêmes sur l'évolution du littoral. Cette étude a permis de recenser ces événements majeurs, puis de déterminer les secteurs homogènes en termes de morphologie de falaise susceptibles de connaître la récurrence de ce type d'événement.

L'étude s'appuie donc sur la couche d'information géographique créée à l'issu du recensement. Cette couche représente sous forme de points la localisation des événements historiques sur l'ensemble de la zone d'étude avec une table attributaire renseignant l'origine de l'information, le volume perdu, le recul estimé.

Ainsi, la zone d'étude peut être décomposée en quatre secteurs homogènes définis selon l'étude de 2018. Ces secteurs sont représentés sur la Figure 3 : Localisation des secteurs homogènes et de leurs caractéristiques d'après l'étude Littoraux Normands 2027 du Cerema

Par ailleurs, pour chaque secteur homogène est définie la valeur de recul maximal ponctuel lié à un phénomène exceptionnel nommée « Lmax ». Cette valeur s'applique à un territoire homogène ou un segment de côte homogène pour lequel le plus fort recul ponctuel déterminé est cartographié pour l'ensemble de la zone homogène associée.

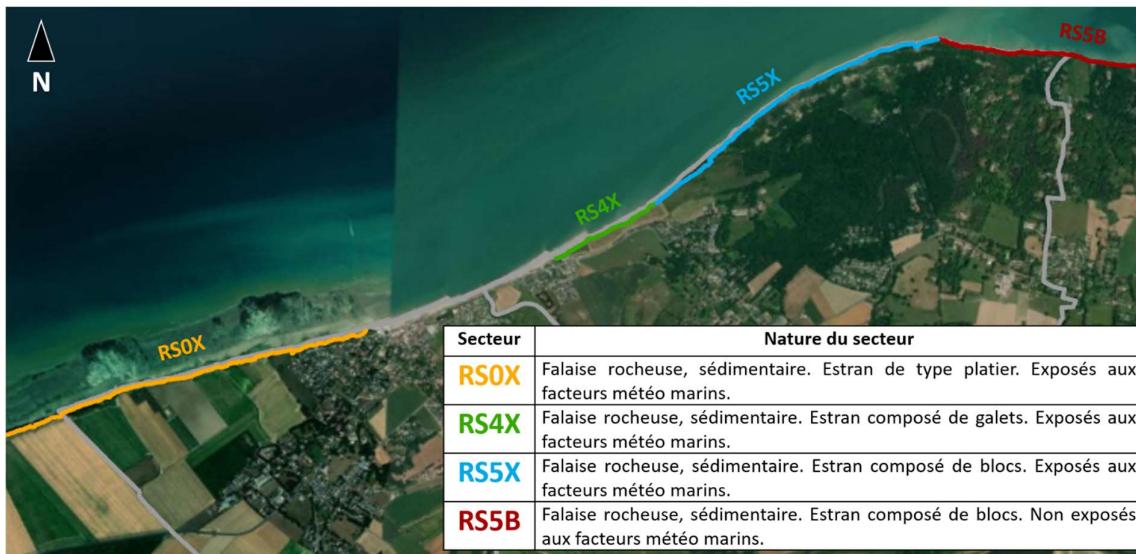


Figure 3 : Localisation des secteurs homogènes et de leurs caractéristiques d'après l'étude Littoraux Normands 2027 du Cerema

De cette façon il est possible d'associer à chaque casier une valeur de « Lmax » comme tel :

Tableau 1 : Valeur du recul majeurs en fonction des casiers

Casiers	Valeur Lmax
Casier 1 à 86	20m
Casier 87 à 96	1m
Casier 97 à 136	20m
Casier 137 à 235	10m
Casier 236 à 241	30m

1.3 Conséquences du changement climatique sur l'évolution du littoral.

Les implications attendues du changement climatique représentent un défi important pour la gestion de la bande côtière.

En 2001, un projet (SCOPAC) visant à examiner les impacts potentiels du changement climatique sur le littoral sud de la Grande-Bretagne, a souligné que le changement climatique aura probablement un effet négatif sur l'instabilité côtière et l'érosion du trait de côte par le biais de plusieurs mécanismes, tels que l'élévation du niveau de la mer entraînant une plus grande attaque des vagues sur les falaises.

De manière générale, les changements prévus entraîneront des modifications de trois principaux facteurs de forçage. En plus de l'élévation du niveau de la mer, il faut s'attendre à des changements de direction des vagues et l'augmentation des précipitations hivernales, avec une tendance à des événements plus extrêmes tant sur la fréquence, l'intensité que sur la durée. (Halcrow, 2001) D'autres conséquences sont d'ores et déjà connues, à toutes celles déjà mentionnées, s'ajouteront des perturbations du cycle de l'eau continentale, une accélération de la fragilité des côtes, raréfaction des apports sédimentaires. (Letortu, 2023)

L'impact de l'élévation du niveau de la mer couplée aux précipitations hivernales devrait entraîner des taux d'érosion côtière plus élevés et des glissements de terrains côtiers plus fréquents. Ces augmentations ne peuvent pas être quantifiées de manière fiable, mais des estimations peuvent tout de même être réalisées.

Il existe un manque de connaissances sur la contribution de chaque facteur déclencheur à l'effondrement des falaises. De plus, il existe de nombreuses difficultés à quantifier de manière fiable les effets du changement climatique. Actuellement, la résolution temporelle ne permet pas d'émettre des corrélations précises entre les processus de déclenchement d'effondrement et l'effondrement en lui-même. (Letortu et al., 2022) Le contexte structurel et les conditions météorologiques marines sont souvent spécifiques à chaque site, et varient dans le temps de façon indépendantes. (Lee, 2008 in Letortu et al., 2022).

1.3.1 Élévation du niveau de la mer

Avec le changement climatique, l'élévation du niveau des océans pourrait non seulement se poursuivre mais en plus s'accélérer. Ainsi, le niveau des océans a augmenté de 1,3 mm/an entre 1901 et 1971, de 1,9 mm/an entre 1971 et 2006, et de 3,7 mm/an entre 2006 et 2018 (GIEC, 2022 in Letortu, 2023). En 2100, le niveau des océans pourrait être supérieur de 0,44m à 0,76 m (scénario intermédiaire SSP2 ou RCP 4.5), ou de 0,98 à 1,81 m (scénario pessimiste SSP3 ou RCP 8.5).

Cette hausse du niveau des océans s'accompagnerait de reculs encore plus importants, car les vagues pourraient atteindre et attaquer plus haut le pied de falaise (Limber et al., 2018 et Trenhaile, 2019 in Letortu, 2023 ; Masselink et Russell, 2013 ; Dickson et al. 2007).

En effet, l'énergie transmise au pied de la falaise par les vagues qui se brisent est un facteur principal du recul côtier. Ainsi, l'entaillement du pied de la falaise par l'action des vagues, suivi de l'effondrement, est le mécanisme par lequel la plupart des falaises sont érodées, indépendamment de leur lithologie.

De plus, d'après Limber et al. (2018), si le niveau marin augmente de 1 m d'ici la fin du XXI^e siècle, le taux d'érosion pourrait être multiplié par 1.5.

Pour finir, les phénomènes extrêmes pourraient se produire plus fréquemment à l'avenir en raison de la hausse du niveau marin : en 2100 dans la Manche les niveaux d'eau connus actuellement lors de grandes marées (coefficients 110-115) pourraient se produire près de 65 fois par an (contre 3 à 4 actuellement) si l'élévation du niveau de la mer atteint 1 m (Costa et

al., 2021 in Letortu, 2023). De plus, les événements extrêmes se réalisant auparavant une fois par siècle pourraient se produire chaque année à l'avenir (IPCC, 2023).

1.3.2 Précipitations

Le changement climatique pourrait être à l'origine de l'augmentation du nombre de jours de très fortes pluies (supérieures à 20mm). Ainsi la Normandie passerait de 4,1 jours par an à 4,9 jours favorisant la part de l'érosion hydrique qui résulte de l'action combinée de l'eau de pluie et des conditions géologiques spécifiques. En effet, des précipitations plus importantes dues au changement climatique pourraient favoriser des mouvements de masse sur les falaises (Bray et Hooke, 1997 in Dickson et al, 2007 ; Masselink et Russel, 2013).

Lorsque la pluie tombe sur une falaise, l'eau s'infiltra dans les fissures et les pores. Ce processus peut affaiblir la structure de la falaise, notamment via des mécanismes de gélification, de desquamation et d'élargissement des diaclases par dissolution des carbonates, éléments constitutifs des falaises de Quiberville et Sainte-Marguerite-sur-mer. De plus, les précipitations excessives peuvent entraîner des coulées de boue et des glissements de terrain, accélérant ainsi l'effondrement des falaises. Le changement le plus probable à l'échelle européenne peut correspondre à une intensification des contrastes hydrologiques, avec des risques accrus d'inondations en hiver et de sécheresses en été.

Ces conséquences de l'augmentation des précipitations peuvent apparaître tardivement, en effet, c'est le cumul de ces événements pluvieux qui entraînera une déstabilisation générale. (CERLE, 2015)

Outre les actions directes sur les falaises, l'augmentation des rythmes de précipitations et leur intensité accrue peuvent modifier les apports en sédiments, perturbant les dynamiques naturelles de formation et de maintien des plages et du cordon de galets.

Les conditions climatiques et météorologiques (paramètres hydriques et thermiques) sont essentielles dans le façonnement du déclenchement des mouvements gravitaires (Letortu, 2013)

1.3.3 Action des températures

La gélification, qui désigne la fracturation des roches suite à des épisodes de gel (Foucault et al, 2014), est un processus « particulièrement efficace sur les sites d'études, car ils se produisent dans un environnement où l'humidité est disponible » (Letavernier et Ozouf, 1987 ; Prick, 1995 in Letortu, 2023). Ce phénomène crée des microfissures qui accroissent les fractures existantes (Hénaff et al., 2002 ; Matsuoka, 2008 ; Frayssines et Hantz, 2006 in Prémaillon, 2019). Cela a été observé sur les côtes normandes lors d'épisodes froids et de longue durée (Deweze et al, 2015 in Prémaillon, 2019).

Selon Prémaillon (2019), il existe bien un lien entre le gel et l'érosion des falaises : le gel peut déclencher des détachements de blocs (action immédiate). Dewez et al (2015) mettent en lumière deux contraintes antagonistes responsables de la formation de fissures : les températures négatives contractent les roches, tandis que le gel se dilate et écarte les fissures Matsuoka et Murton, 2008, in Dewez et al., 2015). De plus, le gel peut également avoir un impact sur le plus long terme, en fragilisant les roches : sur des falaises au nord de Dieppe, il a été observé que le gel a été responsable de l'érosion d'une fine couche de craies au cours d'un hiver particulièrement froid (2008-2009). Enfin, le gel produit son action érosive avec les alternances gel/dégel, et non avec les seules températures négatives.

De nombreuses sources s'accordent à dire que le risque de gel sera beaucoup moins fréquent à l'avenir, en raison du changement climatique (Jones and Barbetti, 2012 ; IPCC Secretariat, 2021 ; Ranasinghe et al., 2021 in IPCC, 2022).

1.3.4 Conclusion de l'impact du changement climatique

Alors que les conséquences sont connues et attendues, la compréhension des phénomènes et par conséquent la prévision des effets du changement climatique restent fragiles. Même si une accélération de l'érosion est admise par une majorité de chercheurs sur le sujet, les modèles sont rarement transposables et les influences sur les processus incidents sur l'érosion sont caractérisables mais non quantifiables.

A l'heure actuelle, les reculs passés moyens couplés aux analyses des événements exceptionnels reposent sur des données, parfois insuffisantes mais permettant de définir des tendances chiffrées.

Au contraire, la détermination précise de l'évolution du rythme des précipitations, de l'élévation du niveau de la mer ou de l'impact des températures repose sur des prévisions dont la fiabilité dépend intrinsèquement des évolutions imprévisibles du changement climatique.

1.4 Impacts des ouvrages littoraux.

Au droit de la zone d'étude, des épis ont été construits sur le rivage au niveau de la basse vallée de la Saâne. L'objectif étant de limiter la dynamique d'érosion côtière et les transferts de sédiments dans le sens de la dérive littorale d'Ouest en Est. Par conséquent, les galets en transit le long des communes de Quiberville et Sainte-Marguerite-sur-Mer se trouvent en volume important en amont des épis.

Leur rôle principal est de limiter l'action des vagues et des courants marins, mais leur présence perturbe les dynamiques naturelles de transport de sédiments le long de la côte, processus essentiel pour la formation et le maintien des plages. La littérature scientifique montre que les ouvrages perpendiculaires au trait de côte peuvent perturber l'apport sédimentaire et provoquer des déficits de sédiments en aval des ouvrages, conduisant alors à une érosion marquée (Masselink et Russell, 2013). En 2018, le Cerema a réalisé une étude sur l'érosion côtière en aval des ouvrages majeurs en Seine Maritime. De manière générale la conclusion de cette étude est, qu'effectivement, les ouvrages permettent de bloquer les sédiments, les galets et alimenter les plages mais il est aussi constaté un fort déficit immédiatement en aval de l'ouvrage sur une distance d'environ 800 m. Le comportement du trait de côte a été étudié en aval des ouvrages pour identifier leur impact sur la dynamique littorale.

La zone d'étude connaît une dérive littorale qui entraîne les matériaux de l'Ouest vers l'Est.

Les ouvrages de Sainte-Marguerite-sur-Mer sont implantés de la manière suivante :

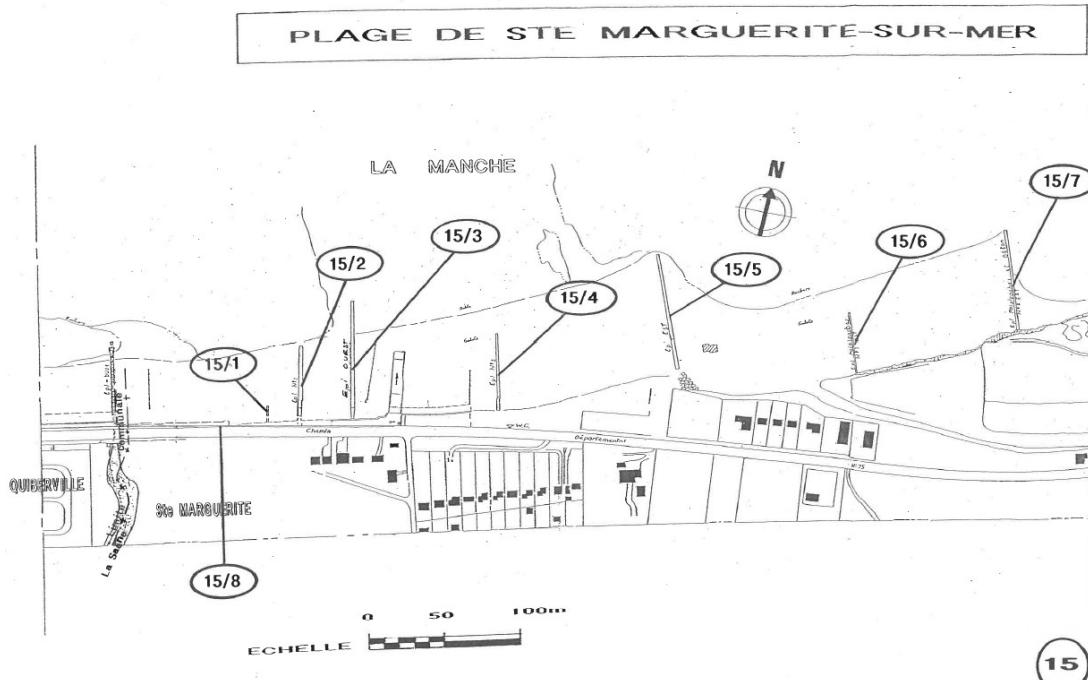


Figure 4 : Schéma d'implantation des ouvrages littoraux sur la commune de Sainte-Marguerite-sur-Mer (DDTM, s.d)

Ainsi, suite à l'étude sur l'érosion côtière en aval des ouvrages majeurs en Seine maritime, des observations ont été concentrées sur l'épi le plus à l'Est de la commune de Sainte-Marguerite-sur-Mer (15/7 sur la figure 2). Cet épi en palplanches et béton armé a été construit en 1964 puis modifier en 1994. Sa longueur est ainsi passée de 35 m à 75 m. 20 ans après sa construction initiale des reculs ont été constatés de l'ordre de 5 à 10 m sur une distance de 400 m en aval de l'épi. Cette érosion est exacerbée par l'extension de l'ouvrage, puisque les 20 ans après l'extension sont marqués par un recul de 15 m à 20 m.

1.5 Conclusion des observations des tendances passées

L'évaluation des tendances passées des traits de côte historiques permet d'observer que les variations de trait de côte ne sont pas homogènes, ce phénomène reste très impondérable. Nombreux sont les facteurs influant sur la vitesse de recul.

Le littoral de la Seine maritime, et par conséquent celui des communes de Quiberville et Sainte-Marguerite-sur-Mer est caractérisé par des falaises connaissant une évolution lente par rapport aux côtes sableuses. Il est donc difficile de distinguer sur de courtes périodes de temps de quelconques changements du rythme d'évolution. Peu de données permettent d'intégrer de manière plénier l'impact des ouvrages et des évènements majeurs. Afin de s'affranchir de ceci, la prise en compte de la période la plus longue est nécessaire.

C'est pourquoi de nombreuses méthodes ont été testées afin d'adapter les projections aux caractéristiques de la zone d'étude et de faire varier la prise en compte des éléments. Celles-ci seront présentées en deuxième partie.

Afin de comprendre les variations passées, chaque trait de côte a été comparé avec le suivant en respectant la chronologie. De plus, des vitesses ont aussi été calculées sur l'entièreté de la période, soit, de 1947 à 2022 sans prendre en compte les traits de côte intermédiaires. Il a été fait de même pour les 30 dernières années, de 1990 à 2022.

Ainsi de nombreuses valeurs de vitesse ont été obtenues et comparées les unes aux autres.
 (Voir Tableau 8 : Tableau de synthèse et de comparaison des résultats obtenus selon les différentes méthodes)

1.5.1 Analyse de la vitesse moyenne entre 1947 et 2022

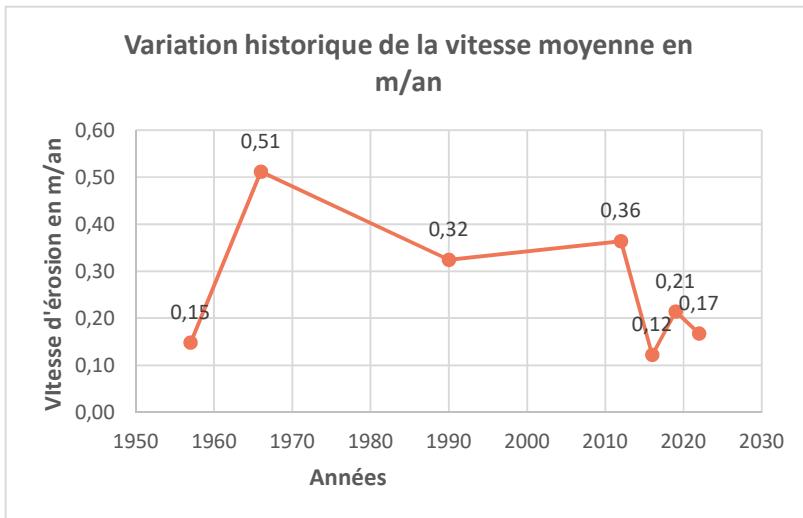


Figure 5 : Variation de la vitesse d'érosion en m/an en fonction du temps

permanente depuis 1947. Entre les années 1960 et 1970 la vitesse d'érosion a connu une légère accélération s'expliquant par des facteurs météo-océaniques ou encore des mouvements de terrains exceptionnels.

Depuis 2015, la vitesse d'érosion semble stable avec des valeurs plus faibles. De manière générale la vitesse d'érosion du trait de côte entre les années 1947 et 2022 est de l'ordre de 30 cm par an.

Il est cependant compromis de déterminer une éventuelle augmentation ou diminution du rythme d'évolution du trait de côte à grand échelle temporelle.

Ce graphique (Figure 5) représente les variations de vitesses moyennes d'érosion en m/an depuis 1947 jusqu'à 2022 sur le secteur d'étude. Il a été choisi de représenter la valeur de chaque période par un point unique correspondant à la date la plus récente de la période.

Exemple : pour la période 1947 à 1957, la vitesse moyenne d'érosion en m/an est de 0,15, représenté en un seul point en 1957.

Le littoral de la zone d'étude à connue une érosion

1.5.2 Analyse des variations de la vitesse moyenne entre 1947 et 2022 en fonction de la localisation

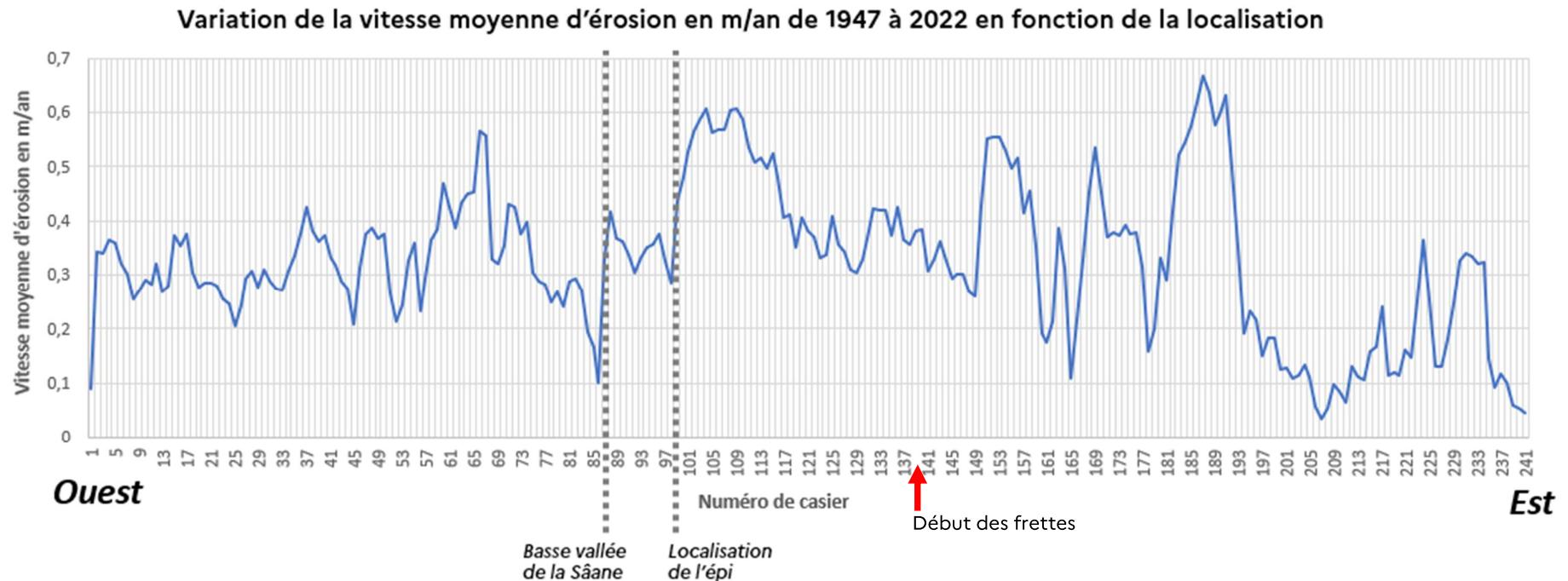


Figure 6 : Graphique de la variation de la vitesse d'érosion en fonction de la localisation sur le linéaire de la zone d'étude (d'Ouest en Est)

Ce graphique (Figure 6**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) représente les variations des valeurs des vitesses d'érosion moyenne le long du littoral en mesurant l'écart entre les deux dates extrêmes de 1947 et 2022. Ainsi, l'axe des abscisses représente, de gauche à droite, le littoral d'Ouest en Est. La basse vallée de la Saâne séparant les deux communes est schématisée par une ligne pointillée, l'épi de Sainte-Marguerite-sur-Mer est aussi représenté.

Ce graphique montre que sur la partie à l'Ouest de la basse vallée la valeur de la vitesse moyenne d'érosion est de 0,3 m/an alors que la partie Est connaît des disparités. La valeur maximale d'érosion est de 0,67 m/an alors que la minimale est de 0,04 m/an. Par ailleurs, à l'Est de l'épi les valeurs des vitesses sont élevées et ralentissent vers l'Est. Cette diminution peut être mise en corrélation avec le changement d'orientation de la falaise. Il est aussi à noter que la partie entre le cassier 139 et 241 est moins impactée par les facteurs de forçage marins mais est influencée majoritairement par les facteurs climatiques et lithologiques, puisqu'il s'agit du secteur à frettes.

1.5.3 Analyse de la variation de la vitesse moyenne entre 1947 et 2022 en aval de l'Epi Est de Saint-Marguerite-sur-Mer

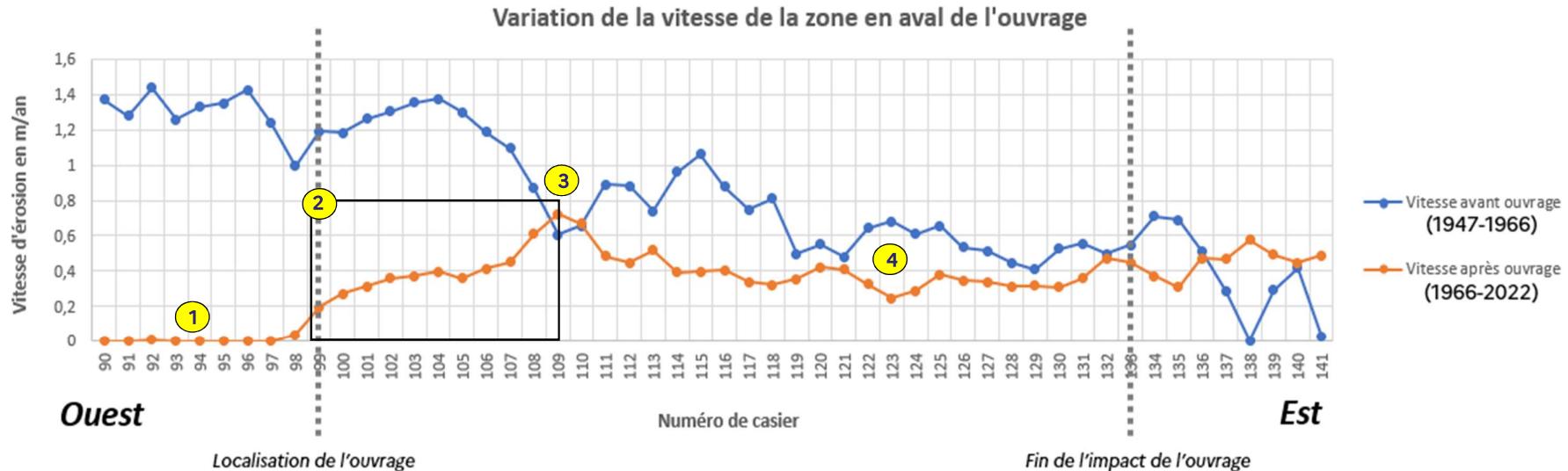


Figure 7 : Graphique de l'évolution de la vitesse d'érosion en aval de l'épi Est de Sainte-Marguerite-sur-Mer

Ce graphique (Figure 7 : Graphique de l'évolution de la vitesse d'érosion en aval de l'épi Est de Sainte-Marguerite-sur-Mer) représente l'évolution de la vitesse d'érosion du trait de côte dans la zone directement en aval du dernier épi le plus à l'Est de la commune de Sainte-Marguerite-sur-Mer. L'attention a été portée sur cet épi car celui-ci finalise le chapelet d'épis localisé au droit de la basse vallée. La dérive littorale s'exerçant grossièrement de l'Ouest vers l'Est, l'impact sur la dynamique littorale est observable et quantifiable à son aval.

La courbe bleue représente les vitesses qui se sont appliquées le long du littoral avant la mise en place d'ouvrages de protection, de 1947 à 1966.

La courbe orange représente, quant à elle, les vitesses connues depuis la mise en place des épis et par conséquent l'impact des ouvrages sur la dynamique locale :

(1) : Entre les casier 90 et 99, le littoral connaît une fixation du trait de côte par enrochements.

(2) : Entre les casier 99 et le casier 190, ce qui correspond à une distance de 200m ; la vitesse augmente de 0.2m/an à quasiment 0.8 m/an (soit une augmentation de 60 cm). Ces résultats sont cohérents avec l'étude sur l'érosion côtière en aval des ouvrages majeurs en Seine-Maritime

Etude de projection du trait de côte et définition de scénarios

Quiberville – Sainte-Marguerite-sur-Mer

Novembre 2024

comprenant un volet sur l'épi de Sainte-Marguerite-sur-Mer. (La zone pointillée correspond à la zone d'étude des travaux réalisés dans ce même rapport.)

(3) : Aux alentours du casier 190, soit 200 m en aval du dernier épi, c'est là où la vitesse moyenne d'érosion connaît la valeur la plus extrême.

(4) : La vitesse va ensuite se stabiliser pour atteindre des valeurs de reculs moyen équivalent à ceux connus avant la mise en place de l'ouvrage.

2 DEFINITION DES SCENARIOS

A partir des traits de côte identifiés sur les photographies aériennes des différentes années, des rythmes d'évolution du trait de côte ont été calculés selon la méthode des surfaces perdues entre les transects espacés de 20 m comme décrit dans **Etape 3 : Calcul de la vitesse d'évolution**.

Afin de prévoir la position du trait de côte aux horizon 2050 et 2120, la position du trait de côte historique est projetée via différents scénarios. Ces derniers pourront être appliqués localement et les scénarios retenus pourront être différents entre les deux horizons temporels à cartographier. Cela permettra d'adapter au mieux la cartographie aux éventuelles stratégies locales.

Lors des projections, la période d'étude passée doit être du même ordre de grandeur que celle projetée.

Ainsi, pour les différentes projections à 30 ans, les données utilisées sont celles comprises entre 1990 et 2022. Cette période d'observation est aussi conditionnée par la disponibilité des données. La valeur du recul moyen annuel (=Tx) sera multipliée par la projection souhaitée, ici 30 ans.

Pour l'horizon 100 ans, dans le cas de Quiberville et Saint-Marguerite-sur-Mer, les données les plus anciennes sont datées de 1947. La période d'étude est donc de 1947 à 2022, ce qui représente une période de 76 ans. Dans un souci de cohérence, la projection à 100 ans sera appliquée à partir du trait de côte obtenu par projection à l'horizon 30 ans.

Ainsi, pour la projection à 100 ans, on admet la projection à 30 ans à laquelle sera additionnée la projection à 70 ans (70 ans étant le nombre d'années séparant les horizons 30 et 100 ans). Cette dernière sera calculée grâce aux données entre 1947 et 2022.

Les estimations de reculs ont été calculées selon 6 méthodes différentes afin de réduire l'incertitude liée à chacune des méthodes employées. Pour chaque méthode, les calculs ont été effectués casier par casier, puis par secteurs homogènes, d'abord selon la classification des secteurs qui avait été établie au cours de la phase 1, et ensuite selon les secteurs dont le trait de côte avait suivi une évolution homogène au cours de la période 1947-2022. Pour chacune des méthodes, le recul événementiel le plus important ayant touché le secteur de référence du casier a été ajouté.

2.1 Scénarios médians

Plusieurs méthodes de calculs ont été testées afin de couvrir un plus large panel d'évolution possible du trait de côte.

Pour la méthode 1a et 1b, la dénomination « grandes » et « petites » bornes peut s'expliquer ainsi :

- Les grandes bornes correspondent aux dates les plus éloignées dans une période de temps étudiée. Ainsi si la période étudiée s'étend de 1947 à 2012, les calculs seront effectués entre ces deux dates sans prendre en compte les éventuels traits de côte intermédiaires disponibles.
- Pour les calculs basés sur les petites bornes au contraire tous les traits de côtes compris dans la période étudiée seront considérés et tous les intervalles créés seront calculés indépendamment les uns des autres.

2.1.1 Méthode 1a – moyennes des grandes bornes

Cette première méthode consiste à définir une période de temps sur laquelle sera calculée la vitesse moyenne de recul annuel (= Tx, exprimé en m/an). Dans la cadre d'une projection du trait de côte, la période étudiée doit être au moins égale à l'horizon recherché.

Sur une côte d'ablation comme c'est le cas ici, le fait de repartir du trait de côte 30 ans pour établir le trait de côte 100 ans permet d'éviter une éventuelle aberration où le recul 100 ans serait moins important que le recul 30 ans. Cette situation est en effet impossible à observer sur une côte à falaises qui est nécessairement en érosion. Cette approche correspond à l'approche dite « Classique » du document de « Recommandations pour l'élaboration de la carte locale d'exposition au recul du trait de côte » (BRGM et Cerema 2022).

Pour la projection à 30 ans, c'est le Tx de la période 1990-2022 qui a été utilisé. Une fois le trait de côte 30 ans fixé, il s'agit de repartir de celui-ci pour établir le trait de côte 100 ans en le faisant reculer de 70 fois le Tx calculé sur la période 1947-2022.

Tableau 2 : Présentation de la méthode 1a

Moyenne "grandes bornes" : Calculs				Moyenne "grandes bornes" : Résultats		
Casier	Vitesse moyenne (en m/an) 1990-2022 a	Vitesse moyenne (en m/an) 1947-2022 b	Lmax c	Casier	Projection à 30 ans (2052) $a \times 30 + c$	Projection à 100 ans (2122) $a \times 30 + c + b \times 70$
48	- 0,28	- 0,39	- 20 m	48	- 28,41 m	- 55,42 m

2.1.2 Méthode 1b - moyennes des petites bornes

Cette méthode repose sur le même fonctionnement que la méthode 1a. La différence repose sur les périodes prises en compte pour calculer la valeur des vitesses moyenne de recul annuel aux horizons 30 et 100 ans. En effet, dans ce cas de figure, la période est divisée en sous périodes en fonction des traits de côte disponibles. Chaque sous période donnera un résultat de vitesse, puis la moyenne de ces vitesses sera réalisée et donnera le Tx. (Voir Tableau 3)

Tableau 3 : Présentation de la méthode 1b

Moyenne "petites bornes" : Calculs										
Casier	1947-1957 1957-1966 1966-1990 1990-2012 2012-2016 2016-2019 2019-2022							Vitesse moyenne (en m/an) (1990-2022) <i>a</i>	Vitesse moyenne (en m/an) (1947-2022) <i>b</i>	Lmax <i>c</i>
	11 ans	10 ans	25 ans	23 ans	5 ans	4 ans	4 ans			
48	- 0,00	- 1,61	- 0,16		- 0,26	- 0,19	- 0,40	- 0,20	- 0,26	
	- 0,00	- 1,61	- 0,16	- 0,26	- 0,19	- 0,40	- 0,20			- 20 m

Moyenne "petites bornes" : Résultats		
Casier	Projection à 30 ans (2052) <i>a</i> X 30 + <i>c</i>	Projection à 100 ans (2122) <i>a</i> X 30 + <i>c</i> + <i>b</i> X 70
48	- 27,92 m	- 56,17 m

2.1.3 Méthode 2 - médianes

La méthode des médianes reprend celle des moyennes, mais dans ce cas seulement les valeurs médianes sur les périodes considérées seront prises en compte pour établir le Tx, puis projeter en suivant la même méthode.

La médiane correspond à la valeur qui divise la série de données en deux parties égales. Ainsi, elle mesure une tendance centrale qui n'est pas influencée par les valeurs extrêmes.

Tableau 4 : Présentation de la méthode 2

Médiane : Calculs										
Casier	1947-1957 1957-1966 1966-1990 1990-2012 2012-2016 2016-2019 2019-2022							Vitesse médiane (en m/an) (1990-2022) <i>a</i>	Vitesse médiane (en m/an) (1947-2022) <i>b</i>	Lmax <i>c</i>
	11 ans	10 ans	25 ans	23 ans	5 ans	4 ans	4 ans			
48	- 0,00	- 1,61	- 0,16		- 0,26	- 0,19	- 0,40	- 0,20	- 0,23	
	- 0,00	- 1,61	- 0,16	- 0,26	- 0,19	- 0,40	- 0,20			- 20 m

Médiane : Résultats		
Casier	Projection à 30 ans (2052) <i>a</i> X 30 + <i>c</i>	Projection à 100 ans (2122) <i>a</i> X 30 + <i>c</i> + <i>b</i> X 70
48	- 26,94 m	- 40,82 m

2.1.4 Méthode 3 - moyennes pondérées

Une autre méthode consiste à calculer pour chaque casier la moyenne pondérée des vitesses de recul : cette méthode permet de retenir une valeur d'évolution prenant en compte le poids de chaque période, c'est-à-dire le nombre d'années comprises dans chaque période.

Le calcul s'effectue de la manière suivante (Tableau 8) :

- La vitesse d'évolution de chaque casier est multipliée par le nombre d'année de la période associée.
- La somme de ces multiplications est faite pour couvrir l'entièreté de la période à étudiée.
- Le résultat est divisé par le nombre d'année de la période étudiée.

$$\frac{(Tx_{1947-1957} \times 11) + (Tx_{1957-1966} \times 10) + \dots + (Tx_{2019-2022} \times 4)}{76}$$

Figure 8 : Formule de la moyenne pondérée

Par exemple, pour le casier 48 (choisi aléatoirement), la moyenne pondérée permet d'obtenir les valeurs de recul suivantes : - 8,58 m en 2052 et - 55,77 m en 2122, par rapport à 2022.

Tableau 5 : Présentation de la méthode 3

Casier	Moyenne pondérée : Calculs							Vitesse moyenne pondérée (en m/an) (1947-2022) <i>b</i>	Lmax <i>c</i>
	1947-1957 11 ans	1957-1966 10 ans	1966-1990 25 ans	1990-2012 23 ans	2012-2016 5 ans	2016-2019 4 ans	2019-2022 4 ans		
48	- 0,00	- 1,61	- 0,16	- 0,26	- 0,19	- 0,40	- 0,20	- 0,29	- 20 m
	- 0,00	- 1,61	- 0,16	- 0,26	- 0,19	- 0,40	- 0,20	- 0,39	

Casier	Moyenne pondérée : Résultats	
	Projection à 30 ans (2052) <i>a</i> X 30 + <i>c</i>	Projection à 100 ans (2122) <i>a</i> X 30 + <i>c</i> + <i>b</i> X 70
48	- 28,58 m	- 55,77 m

2.2 Scénarios sécuritaires

2.2.1 Méthode 4 - vitesses maximales

La méthode des vitesses maximales revient à établir des projections aux horizons 30 et 100 ans en considérant cette fois-ci, pour chaque casier, la valeur maximale de vitesse annuelle de recul observée au sein de la période passée sur laquelle on se base pour projeter le trait de côte. Par exemple, pour le casier n°48, on observe au sein de la période 1990-2022 que la vitesse annuelle de recul la plus importante est celle observée entre 2016 et 2019, alors on ne gardera que cette valeur-là pour projeter à l'horizon 30 ans.

Tableau 6 : Présentation de la méthode 6

Casier	Vitesses max : Calculs							Vitesse maximum (en m/an) (1990-2022) <i>a</i>	Vitesse maximum (en m/an) (1947-2022) <i>b</i>	Lmax <i>c</i>
	1947-1957 11 ans	1957-1966 10 ans	1966-1990 25 ans	1990-2012 23 ans	2012-2016 5 ans	2016-2019 4 ans	2019-2022 4 ans			
48	- 0,00	- 1,61	- 0,16	- 0,26	- 0,19	- 0,40	- 0,20	- 0,40		- 20 m
	- 0,00	- 1,61	- 0,16	- 0,26	- 0,19	- 0,40	- 0,20		- 1,61	

Vitesses max : Résultats		
Casier	Projection à 30 ans (2052) <i>a</i> X 30 + <i>c</i>	Projection à 100 ans (2122) <i>a</i> X 30 + <i>c</i> + <i>b</i> X 70
48	- 32,10 m	- 144,86 m

2.2.2 Méthode 5 - Limber

La méthode Limber vise à prendre en compte les effets du changement climatique dans l'érosion des côtes à falaises. Elle calcule le recul pour les projections comme suit :

$$\text{Projection à 100 ans} = (\text{Tx} * 100 * 1,5) + \text{Lmax}.$$

Le Tx pris en compte est celui calculé sur la période 1947-2022 selon la méthode des moyennes. Le facteur 1,5 est ajouté afin d'accroître le recul estimé en prenant en compte de façon « raisonnable » les effets du changement climatique (Limber et al., 2017). La constante Lmax représente le recul évènementiel le plus important qui a été relevé, pour chaque secteur homogène selon la classification expliquée dans la partie 1.2 , sur la période passée prise en compte pour réaliser la projection.

Tableau 7 : Présentation de la méthode 5

Méthode "Limber" : Calculs			Méthode "Limber" : Résultats	
Casier	Vitesse moyenne (en m/an) (1947-2022) <i>b</i>	Lmax <i>c</i>	Casier	Projection à 100 ans (2122) <i>b</i> X 100 X 1,5 + <i>c</i>
48	- 0,39	- 20 m	48	- 77,89 m

2.3 Variante possible

2.3.1 Prise en compte des ouvrages

Pour le secteur de Sainte-Marguerite-sur-Mer où les ouvrages impactent de façon notable le transit littoral, une méthode plus précise peut être appliquée. D'abord, pour la projection à l'horizon 30 ans, le Tx utilisé sera calculé sur les trente dernières années avec présence des ouvrages.

En revanche, pour les projections à l'horizon 100 ans, nous pouvons simuler deux scénarios. Dans le premier, il est estimé que les ouvrages littoraux seront conservés sur les 30 prochaines années, puis seront démantelés. Auquel cas il faut repartir du trait de côte projeté à 30 ans, puis projeter pour les 70 années qui suivent en s'appuyant sur un Tx calculé sur la période 1947-1966 qui est la période la plus longue pour laquelle il est possible de calculer Tx en l'absence d'ouvrages.

Enfin, dans le deuxième scénario, il est estimé que les ouvrages ne jouant plus efficacement la fonction pour laquelle ils ont été mis en place, sont retirés rapidement. Il faut donc appuyer la projection à l'horizon 100 ans à 100% sur le calcul du Tx 1947-1966.

2.4 Synthèse des scénarios

Tableau 8 : Tableau de synthèse et de comparaison des résultats obtenus selon les différentes méthodes

Secteurs	Casiers	Scénarios médians								Scénarios sécuritaires		
		Méthode 1a Moyenne grandes bornes (1947-2022)		Méthode 1b Moyenne petites bornes		Méthode 2 Médiane		Méthode 3 Moyenne pondérée		Méthode 4 Vitesses max		Méthode 5 Méthode Limber
		30 ans	100 ans	30 ans	100 ans	30 ans	100 ans	30 ans	100 ans	30 ans	100 ans	100 ans
1	40	- 26,77	- 52,93	- 25,78	- 48,92	- 26,01	- 42,10	- 26,77	- 52,93	- 31,11	- 113,37	- 76,05
2	75	- 31,72	- 52,92	- 29,45	- 51,25	- 26,29	- 30,55	- 31,72	- 52,92	- 45,20	- 105,41	- 65,42
3	110	- 48,60	- 89,66 - 94,55	- 43,55	- 88,07 - 89,50	- 35,87	- 40,31 - 81,82	- 48,66	- 89,78 - 94,61	- 82,44	- 228,14 - 174,34	- 108,00 - 118,47
4	158	- 31,93	- 63,80	- 17,88	- 32,59	- 10,05	- 10,05	- 31,93	- 63,80	- 41,44	- 114,81	- 78,31
5	216	- 15,36	- 27,07	- 12,73	- 19,10	- 11,96	- 11,96	- 15,36	- 27,07	- 17,00	- 36,13	- 35,11

La ligne de données en écriture italique de couleur bleue représente la variante de l'impact des ouvrages littoraux.

Ce tableau synthétique (Tableau 8) permet d'observer les résultats renvoyés par les différentes méthodes employées, et ce en prenant pour exemple, à chaque fois, un casier pour chaque nouveau secteur défini après analyse de l'évolution passée du trait de côte. En partant de la gauche, les 4 premières méthodes sont celles présentant des scénarios médians et les 2 dernières sont celles présentant des scénarios sécuritaires.

Rappelons que toutes les méthodes, sans exception, prennent en compte le risque d'évènements majeurs en plus de la vitesse de recul chronique du trait de côte qui a été calculée. Rappelons aussi que cet évènement majeur a été pris en compte une seule fois dans le scénario 30 ans, c'est ce même évènement majeur qui demeure pour l'horizon 100 ans. Le choix a été fait de ne prendre en compte qu'une seule fois cet évènement par manque de donnée sur la période de retour mais aussi afin de produire un scénario à la fois sécuritaire mais pas de trop faible probabilité d'occurrence. Il est aussi important de noter que même si cet évènement peut survenir de façon isolée géographiquement, il était nécessaire de l'appliquer de façon uniforme sur le littoral de l'étude car il n'est pas possible de prédire le lieu auquel l'évènement se produira à l'avenir.

Les méthodes 1a et 3 présentent des scénarios très similaires voire identiques, dans la plupart des cas, et se situent dans la fourchette la plus sécuritaire parmi les scénarios médians. A l'inverse, les reculs affichés par les méthodes 1b et 2 sont plus faibles, et ce car ils prennent davantage en compte les valeurs de recul nulles (nulles soit car il n'y a pas eu de recul soit parce que la qualité des orthophotographies traitées ne permettait pas de déterminer de recul même s'il y en avait). La méthode qui affiche les résultats les plus pessimistes est celle des vitesses maximales. En effet, celle-ci s'appuie sur la vitesse maximale de recul observée dans le temps pour chaque casier, alors que la méthode Limber, bien qu'elle inclue un facteur 1,5 de recul lié au changement climatique, s'est appuyée sur les vitesses moyennes de recul selon la méthode 1a.



Figure 9 : Cartes de localisation des casiers dans le tableau synthétique



3 BIBLIOGRAPHIE

- Collectif d'Expertise Régionale sur le Climat et son Evolution (CERCLE). (2015). *Le changement climatique : des impacts régionaux aux pistes d'adaptation, du Nord-Pas de Calais à l'Eurorégion.* Région Nord-Pas-de-Calais.
- Cerema. (2023). *Littoraux normands 2027. Analyse des effets de l'érosion côtière et de la submersion marine sur le littoral normand aux horizons 2050, 2120 et 2300, incluant l'élévation du niveau de la mer liée au changement climatique*
- Cerema Normandie-Centre, & Direction Départementale des Territoires et de la Mer de la Seine Maritime. (2018a). *Étude sur le recul du trait de côte de la Seine-Maritime.*
- Cerema Normandie-Centre, & Direction Départementale des Territoires et de la Mer de la Seine Maritime. (2018b). *Étude sur l'érosion côtière : En aval des ouvrages majeurs en Seine Maritime.*
- Cerema, & BRGM. (2022). *Recommandations pour l'élaboration de la carte locale d'exposition au recul du trait de côte.*
- Deweze, T. J. B., Regard, V., Duperret, A., & Lasseur, E. (2015). *Shore platform lowering due to frost shattering during the 2009 winter at Mesnil Val, English channel coast, NW France.* EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS, 40, 1688-1700. <https://doi.org/10.1002/esp.3760>
- Dickson, M., Walkden, M., & Hall, J. (2007). *Systemic impacts of climate change on an eroding coastal region over the twenty-first century.* Climatic Change, 141-166. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9200-9>
- Foucault, A., Raoult, J.-F., Cecca, F., & Platevoet, B. (2014). *Dictionnaire de géologie* (Dunod).
- Letortu, P. (2013) *Le recul des falaises crayeuses haut-normandes et les inondations par la mer en Manche centrale et orientale : de la quantification de l'aléa à la caractérisation des risques induits.* Université de Caen
- Letortu, P. (2023). *L'érosion des falaises au sein des aléas côtiers : Suivi, compréhension et partage.* Université de Bretagne Occidentale.
- Letortu, P. et al.. (2022) *Experimental field study on the fatigue and failure mechanisms of coastal chalk cliffs: Implementation of a multi-parameter monitoring system* (Sainte-Marguerite-sur-Mer, France). Geomorphology, 408, pp.108211. 10.1016/j.geomorph.2022.108211. insu-03636861
- Limber, P., Barnard, P., Vitousek, S., & Erikson, L. (2017). *A Model Ensemble for Projecting Multidecadal Coastal Cliff Retreat During the 21st Century.* Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 123, 1566-1589. <https://doi.org/10.1029/2017JF004401>
- Masselink, G., & Russell, P. (2013). *Impacts of climate change on coastal erosion.* Marine Climate Change Impacts Partnership, 71-86. <https://doi.org/10.14465/2013.arc09.071-086>
- Prémaillon, M. (2019). *Hiérarchisation des facteurs d'érosion des falaises côtières du site au globe.* Université de Toulouse.
- PREPARING FOR THE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE, A Strategy for Long Term Planning and Management of the Shoreline in the Context of Climate Change Predictions. (2001). Halcrow.

4 TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 : Valeur du recul majeurs en fonction des casiers	9
Tableau 2 : Présentation de la méthode 1a.....	19
Tableau 3 : Présentation de la méthode 1b.....	20
Tableau 4 : Présentation de la méthode 2.....	20
Tableau 5 : Présentation de la méthode 3.....	21
Tableau 6 : Présentation de la méthode 6.....	22
Tableau 7 : Présentation de la méthode 5.....	22
Tableau 8 : Tableau de synthèse et de comparaison des résultats obtenus selon les différentes méthodes	24
 Figure 1 : Terminologie des éléments permettant de calculer la surface gagnée et/ou perdue entre deux traits de côte de millésimes différents	7
Figure 2 : Formule de la méthode des "surfaces perdues ou gagnées" appliquée pour calculer la vitesse moyenne d'évolution entre deux traits de côte en m/an.	8
Figure 3 : Localisation des secteurs homogènes et de leurs caractéristiques d'après l'étude Littoraux Normands 2027 du Cerema.....	9
Figure 4 : Schéma d'implantation des ouvrages littoraux sur la commune de Sainte-Marguerite-sur-Mer (DDTM, s.d).....	13
Figure 5 : Variation de la vitesse d'érosion en m/an en fonction du temps	14
Figure 6 : Graphique de la variation de la vitesse d'érosion en fonction de la localisation sur le linéaire de la zone d'étude (d'Ouest en Est)	15
Figure 7 : Graphique de l'évolution de la vitesse d'érosion en aval de l'épi Est de Sainte-Marguerite-sur-Mer	16
Figure 8 : Formule de la moyenne pondérée	21
Figure 9 : Cartes de localisation des casiers dans le tableau synthétique	25



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema

CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
Siège social : Cité des mobilités - 25 avenue François Mitterrand - CS 92 803 - 69674 Bron Cedex -
Tél. : +33 (0)4 72 14 30 30 – www.cerema.fr