



L'évolution des falaises de Charente-Maritime : état des connaissances actuelles et des perspectives de recherche

Dorian BÉRANGER^{1,2}, Jean-Michel CAROZZA², Christophe GARNIER³, Lisa MARTINS³, Nicolas BERNON³, Yannick THIERY¹

1. BRGM, Direction Risques et Prévention / Unité Risques Côtiers et Changement Climatique, 25 Av. Léonard de Vinci, 33600 Pessac, France.

d.beranger@brgm.fr

2. La Rochelle Université, UMR 7266 CNRS - LIENSs, 2 Rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France.

3. BRGM Nouvelle-Aquitaine, 24 Av. Léonard de Vinci, 33600 Pessac, France.

Résumé :

Cet article présente une synthèse des connaissances sur l'évolution des littoraux à falaises du département de la Charente-Maritime. À partir du croisement des données sur la cinématique de recul du linéaire côtier entre 1950 et 2018, issues de travaux antérieurs, une analyse statistique (test de Kruskal-Wallis) est menée pour déterminer s'il existe un lien entre les vitesses de recul et différents types de falaises. Six types de falaises ont été identifiés lors d'une précédente étude. En moyenne, les vitesses de recul des falaises charentaises sont plus faibles que celles de la côte basque et vendéenne. Les vitesses départementales sont très variables, allant de 0 à 42 cm.an⁻¹. Les falaises situées sur l'estuaire de la Gironde présentent les vitesses moyennes les plus lentes (3 cm.an⁻¹), bien qu'elles puissent connaître des mouvements gravitaires de forte ampleur. Les autres falaises de Charente-Maritime, réparties entre les milieux insulaires et continentaux, présentent des vitesses moyennes de recul plus importantes (7,5 cm.an⁻¹). Enfin, les résultats présentés au sein de cette étude soulignent qu'il n'existe pas de dépendance significative entre les vitesses de recul et les types de falaises.

Mots-clés :

Géomorphologie littorale, Falaises, Érosion, Test de Kruskal-Wallis, Charente-Maritime.

1. Introduction

Bien que constituant la majorité des littoraux à l'échelle globale (YOUNG & CARILLI, 2018), les côtes rocheuses à falaises ainsi que leurs dynamiques restent moins étudiées que les côtes basses sédimentaires (NAYLOR *et al.*, 2010). Le département de la Charente-Maritime ne fait pas exception à ce déficit de connaissances, alors que les côtes rocheuses représentent 21 % de son littoral (contre 62 % de côtes meubles et 17 % de remblais - polders). En raison de sa forte exposition à l'aléa submersion marine, les politiques publiques départementales de gestion des risques et du trait de côte (PAPI,

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

PPRL, SLGBC) se sont principalement orientées vers le développement de la connaissance de cet aléa, au détriment de l'érosion des côtes notamment rocheuses. Contrairement à certaines falaises de Normandie ou du Nord de la France, les enjeux humains et matériels y sont plus limités. Cependant, dans un département attractif où la démographie ne cesse de croître et dont l'économie est tournée vers le tourisme littoral, les enjeux fonciers ainsi que de fréquentation des espaces côtiers demeurent importants. Les récentes tempêtes d'octobre 2023 (Céline), de novembre 2023 (Ciaran, Domingo) et de février 2024 (Karlotta) ont remis en évidence la forte exposition du littoral charentais à l'aléa recul du trait de côte. Plusieurs communes littorales ont ainsi pris des arrêtés municipaux de fermeture des sentiers côtiers en raison d'instabilités gravitaires menaçantes.

Cet article vise à produire une première synthèse de l'état des connaissances sur l'évolution des côtes à falaises de Charente-Maritime. Les travaux réalisés par l'Observatoire de la Côte de Nouvelle-Aquitaine (OCNA) et le CEREMA ont permis de dresser des premiers bilans sur les vitesses de recul et des dynamiques qui influencent l'évolution de ces côtes rocheuses (CEREMA, 2019 ; MARTINS & BERNON, 2022). Néanmoins, ces études manquent de précision et les dynamiques propres à chaque massif rocheux restent à étudier. Le questionnement principal est la liaison entre les types de falaises en Charente-Maritime et les vitesses de recul de ces côtes rocheuses. Pour cela, des analyses statistiques seront effectuées, pour valider ou non l'hypothèse d'un lien entre ces deux variables. Ainsi, ce travail explore : (i) la variabilité spatiale de la vitesse moyenne d'érosion à l'échelle départementale ; (ii) la relation entre les types de falaises charentaises et les vitesses moyennes d'érosion.

2. Les spécificités géomorphologiques des falaises de Charente-Maritime

Les côtes rocheuses à falaises de Charente-Maritime représentent 91 km de linéaire côtier qui se répartissent dans trois milieux : les îles (34,8 % des falaises du département), les littoraux continentaux (32 %) et l'estuaire de la Gironde (33,2 %) (Figure 1). Ce travail ne prend en considération que les falaises qui ne sont pas artificialisées par des ouvrages longitudinaux de protection, soit 61 km, car ces aménagements réduisent considérablement les vitesses de recul (MARTINS & BERNON, 2022). D'un point de vue topographique, ces côtes rocheuses présentent une grande diversité de hauteurs : des microfalaises d'une hauteur de 1,5 mètre au sud de l'île de Ré jusqu'à 33 mètres pour les falaises estuariennes de La Gironde. La hauteur moyenne est peu élevée ($\mu = 6,7$ m) et peu dispersée ($\sigma = 4,7$ m). Ces falaises sont marquées par des pentes variables, comprises entre 30° à 90° ($\mu = 55,7^\circ$; $\sigma = 14,5^\circ$), principalement en relation avec les facteurs lithologiques : faibles pentes pour les falaises dominées par les marnes ou des matériaux meubles, pentes plus fortes pour celles dominées par les calcaires plus résistants.

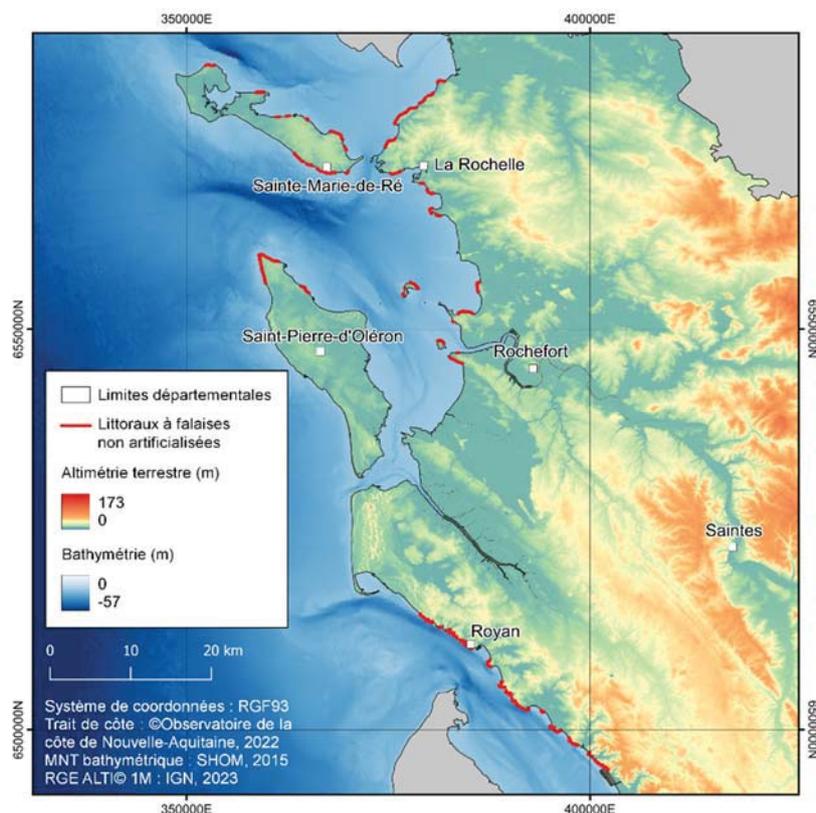


Figure 1. Localisation des côtes rocheuses à falaises en Charente-Maritime.

Six types ont été définis à l'échelle départementale (JEAN-BAPTISTE, 2021 ; *cf. infra*). Le premier type (Type 1 ; Figure 2, A) concentre les falaises à calcaires crayeux du Crétacé supérieur, localisé sur des sites estuariens. Le deuxième ensemble de falaises (Type 2 ; Figure 2, B) est entaillé dans les calcaires argileux et marneux du Jurassique supérieur, essentiellement au nord du département. Le troisième type (Type 3 ; Figure 2, C) est constitué de grès, sables, argiles, calcaires et marnes datant du Tithonien ainsi que du Crétacé supérieur. Ces formations sont recouvertes d'alluvions ou d'altérites pluri-métriques, et se retrouvent sur les îles d'Aix, Madame et d'Oléron ainsi que sur les côtes rocheuses continentales proches de ces îles. Le quatrième ensemble (Type 4 ; Figure 2, D) regroupe les falaises entaillées dans les grès, marnes et calcaires du Lutétien. Ce groupe se répartit le long de l'estuaire de la Gironde. Le cinquième type de falaises (Type 5 ; Figure 2, E) se définit par les affleurements de calcaires et des marnes bioclastiques (récifs coralliens) localisés exclusivement à la pointe du Chay à Angoulins-sur-Mer. Cette formation se singularise par la présence de calcaires récifaux (OLIVIER *et al.*, 2003) datant du Kimméridgien. Enfin, le dernier type (Type 6 ; Figure 2, F) correspond aux calcaires crayeux et argileux du Jurassique supérieur, situés sur l'île de Ré et à La Rochelle (JEAN-BAPTISTE, 2021).

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

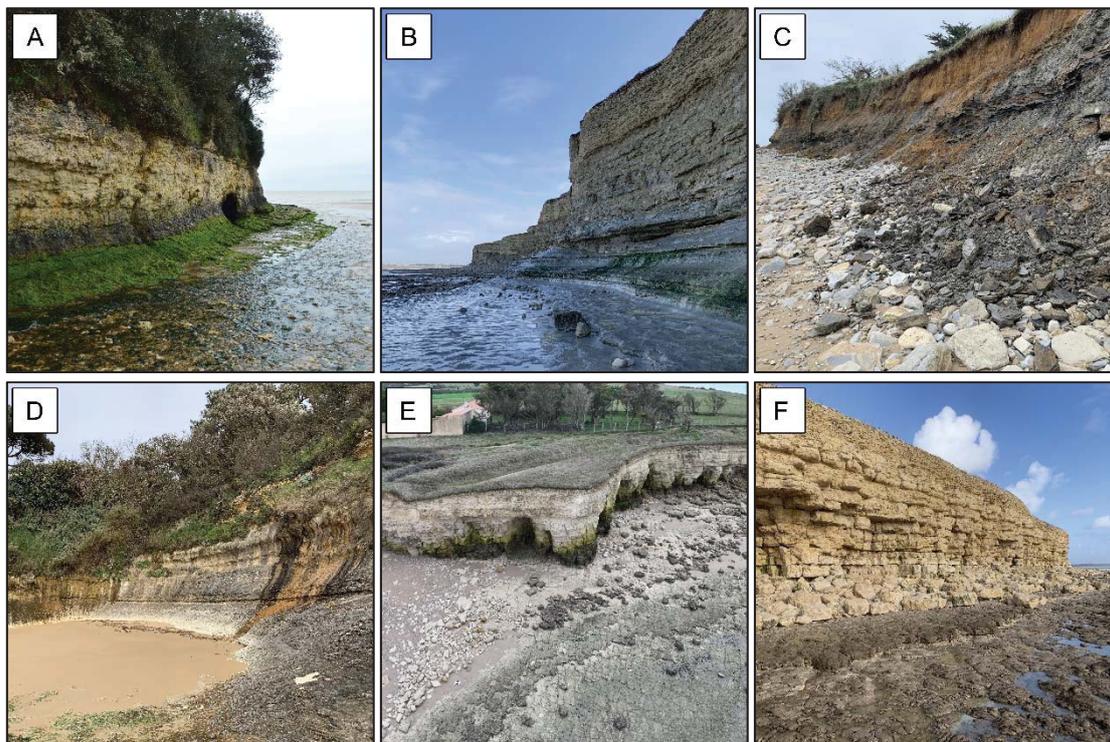


Figure 2. Types de côtes rocheuses en Charente-Maritime ; A : type 1 ; B : type 2 ; C : type 3 ; D : type 4 ; E : type 5 ; F : type 6.

3. Matériel et méthode

3.1 Données utilisées

Les vitesses de recul des falaises de Charente-Maritime entre 1950 et 2018 ont été obtenues par MARTINS et BERNON (2022). Elles ont été calculées par la méthode de l'End Point Rate via le module DSAS d'ArcGis (THIELER *et al.*, 2008), qui vise à analyser les changements de position du trait de côte dans le temps. Ici, les vitesses de recul ont été calculées sur une période de 68 ans, entre les ortho-photographies de 1950 et 2018 produites par l'IGN. Le second jeu de données provient de la typologie des falaises élaborée par JEAN-BAPTISTE (2021), reposant sur la méthode proposée par GENNA *et al.* (2004). Cela est issu d'une analyse à dire d'expert, où une vingtaine de variables topographiques, géologiques et morfo-structurales sont croisées.

3.2 Démarche statistique employée

À partir des données obtenues par le travail de MARTINS et BERNON (2022), la moyenne des vitesses de recul a été recalculée en prenant en compte l'ensemble des valeurs obtenues (n=5907). Afin de déterminer l'existence d'une liaison significative entre types de falaises et vitesses de recul, la dispersion des valeurs entre les différents types a été analysée par un test de Kruskal-Wallis. Ce test permet de définir si des groupes

présentent des paramètres de dispersion significativement différents. Un test de Shapiro-Wilk a également été effectué sur le jeu de données et indique que les valeurs ne suivent pas la loi normale ($H : 2,59 \times 10^{-100}$; $P < 0,05$) (Figure 3, A). Le test de Kruskal-Wallis se définit par l'équation suivante (1) :

$$H = \left(\frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(n+1) \quad (1)$$

où : n est le nombre total des valeurs, k est le nombre de groupes, n_i est le nombre de valeurs au sein d'un seul groupe étudié et R_i la somme moyenne des rangs dans le groupe étudié (ROGERSON, 2001).

Un test Post Hoc de Dunn a également été appliqué pour identifier les paires de types dont les propriétés sont significativement différentes. Si tous les groupes ne présentent pas des valeurs significativement différentes entre eux, alors la typologie des falaises n'est pas suffisamment adaptée pour étudier les processus d'érosion. La formule (2) permet d'obtenir une valeur P de la comparaison entre deux groupes :

$$z_i = \frac{y_i}{\sigma_i} \quad (2)$$

où : y_i est la comparaison des sommes moyennes entre deux groupes et σ_i l'écart-type obtenu. L'existence d'une différence statistique entre deux groupes est avérée lorsque la valeur P calculée est inférieure au seuil alpha de significativité ($\alpha = 0,05$).

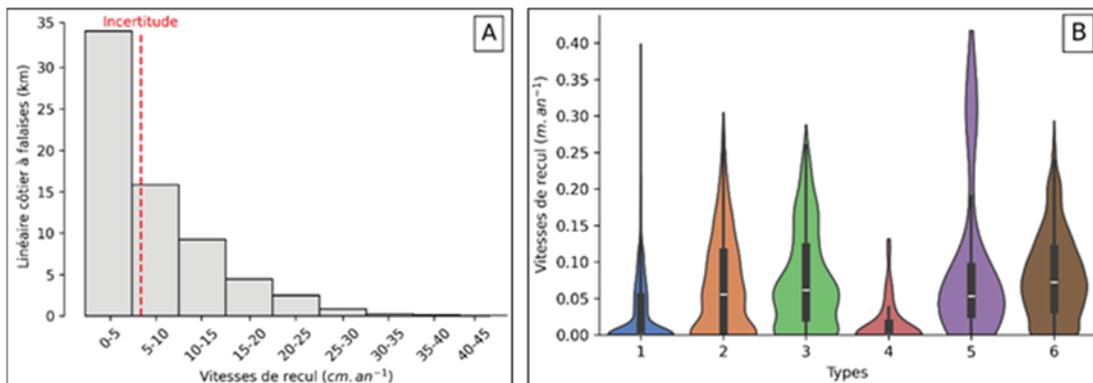


Figure 3. A : Distribution des vitesses de recul à l'échelle départementale et seuil d'incertitude ; B : Distribution des vitesses de recul par type.

4. Résultats et discussion

4.1 Analyse des vitesses départementales de recul

Sur l'ensemble du département, les vitesses de recul varient entre 0 et 42 cm.an⁻¹ (MARTINS & BERNON, 2022). La valeur moyenne de recul des falaises de Charente-Maritime est estimée à 6 cm.an⁻¹. Cependant, la figure 3.A. indique une grande variabilité de ces vitesses de recul. 34,3 km (56,2 %) du linéaire côtier à falaises présente une vitesse

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

de recul inférieure à la marge d'erreur calculée par MARTINS et BERNON (2022), soit $5,5 \text{ cm.an}^{-1}$. Ces valeurs sont donc difficilement interprétables. Les vitesses de recul supérieures à cette marge d'erreur représentent 26,7 km du linéaire rocheux (43,8 %), avec une moyenne de recul établie à $11,7 \text{ cm.an}^{-1}$. La valeur maximale de recul est observée à la pointe du Chay (42 cm.an^{-1}) sur la commune d'Angoulins-sur-Mer.

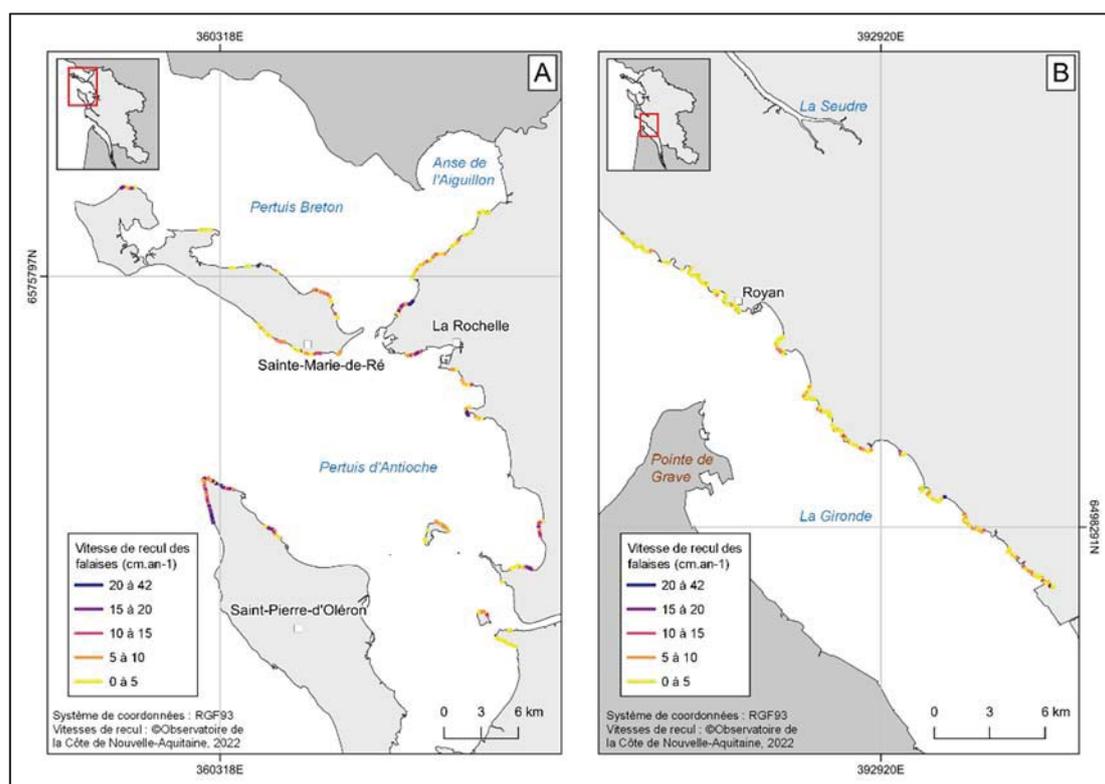


Figure 4. Vitesses de recul des falaises de Charente-Maritime ; A : Falaises insulaires et continentales ; B : Falaises estuariennes.

4.2 Analyse du lien entre les vitesses de recul et les types de falaises

Le lien entre les vitesses de recul et les types rocheux est évalué à travers un test de Kruskal-Wallis. Ce dernier indique des différences significatives entre les groupes ($H : 1,17^{e-216}$; $P < 0,05$). Ce résultat est confronté au test Post Hoc de Dunn (Tableau 1) qui démontre qu'il existe bien des différences significatives entre une grande majorité des paires de groupes. Les vitesses de recul de certains types ne se distinguent pas (*i.e.* 1:4 ; 2:5 ; 3:5 ; 5:6). Les groupes ayant le plus de différences significatives avec les autres sont les types 1 (falaises estuariennes du Crétacé supérieur), 4 (falaises estuariennes du Lutétien) et 6 (falaises du Jurassique supérieur). Le type 5 (falaises de la pointe du Chay à marnes et calcaires bioclastiques du Kimméridgien) est celui ayant la moins grande différence significative avec les autres groupes ($P > 0,05$). Les résultats (Tableau 1) de ces tests statistiques viennent confirmer le constat obtenu par l'analyse descriptive de la figure 3.B.

Tableau 1. Matrice des valeurs de P entre les six types (test de Dunn).

| Types | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------|---|
| 1 | 1 | - | - | - | - | - |
| 2 | 1,6975e-65* | 1 | - | - | - | - |
| 3 | 4,7641e-100* | 0,0147289 | 1 | - | - | - |
| 4 | 0,1338529 | 3,5866e-10* | 7,8640e-13* | 1 | - | - |
| 5 | 2,3454e-21* | 0,2918654 | 0,9085332 | 2,0374e-10* | 1 | - |
| 6 | 1,8178e-173* | 1,7522e-10* | 0,001867* | 2,0712e-16* | 0,180855 | 1 |

* $P < 0,05$. (Vert : significativement différent ; Rouge : pas de différence significative)

4.3 Limites et perspectives de l'étude

Les résultats obtenus indiquent que les vitesses moyennes de recul à l'échelle départementale sont faibles (6 cm.an⁻¹), mais peuvent atteindre des vitesses locales plus importantes (42 cm.an⁻¹). D'après le test de Kruskal-Wallis, cette variation semble être dépendante des différents types rocheux, mais ce résultat est nuancé par le test de Dunn qui indique que tous les types ne sont pas indépendants (Tableau 1). Cela démontre qu'il n'existe pas un lien avéré entre les vitesses de recul et les divers types de falaises. La typologie des falaises (JEAN-BAPTISTE, 2021) n'est pas suffisamment adaptée pour rendre compte de la disparité des vitesses d'érosion des falaises. La définition des types repose essentiellement sur des indicateurs lithologiques. De nouvelles variables devront être intégrées dans cette typologie, telles que l'exposition à la houle, la morphologie de l'estran rocheux ou encore l'hydrogéologie (GUILLEN *et al.*, in review).

Les premières observations de terrain montrent que les instabilités gravitaires se caractérisent essentiellement par des éboulements et des fluages à haute fréquence, mais de basse intensité. Ces falaises pourraient présenter plusieurs phénomènes annuels sur une faible distance (± 100 m) avec des faibles volumes (≤ 50 m³). Cette hypothèse sera étudiée par la mise en place d'observations hautes fréquences par des relevés de terrain trimestriels, ainsi qu'avec des acquisitions d'images très hautes résolution par drone.

5. Conclusion

À l'échelle de la façade atlantique, les vitesses de recul des falaises charentaises sont moins rapides que les falaises basques (25 km, 17 cm.an⁻¹ ($\pm 6,6$ cm.an⁻¹); PRÉMAILLON, 2018 ; MARTINS *et al.*, 2021) et vendéennes (38 km, 12 cm.an⁻¹ (± 7 cm.an⁻¹); BAUDOIN *et al.*, 2015). Cette étude démontre que les vitesses de recul des falaises charentaises ne dépendent pas exclusivement des différents types de falaises. À cause de la prédominance des caractéristiques lithologiques et donc d'une définition simplifiée, la typologie des falaises n'est pas pertinente. Elle sera améliorée en y intégrant d'autres facteurs qui représentent les spécificités d'un système côtier rocheux, pour obtenir une typologie davantage adaptée aux hypothèses du projet DYN-FALAISES.

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet DYN-FALAISES piloté par le BRGM

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

et La Rochelle Université, grâce à un financement du Département de la Charente-Maritime et de la convention de recherche régionale Nouvelle-Aquitaine - BRGM.

6. Références bibliographiques

- BAUDOIN V., PLAT E., BOUCHEZ M., SAUVAGET B., LOQUET M. (2015). *Identification et cartographie des aléas liés aux talus et falaises du littoral de Vendée*. Rapport final - BRGM/RP- 64271-FR, 151 p. <http://ficheinfoterre.brgm.fr/document/RP-64271-FR>
- CEREMA (2019). *Dynamiques et évolution du littoral. Fascicule 6 : Synthèse des connaissances de la pointe de Chémoulin à la pointe de Suzac*. Collection : Connaissances, 385 p. ISBN : 978-2-37180-312-1
- GENNA A., CAPDEVILLE J.P., MALLET C., DESHAYES L. (2004). *Étude géologique simplifiée de la Côte Basque*. Rapport final – BRGM/RP-53258-FR, 42 p.
- GUILLEN L., DEWEZ T., LÉVY C., RAZIN P., BOURBON P., CARITG S., CUCCURULLO A., GALLIPOLI D., LA BORDERIE C., GARNIER C., THIERY Y. *Quantification of flysch seacliffs retreat rates by the classification instability types and by the hierarchization of predisposing factors*. *Geomorphology*. In review.
- JEAN-BAPTISTE M. (2021). *Typologie et dynamique d'évolution des côtes rocheuses de la Nouvelle-Aquitaine*. Mémoire Université de Montpellier, Montpellier, 99 p.
- MARTINS L., BERNON N. (2022). *Caractérisation du recul des côtes rocheuses de Charente-Maritime entre 1950 et 2018*. Rapport final - BRGM/RP-72315-FR, 60 p.
- MARTINS L., THIERY Y., GUILLEN L., DEWEZ T., LÉVY C., GARNIER C. (2021). *Caractérisation spatiale et temporelle du recul du sommet de falaises basques : recherche méthodologique*. *Bulletin de l'association des géographes français*, Vol. 98, pp 421-439. <https://doi.org/10.4000/bagf.8333>
- NAYLOR L. A., STEPHENSON W.J, TRENHAILE A.S. (2010). *Rock coast geomorphology: Recent advances and future research directions*. *Geomorphology*, Vol. 114, pp 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.02.004>
- OLIVIER N., HANTZPERGUE P., GAILLARD C., *et al.* (2003). *Microbialite morphology, structure and growth: a model of the Upper Jurassic reefs of the Chay Peninsula (Western France)*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 193, pp 383-404. [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00236-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00236-0)
- PRÉMAILLON M. (2018). *Hiérarchisation des facteurs d'érosion des falaises côtières du site au globe*. Thèse Univ. de Toulouse, Toulouse, 260 p. <https://theses.hal.science/tel-02414918>
- ROGERSON P. A. (2001). *Statistical methods for geography*. SAGE, London, 236 p.
- THIELER E.R., HIMMELSTOSS E.A., ZICHICHI J.L., ERGUL A. (2008). *The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change*. Open-file Report 2008-1278, 79 p. <https://doi.org/10.3133/ofr20081278>
- YOUNG A.P., CARILLI J.E. (2018). *Global distribution of coastal cliffs*. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 44, pp 1309-1316. <https://doi.org/10.1002/esp.4574>