



Etude sur la sensibilité à l'érosion marine des côtes de la Corse en appui à la gestion intégrée des risques côtiers

Julie MUGICA ¹, Eloïse GRELLIER ¹, Anne-Eléonore PAQUIER ¹,
Louis FERRADOU ², Serge CALENDINI ³, Guillaume BEZERT ³

1. BRGM Corse, Immeuble Agostini, ZI de Furiani, 20600 Bastia, France.
j.mugica@brgm.fr; e.grellier@brgm.fr; ae.paquier@brgm.fr
2. BRGM PACA, 117 avenue de Luminy, 13009 Marseille, France. *l.ferradou@brgm.fr*
3. Office de l'Environnement de la Corse, 14 avenue Jean Nicoli, 20250 Corte, France.
Serge.Calendini@oec.fr; Guillaume.Bezert@oec.fr

Résumé :

Le littoral Corse se caractérise par une grande diversité géologique et géomorphologique avec une côte meuble (215 km) et une côte rocheuse (680 km). En appui à l'Office de l'Environnement de la Corse pour l'élaboration d'une Stratégie Territoriale Corse de Gestion Intégrée du Trait de Côte, la sensibilité à l'érosion marine a été évaluée de manière homogène et exhaustive à l'échelle de l'île. Un grand nombre de données et de critères géologiques, géomorphologiques et hydrodynamiques ont été compilés et interprétés notamment à partir d'analyses statistiques afin de proposer un rendu cartographique au 1/25 000 sur la côte meuble et la côte rocheuse.

Des critères propres ont été pris en compte afin d'évaluer la susceptibilité au recul sur la côte meuble (taux d'évolution du trait de côte et qualité de l'espace d'accommodation) et la côte rocheuse (résistance mécanique des roches, présence de surplomb et de sous-cavage, hauteur et pente de la falaise). Par ailleurs, des paramètres liés aux agents externes (hauteur et angle d'incidence des vagues d'un événement extrême) ont été pris en compte afin d'évaluer la vulnérabilité aux tempêtes. La sensibilité à l'érosion marine a été estimée par croisement de la susceptibilité et de la vulnérabilité en plusieurs étapes.

Ce diagnostic a mis en évidence que 59,5 % du linéaire meuble et 35 % du linéaire rocheux présentait une sensibilité forte à très forte à l'érosion marine. L'analyse multicritère a permis une analyse et une prise en compte des incertitudes liées aux données puis de cibler les approches plus locales pour la caractérisation de l'aléa. Le rendu cartographique offre une nouvelle vision à l'échelle territoriale qui est essentielle pour la définition des suivis à ajuster notamment dans le cadre du Réseau d'Observation du Littoral de Corse mais également pour la mise en œuvre de modes de gestion intégrée et de mesures de prévention des risques côtiers.

Mots-clés : Erosion marine, Côte rocheuse, Côte meuble, Cartographie, Sensibilité, Corse, Gestion intégrée.

Thème 6 – Risques côtiers

1. Introduction

Bien que la Corse dispose depuis 2001 d'un Réseau d'Observation du Littoral (ROL), la connaissance des évolutions géomorphologiques du littoral demeurerait trop partielle et hétérogène pour la mise en œuvre d'une Stratégie Territoriale Corse de Gestion Intégrée du Trait de Côte (STCGITC, BEZERT, 2019). C'est pourquoi, une méthode a spécifiquement été élaborée afin de compiler un grand nombre de données et de critères géologiques, géomorphologiques et hydrodynamiques, de manière homogène et la plus exhaustive possible à l'échelle des côtes meuble et rocheuse de l'île (environ 900 km, voir Figure 1). Appuyée notamment sur des analyses statistiques, l'interprétation de ces données a permis de cartographier la sensibilité à l'érosion marine sur la côte meuble (MUGICA *et al.*, 2022) et la côte rocheuse (GRELLIER *et al.*, 2022) au 1/25 000.



Figure 1. Localisation de la Corse (©Geoportail) à gauche et illustration des côtes rocheuses (en haut à droite) et meubles (en bas à droite), juin 2022.

2. Données et méthode

2.1 Données exploitées

Les données exploitées pour la qualification des différents indicateurs géomorphologiques et géologiques sont les orthophotographies de l'IGN (1951, 1983, 2007, 2016 et 2019), le RGE ALTI® 1 m (2013) et le Litto3D du SHOM (2018), la carte géologique harmonisée au 1/50 000^{ème} ainsi que les inventaires des mouvements de terrain (BD-MVT, 2018) et des cavités souterraines naturelles (BD-CAVITES, 2018).

Les conditions marines (niveaux d'eau, hauteur et direction pic des vagues) sont issues d'études antérieures relatives à l'exposition aux submersions marines lors d'un

événement centennal (MUGICA *et al.*, 2019, 2020 et 2021). Outre leur disponibilité sur tout le pourtour de la Corse, ces données offrent une cohérence à l'échelle territoriale entre les deux cartographies de l'exposition aux submersions marines et à l'érosion marine.

2.2 Typologie de la côte meuble

Sur la côte meuble, une typologie géomorphologique a, dans un premier temps, été réalisée pour 261 plages de plus de 150 m de long (seuil adapté à la lisibilité des données tout en intégrant un grand nombre de petites unités). Les limites de ces plages meubles sont rocheuses (caps, affleurements), artificielles (urbanisation, ouvrages côtiers, etc.), hydrauliques (embouchures) ou géographiques (changement d'orientation de la côte par ex.). Elles correspondent aux cellules morphosédimentaires (STEPANIAN *et al.*, 2010) pour la Plaine orientale (côte basse meuble relativement rectiligne d'environ 100 km).

Le choix des indicateurs de la typologie est basé sur la littérature scientifique et les données disponibles à une résolution appropriée pour l'analyse qualitative mais aussi quantitative dans la mesure du possible. Ils concernent :

- a) la géomorphologie des plages : largeur, longueur et pente de la plage, présence ou absence de berme(s), de barre(s) sous-marine(s), continuité de la dune, nature de l'arrière plage (lagune, zone humide, etc.) ;
- b) l'hydrodynamique à partir de l'ajustement de l'indicateur d'« agitation » de BRUNEL (2010) : indentation, incidence des vagues, présence d'abris, etc. ;
- c) les apports sédimentaires : lithologie, embouchures de fleuves ou étangs côtiers ;
- d) le degré d'urbanisation de la dune qui témoigne des possibilités d'évolution naturelle.

Compte tenu du grand nombre d'indicateurs considérés et des données collectées, des analyses statistiques factorielles ont été réalisées afin de regrouper ces plages de manière objective selon leurs critères de ressemblance. L'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) a été réalisée afin de traiter des variables qualitatives et quantitatives en discrétisant ces dernières en classes. Elle décrit les relations deux à deux à travers des groupes de plages correspondant aux divers critères retenus. Les informations les plus importantes et les plus structurantes sont extraites et restituées sous forme de graphiques dans lesquels la distance entre les individus témoigne de leur ressemblance ou dissemblance. Une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a ensuite été réalisée afin de regrouper les plages par « cluster », en fonction de leur degré de ressemblance défini par l'ACM. Plusieurs tests ont été effectués afin d'ajuster les résultats. Bien que les groupes aient ensuite été ajustés à dire d'expert, cette approche permet de définir des types de plages de manière robuste et objective à l'échelle de l'île.

2.3 Susceptibilité à l'érosion

La susceptibilité est une caractéristique propre de la côte qui définit sa prédisposition à l'érosion. Sur la côte meuble, elle s'obtient en croisant les taux d'évolution du trait de

Thème 6 – Risques côtiers

côte avec la présence d'un obstacle dur. Les taux d'évolution ont été calculés à partir des traits de côte historiques digitalisés sur les orthophotographies entre 1951 et 2019 avec le module DSAS d'ArcGIS© (voir C, Figure 2). En présence d'un obstacle dur (affleurement rocheux, falaise, bâtiment, protection dure, etc.), l'espace d'accommodation du trait de côte est limité et sa position reste stable. Le taux d'évolution n'est plus représentatif de l'érosion marine qui se manifeste par un abaissement de l'altitude de la plage et/ou de l'avant-côte (diminution du volume sédimentaire). Ces indicateurs n'ayant pu être quantifiés à une échelle territoriale, la distance au trait de côte d'un obstacle dur (A) et sa continuité (B) ont été évaluées sur l'orthophotographie 2019 de l'IGN (voir Figure 2). Pour la côte rocheuse, la susceptibilité au recul s'obtient en croisant des indicateurs géomorphologiques (hauteur $a1$ et pente $a2$ de la falaise) et des indicateurs géologiques (résistance mécanique de la roche $b1$, activité historique $b2$ et susceptibilité liée à la présence de surplombs et/ou de sous-cavages $b3$, voir Figure 2). Afin de réaliser une cartographie de manière semi-automatique de la susceptibilité, une méthode de scoring (voir Figure 2) a été appliquée. Les classes de valeurs pour les différents indicateurs ont été définies puis un score a été attribué à chacune, ceci par itération avec des tests de sensibilité, analysés à dire d'expert afin d'assurer une cohérence avec la connaissance terrain.

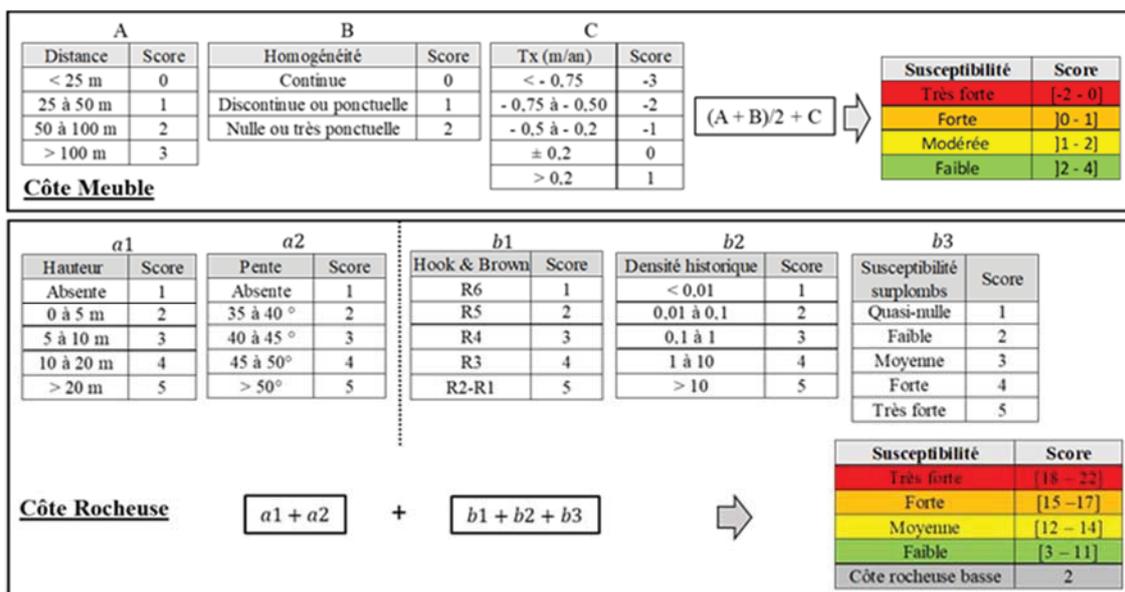


Figure 2. Schéma illustrant la méthode de scoring pour la détermination de la susceptibilité à l'érosion marine.

2.4. Vulnérabilité aux vagues de tempête

La vulnérabilité introduit la notion d'impact d'agents externes (conditions marines lors d'évènements extrêmes). Comme pour la susceptibilité, une méthode de scoring, ajustée à dire d'expert et avec des tests itératifs, a été employée.

Pour la côte meuble, la vulnérabilité se définit par le croisement de la géométrie de la plage (largeur) avec le régime d'impact des vagues (voir Figure 3). Le code SWASH en mode profil a été utilisé pour calculer les paramètres des formules de SALLENGER (2000) permettant d'estimer le régime d'impact des vagues.

Pour la côte rocheuse, elle s'obtient par le croisement de la hauteur et de l'angle d'incidence des vagues (exprimant l'énergie incidente proche de la côte) avec la pente moyenne de l'avant-côte (exprimant un rôle d'atténuation). La vulnérabilité aux vagues de tempêtes traduit l'influence de la mer sur les falaises littorales (voir Figure 3).

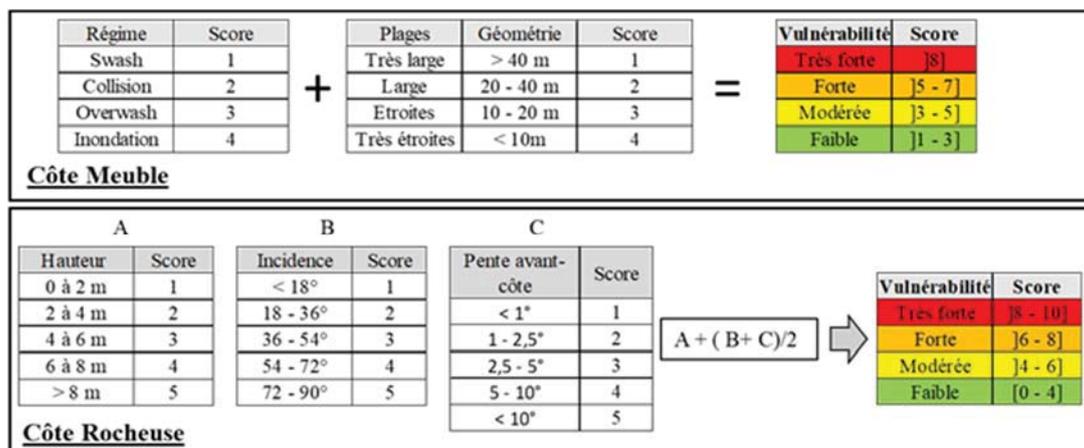


Figure 3. Schéma illustrant la méthode de scoring pour la détermination de la vulnérabilité aux vagues de tempêtes.

2.5. Sensibilité à l'érosion marine

La sensibilité à l'érosion marine résulte du croisement entre la susceptibilité et la vulnérabilité selon une matrice élaborée par itération avec des tests de sensibilité analysés à dire d'expert afin de limiter les éventuels biais et d'assurer l'homogénéité à l'échelle de chaque type de côte (voir Figure 4). Sur la côte rocheuse, l'impact des vagues est considéré comme un facteur aggravant du déclenchement de mécanismes gravitaires principaux responsables de l'érosion des falaises (connaissance locale, ANDRIANI & PELLEGRINI, 2014, GIULIANO, 2015).

		Susceptibilité						Très forte
		Faible		Modérée		Forte		
		CR	CM	CR	CM	CR	CM	
Vulnérabilité	Faible	Faible	Modérée	Faible	Forte	Modérée	Forte	
	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	Forte	Forte	Forte	
	Forte	Faible	Modérée	Modérée	Forte	Forte	Très forte	
	Très forte	Modérée	Forte	Forte	Forte	Très forte	Très forte	

Figure 4. Matrice de croisement de la susceptibilité à l'érosion marine et de la vulnérabilité aux vagues de tempêtes pour la cartographie de la sensibilité à l'érosion marine pour la côte rocheuse (CR) et la côte meuble (CM).

3. Résultats et discussion

Sur la côte meuble, 59,5% du linéaire meuble présentent une sensibilité forte à très forte et correspond en majorité à des plages aménagées (voir Figure 5). La typologie a mis en évidence un contrôle important exercé par le caractère naturel ou urbanisé du cordon littoral. Les plages naturelles qui offrent un plus large espace d'accommodation, ont en majorité une sensibilité faible à modérée. Le linéaire le plus sensible est localisé sur la façade Est au niveau de la Plaine orientale (zones sous influence d'ouvrages côtiers et/ou d'embouchures, zones de dune urbanisée), des petites plages de poche aménagées du Cap Corse et du Golfe de Porto-Vecchio par ex. ainsi que localement sur des grandes plages de poche aménagées et exposées de la façade Ouest (Golfe d'Ajaccio, Calvi, Taravo-Tenutella par ex.). Ailleurs sur cette façade, le bilan est mitigé avec une sensibilité faible à modérée. Les plages les moins sensibles sont situées sur la façade Sud-Ouest (19% du linéaire).



Figure 5. Cartographie de la sensibilité à l'érosion marine.

Sur la côte rocheuse, environ 35 % du linéaire est caractérisé par une sensibilité forte ou très forte et correspond à des hautes falaises subverticales voire en surplomb, de géologie variable (calcaires, schistes, granites, roches volcaniques, flysch) principalement autour de Bonifacio, du Cap Corse, entre Cargèse et Calvi et le secteur entre Lozari et l'Ostriconi (environ 200 km, voir Figure 5). Près de la moitié du linéaire présente une sensibilité à l'érosion marine plutôt faible ou moyenne, et correspond généralement à des côtes moins abruptes et/ou de lithologies plus massives et résistantes (granites), tel que sur la moitié sud de la Corse (entre Ajaccio et Figari, entre le golfe de Sant'Amanza et Solenzara) et entre Calvi et Saint-Florent (hors linéaire entre Lozari et l'Ostriconi). Le reste du linéaire rocheux (18 %) est une côte rocheuse basse (pente de la falaise $< 35^\circ$), principalement sur la moitié sud de l'île (la majorité est globalement située entre Ajaccio et Solenzara), où la sensibilité à l'érosion marine n'a pas été évaluée car ces côtes faiblement inclinées sont généralement de hauteur limitée (souvent inférieure à 5 m). De plus, d'après l'expertise de terrain, il s'agit globalement de roches plutôt résistantes (granites, roches métamorphiques), avec une sensibilité à l'érosion marine considérée très faible.

4. Conclusion

La méthode d'évaluation de la sensibilité à l'érosion marine a requis le traitement d'un très grand nombre de données (topo-bathymétriques, géologiques, météo-marines, inventaires événementiels, images aériennes, etc.) pour une restitution cartographique au 1/25 000^{ème}. Spécifiquement développée pour la Corse en appui à la Stratégie Territoriale Corse de Gestion Intégrée du Trait de Côte (BEZERT, 2019), elle présente les avantages d'être homogène et cohérente à l'échelle territoriale ainsi que d'offrir une vision objective de l'état géomorphologique du linéaire meuble (215 km) et rocheux (680 km).

Ainsi sur la côte meuble, elle représente un socle indispensable pour les gestionnaires en vue de prioriser des approches plus locales pour la caractérisation de l'aléa recul du trait de côte et le choix des modes de gestion. Les approximations induites par les ajustements et corrections ponctuelles sur certains sites, pourront être précisées à des échelles plus fines avec l'acquisition de données plus précises permettant d'estimer par exemple, les budgets sédimentaires, le rôle des banquettes de posidonie, l'impact des ouvrages de protection et/ou des opérations de restauration dunaire, etc.

Sur la côte rocheuse, la caractérisation de l'aléa recul du trait de côte basée sur le croisement des facteurs de prédisposition et du recul redouté, requiert le développement d'une méthode spécifique adaptée au contexte géologique et géomorphologique Corse. Des données plus précises à des échelles plus locales (inventaires événementiels plus complets, volumes et reculs associés, position des ruptures de pentes, tête et pied de falaise et/ou d'éboulis, ouverture de fractures, circulations d'eau, etc.) sont nécessaires pour qualifier plus finement les mécanismes de rupture (mouvements de terrain), identifier les facteurs de prédisposition et estimer le recul redouté (sur une période de retour voulue).

Thème 6 – Risques côtiers

Dans un contexte de changement climatique dont les forçages et manifestations présentent de larges incertitudes à l'échelle territoriale, la sensibilité à l'érosion marine est susceptible d'évoluer. Son analyse nécessitera des ajustements et des réactualisations selon l'évolution des connaissances et des besoins (gestion, usage, enjeux, événements, par exemple).

5. Références bibliographiques

ANDRIANI G.F., PELLEGRINI V. (2014). *Qualitative assessment of the cliff instability susceptibility at a given scale with a new multidirectional method*. International Journal of Geology, 8, p. 9.

BEZERT G. (2019). *Erosion du littoral : Définition des grandes orientations et méthodologie pour l'élaboration d'une Stratégie Territoriale Corse de Gestion Intégrée du Trait de Côte*. Rapport OEC, Corti, 52 p.

BRUNEL C. (2010). *Evolution séculaire de l'avant-côte de la Méditerranée française, impact de l'élévation du niveau de la mer et des tempêtes*. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille. HAI Id : tel-00511971

GIULIANO J. (2015). *Erosion des falaises de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur : Evolution et origine de la morphologie côtière en Méditerranée*. Thèse de doctorat, Université Nice - Sophia Antipolis.

GRELLIER E., MUGICA J., HAMON-KERIVEL K. (2022). *Diagnostic géomorphologique de la côte rocheuse en Corse*. Rapport BRGM/RP-72043-FR.

MUGICA J., PEDREROS R., LOUISOR J., ROHMER J., MASPATAUD A., LAIGRE T., BELON R., NICOLAE-LERMA A., PARIS F. (2019). *Caractérisation des zones basses potentiellement exposées aux submersions marines, Secteurs de Sant'Amanza (Bonifacio) à Zonza*, Rapport final, BRGM/RP-68934-FR, 134 p., 3 ann.

MUGICA J., LOUISOR J., MASPATAUD A., PEDREROS R., KOECHLER F. (2020). *Caractérisation des zones basses potentiellement exposées aux submersions marines en Corse-du-Sud. Communes d'Osani à Bonifacio et communes de Conca et Sari-Solenzara*. Rapport final. BRGM/RP-69376-FR, 200 p., 91 fig., 4 tabl., 6 ann., 1 CD.

MUGICA J., LOUISOR J., MASPATAUD A., PEDREROS R., KOECHLER F. (2021). *Caractérisation des zones basses potentiellement exposées aux submersions marines en Haute-Corse*. Rapport final. BRGM/RP-69915-FR, 248 p.

MUGICA J., PAQUIER A-E., FERRADOU L., VIVIER-BOUDRIER A. (2022). *Diagnostic géomorphologique de la côte meuble en Corse*. Rapport final. RP-72045-FR, 159 p., 54 Fig., 15 Tab., 3 Ann.

SALLENGER A.H., JR. (2000). *Storm impact scale for barrier islands*. Journal of Coastal Research, 16(3), 890-895. <https://www.jstor.org/stable/4300099>

STEPANIAN A., BALOUIN Y., BACON A., BODERE G., DANGER Y., HENNEQUIN V. (2010). *Atlas littoral de la Plaine Orientale de Corse*. Rapport final. Rapport BRGM RP-59058-FR, 78 p., 13 ill., 28 planches.