



Evolution récente des falaises du Bas Boulonnais (Pas-de-Calais) : l'apport des nouvelles techniques de mesure et de la restitution en 3D

Emmanuel BLAISE ¹, Olivier COHEN ¹, Alain TRENTESAUX ², Dorian BOURDU-DEVULDER ¹

1. Université du Littoral Côte d'Opale, Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, UMR CNRS 8187 CNRS-ULille-ULCO-IRD, Av. Foch, 62930 Wimereux, France.
emmanuel.blaise@univ-littoral.fr ; olivier.cohen@univ-littoral.fr ; dorian.bourdu-devulder@etu.univ-littoral.fr
2. Université de Lille, Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, UMR CNRS 8187 CNRS-ULille-ULCO-IRD, Av. Foch, 62930 Wimereux, France.
alain.trentesaux@univ-lille.fr

Résumé

Dans cette étude, nous avons procédé à une mise à jour des diagnostics précédemment publiés concernant la dynamique des côtes à falaises du Bas Boulonnais (Pas-de-Calais, Hauts-de-France). Il s'agit d'une analyse diachronique en plan (2 dimensions) comparant les positions successives de traits de côte (crête de falaise) et utilisant des orthophotographies aériennes numériques à très haute résolution spatiale. La deuxième partie de cette étude bénéficie des progrès récents des techniques de télémétrie en 3 dimensions et des logiciels de géomatique. Grâce à des mesures par laser topographique aéroporté –LiDAR (de 2008 à 2020), nous avons modélisé l'évolution en 3 dimensions et en haute résolution spatiale des falaises du Boulonnais. Cette modélisation a été complétée plus récemment par des levés photogrammétriques par drone réalisés en 2021, dans le secteur de la Petite Pointe aux Oies au Nord de Wimereux.

Mots-clés :

Falaises littorales, Erosion, cinématique, Trait de côte, Drone, LiDAR, Photogrammétrie

1. Introduction

De manière générale, les falaises littorales à travers le monde demeurent moins étudiées et sont moins bien connues par la communauté scientifique en comparaison aux côtes sédimentaires (NEYLOR *et al.*, 2010). Ce constat est transposable à l'échelle des Hauts-de-France où les études ayant abordé l'évolution des falaises sont assez rares, même si quelques travaux, notamment ceux réalisés sur les falaises de craie de la Somme entre Mers-les-Bains et Ault-sur-Mer, font référence (COSTA *et al.*, 2001). Puis, les études visant à identifier les caractéristiques géologiques et déterminer la cinématique du trait de côte des falaises du Bas Boulonnais, situées entre le cap Blanc-Nez au nord et Equihen-

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

Plage au sud (LAHOUSSE & PIERRE, 2003 ; PIERRE, 2005, 2007). Ces travaux ont été initiés à la fin des années 1990 dans le cadre de la mise en place d'un plan de prévention des risques littoraux (PPRL) et à la demande d'élus locaux (DÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS, 2002). A l'aide d'une analyse diachronique basée sur la comparaison de photographies aériennes et des cadastres napoléoniens, les valeurs et rythmes d'évolution des falaises ont été quantifiés. Depuis les travaux de Guillaume Pierre et de Philippe Lahousse, les falaises du Pas-de-Calais font uniquement l'objet d'investigations ponctuelles réalisées par les services de l'Etat ou des bureaux d'étude (LEFEBVRE, 2018 ; POUILLAIN *et al.*, 2014), mais n'ont plus donné lieu à des suivis topomorphologiques scientifiques dans la durée. Leur recul demeure pourtant d'actualité. Certains secteurs, aujourd'hui très urbanisés comme au nord d'Equihen-Plage ou encore à Wimereux, sont parfois mis en péril, emportés dans des glissements de terrain. A ce constat s'ajoute une demande croissante de la part des gestionnaires et élus locaux en matière de données quantifiées et de connaissances des phénomènes d'érosion du trait de côte.

Il était donc pertinent d'actualiser cette cinématique du trait de côte des falaises en utilisant des données récentes de grande qualité et précision, en réalisant (i) une analyse diachronique en 2 dimensions par photo-interprétation de clichés aériens numériques à haute résolution spatiale dans un Système d'Information Géographique (SIG), et (ii) une analyse en 3 dimensions en comparant des levés topographiques par LiDAR aéroporté et des levés photogrammétriques par drone. En parallèle de cette mise à jour de la cinématique du trait de côte à l'échelle de l'ensemble du littoral à falaises du Bas Boulonnais, nous avons entrepris dans le cadre du Service National d'Observation (SNO) Dynalit, un suivi topomorphologique régulier du secteur de la Petite Pointe aux Oies, falaise meuble composée d'argiles et de sables, où l'on observe un recul très rapide du rivage

2. Géomorphologie et géologie du secteur d'étude

2.1 Les côtes rocheuses du Bas Boulonnais

Les falaises littorales du département du Pas-de-Calais du secteur du Bas Boulonnais, s'étirent sur 26 km depuis la pointe de la Courte Dune au nord jusqu'à Equihen au sud (figure 1). Elles font face à la Manche qu'elles dominent de quelques dizaines de mètres en moyenne, tandis que les plus hautes, culminant à 50 m environ, se situent au niveau du cap d'Alprech, de la pointe de la Crèche et du cap Gris Nez. Plusieurs crans (terme vernaculaire englobant les vallées et les vallées suspendues) viennent localement entailler ces falaises. Ils sont nombreux dans la partie nord du secteur d'étude, entre la Pointe de la Courte Dune et le village d'Audresselles, mais également dans la partie sud entre le cap d'Alprech et Equihen. Trois profils-types s'observent sur le linéaire (figure 1, C) : les falaises à replat composées d'un sommet en pente très douce et d'un versant parfois vertical (au sud du Cran aux Œufs par exemple, P1) ou à 45° (au niveau du cap Gris Nez)

celles à ressauts où le versant prend la forme de marches d'escalier du fait de glissements successifs (aux abords d'Equihen, P3). A cela s'ajoutent les versants de falaises meubles, confrontés à des glissements de terrain rotationnels, quasi exclusivement observables au niveau de la Petite Pointe aux Oies, au nord de Wimereux (figure 1, B et C-P2).

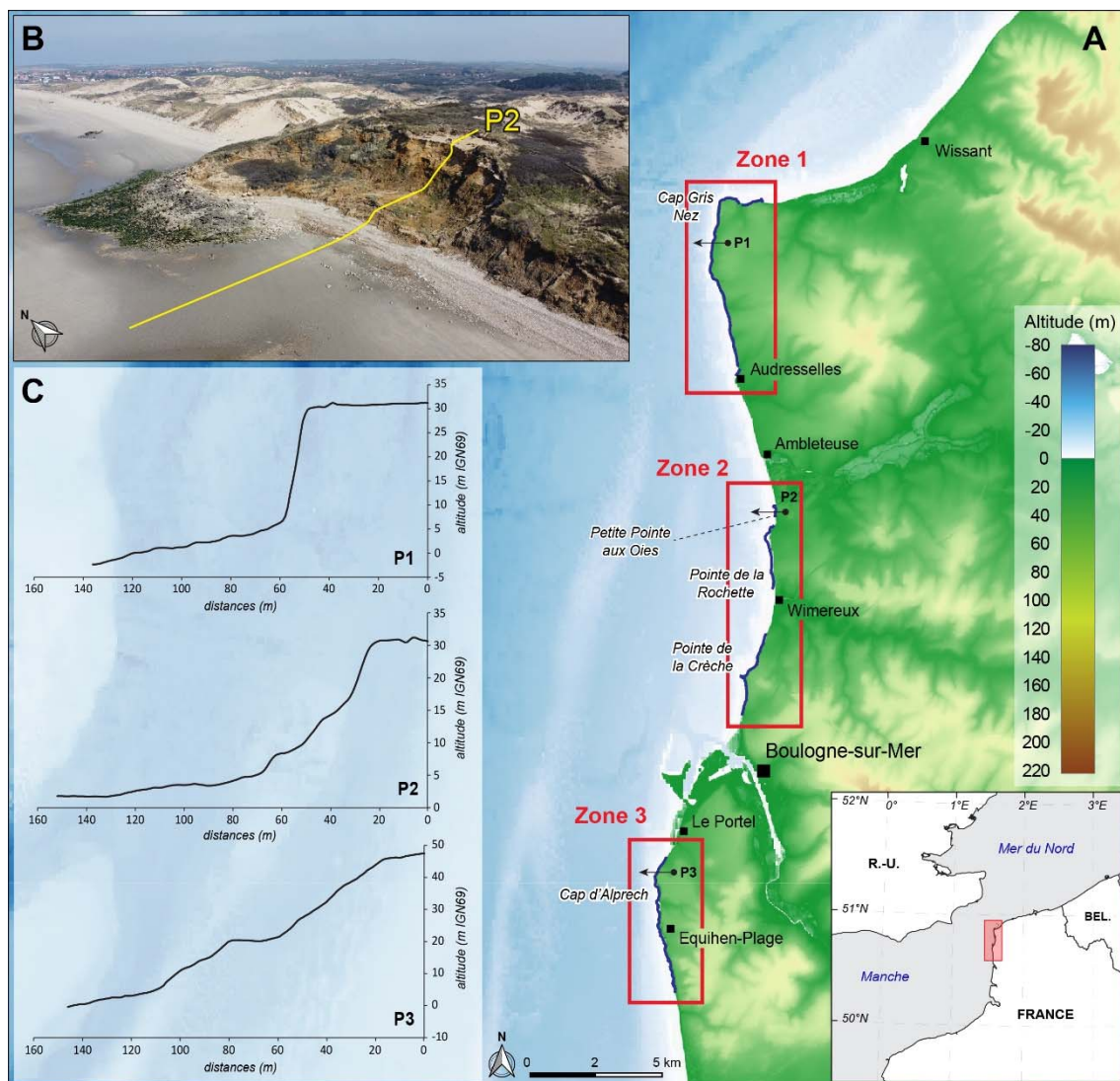


Figure 1. Localisation du secteur d'étude, à l'échelle du linéaire côtier étudié (A) ; vue aérienne oblique de la Petite Pointe aux Oies (B) ; profils de falaises types pour les trois zones d'étude (C).

Ces falaises argilo-gréseuses entaillent un ensemble lithostructural datant du Kimméridgien et du Tithonien. Elles se composent d'une alternance de couches argileuses et marneuses en proportions variées selon les secteurs, et sont ponctuellement parcourues de bancs calcaires bioclastiques peu épais (lumachelles), interrompus par des ensembles sablo-gréseux (PIERRE, 2005). Le linéaire de falaises est interrompu en trois

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

endroits par de petits estuaires, partiellement ou entièrement artificialisés, ceux de la Liane, du Wimereux et de la Slack. Celui de la Slack est bordé au sud par un massif dunaire s'étendant sur 1,8 km du nord au sud.

2.2 La Petite Pointe aux Oies

Située au nord de la commune de Wimereux et bordée par les dunes du massif de la Slack, la « Petite Pointe aux Oies » (nom donné en l'absence de toponyme officiel et en référence à la Pointe aux Oies située plus au sud), est un secteur à falaise globalement meuble composée d'argiles, de limons et de sables, sauf au nord-ouest, où une petite pointe composée de grès résiste à l'érosion différentielle (figure 1, B). Dans sa partie nord, la falaise culmine à 30 m et est recouverte à son sommet de 2 m environ de dépôts sableux éoliens. Plus au sud, elle s'abaisse pour atteindre une altitude d'environ 10 m. Elle est marquée par des gradins topographiques parfois séparés par des cicatrices de décollement. Les matériaux qui composent cette portion de la falaise sont d'origine naturelle (argiles, limons, sables et matériaux terrigènes) ou anthropique vers le sud (remblais).

3. Outils et méthodes utilisés

Afin d'actualiser la connaissance de la cinématique du rivage de 2005 à 2020, nous avons procédé dans un premier temps à une analyse diachronique en 2 dimensions par photo-interprétation et digitalisation du trait de côte avec le logiciel de SIG QGIS, sur la base de deux bornes temporelles : les orthophotographies de 2005 (Géo2France) et de 2020 (IGN) (tableau 1). L'indicateur de la position du trait de côte retenu est la rupture de pente la plus marquée située en haut de falaise, aussi appelée crête de falaise (BOAK & TURNER, 2005).

Tableau 1. Synthèse des données et dates retenues

<i>Année</i>	<i>Missions</i>	<i>Source</i>	<i>Type de données</i>	<i>Résolution spatiale</i>
2005	Orthophotographie	Géo2France	2D	50 cm
2008	Levé LiDAR	DDTM 62	MNT 3D	50 cm
2013	Levé LiDAR	CLAREC	MNT 3D	100 cm
2017	Levé LiDAR	ROL NHdF	MNT 3D	100 cm
2018	Orthophotographie	IGN	2D	20 cm
2020	Orthophotographie	ROL NHdF	2D	10 cm
2020	Levé LiDAR	ROL NHdF	MNT 3D	100 cm
2021	Levé photogrammétrique	UMR 8187 LOG	MNS 3D	5 cm
2021	Levé photogrammétrique	UMR 8187 LOG	MNS 3D	5 cm

Cette étape s'est accompagnée d'une supervision 3D réalisée en drapant les photographies sur le Modèle Numérique de Terrain (MNT) issu des levés LiDAR et les

Modèles Numériques de Surface (MNS) intégrant la végétation issus des levés au drone, afin de faciliter l'identification de la crête. Les mesures d'évolution ont été réalisées le long de transects perpendiculaires au rivage et équidistants de 20 m. La marge d'erreur technique de la digitalisation du trait de côte est estimée à +/- 2 m selon les secteurs et est donc bien inférieure à celle des études menées précédemment.

Dans un deuxième temps, nous avons comparé plusieurs levés LiDAR et photogrammétriques entre eux. Cela a permis d'enrichir les analyses réalisées précédemment en y ajoutant la 3^{ème} dimension : des profils topographiques ont pu ainsi être extraits des MNT et MNS, et comparés les uns aux autres.

4. Résultats et discussion

4.1 Analyse de la cinématique du trait de côte des falaises entre 2005 et 2020

Les résultats montrent que 61,9% des falaises du secteur d'étude observent des reculs compris entre 0 et 5 m (figure 2). Compte tenu de la marge d'erreur inhérente à l'analyse par photo-interprétation, on peut considérer ces secteurs comme faiblement soumis à l'érosion, voire stables. A cela s'ajoute 15,3% du linéaire étudié observant des valeurs de recul comprises entre -5 et -10 m. Finalement, seulement quelques secteurs (7 % des falaises étudiées), mis en évidence dans la figure 2, sont caractérisés par des reculs supérieurs à 10 m entre 2005 et 2020 ; le recul maximum de 47 m étant observé au niveau de la Petite Pointe aux Oies au nord de la commune de Wimereux. Ces fortes valeurs de recul, finalement assez localisées, ne sont cependant pas représentatives de la dynamique générale observée sur l'ensemble du linéaire étudié, le graphique indiquant la répartition des effectifs selon les distances de recul, en atteste (figure 2, C).

Comme l'observait déjà Guillaume Pierre (PIERRE, 2005), ces phénomènes de reculs apparaissent fortement corrélés aux caractéristiques lithologiques très hétérogènes des falaises, à leur organisation stratigraphique guidée par la présence de multiples failles et plis dans la roche, et par l'intervention de processus hydrométéorologiques (houles, tempêtes) et subaériens tels que les précipitations, mais également en raison du comportement hydrogéologiques des aquifères présents. Le recul des falaises se fait par à-coups, sous la forme de mouvements de masse plus ou moins massifs et plus ou moins réguliers, au lendemain d'épisode pluvieux intenses, et prennent la forme d'éboulis ou d'éboulements lorsque le substrat est solide (grès et calcaires) ou de glissements de terrain lorsqu'il est meuble (argiles par exemple). Ainsi, les falaises composées majoritairement d'argile semblent reculer de manière plus régulière que les falaises de grès, plus dures, résistantes un temps mais qui finissent par rompre brutalement (Pointe de la Rochette).

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

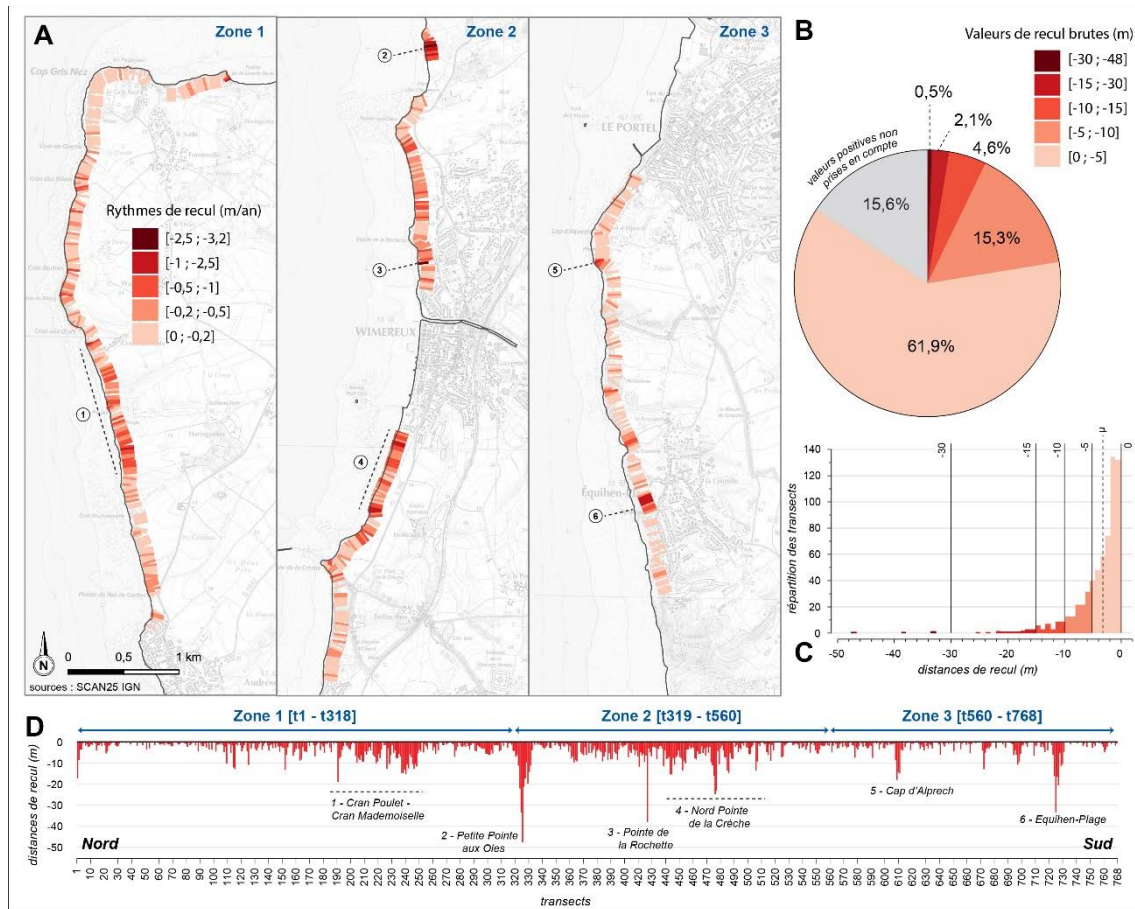


Figure 2. Cinématique du trait de côte des falaises entre 2005 et 2020 ; A : taux moyens en m/an entre 2005 et 2020 pour les 3 zones étudiées ; B : proportions des valeurs brutes de recul sur la période ; C : répartition des valeurs de recul ; D : valeurs brutes de recul par transect.

4.2. Analyse des données 3D LiDAR et photogrammétrie aéroportée

La figure 3 présente quelques exemples de traitement des données 3D au nord de Boulogne-sur-Mer dans les zones 1 et 2 définies précédemment. La partie gauche (a) est une comparaison des levés LiDAR de 2008 et 2020 par soustraction des deux MNT convertis à la même résolution spatiale (1 m). Les zones les plus en érosion verticale correspondent bien à celles identifiées avec un fort recul du trait de côte dans l'analyse cinématique. On peut ainsi citer les secteurs de la plage de la Sirène à l'est du cap Gris Nez, la Petite Pointe aux Oies et la Pointe de la Rochette à Wimereux (cf. encarts à plus grande échelle) : on rencontre ici des abaissements du niveau du sol jusqu'à -4 m.

A la suite du dernier levé LiDAR disponible, le suivi de l'évolution des falaises a été poursuivi sur le site Dynalit de la Pointe aux Oies en utilisant de la photogrammétrie aéroportée par drone. L'image en b) fait apparaître une vue 3D du Modèle Numérique de Surface (MNS) de la Petite Pointe aux Oies de septembre 2021. Sur la carte à grande

échelle de comparaison des MNS d'avril et septembre 2021 (c), on identifie bien qu'au niveau de cette falaise tendre, l'érosion se concentre sur la crête (en amont de l'axe A-B), en bas d'escarpement et au pied de versant (en aval de l'axe A-B). Ces zones en érosion sont séparées par d'autres en accrétion qui sont vraisemblablement le résultat du transfert de matériaux provenant de plus haut sur le versant.

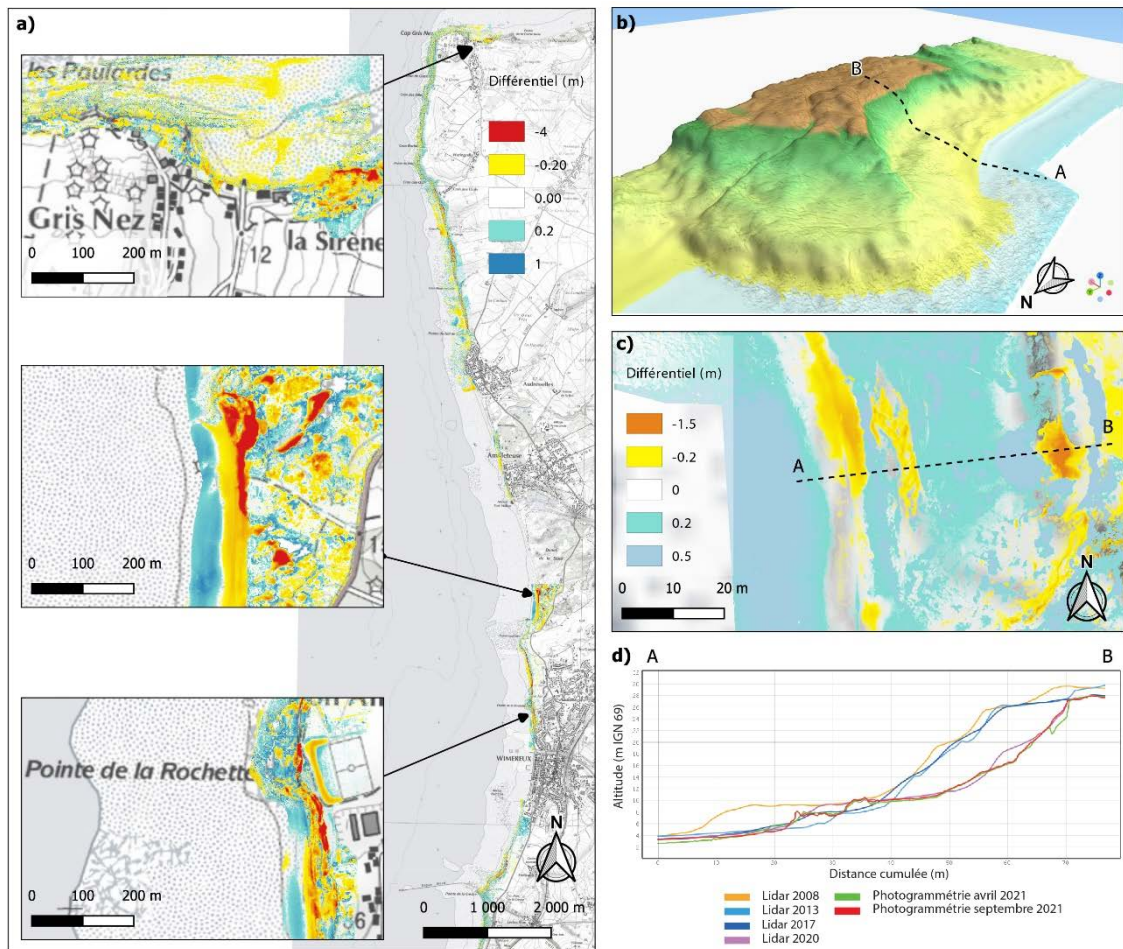


Figure 3. Analyse des données 3D. a) Carte différentielle de 2008 à 2020. b) Vue 3D du levé photogrammétrique de septembre 2021. c) Carte différentielle d'avril à septembre 2021. d) Comparaison des profils calculés au travers des MNT et MNS disponibles.

Les profils topographiques extraits des MNT et MNS disponibles le long de l'axe A-B, permettent de mieux comprendre la dynamique de ce secteur et de caractériser le type de mouvement de versant. On peut distinguer deux périodes dans l'évolution. De 2008 à 2017, la partie haute du profil (au-dessus de 10 m) s'abaisse et recule lentement. Cette partie est marquée par des gradins qui s'affaissent progressivement. Le pied de versant, initialement caractérisé par un replat d'une trentaine de mètres de large, subit une nette érosion entre 2008 et 2013. De 2017 à 2020, la partie haute du profil subit une forte

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

érosion : le recul de la crête est de 12 m en moins de 4 ans. Les gradins sont moins marqués, mais tendent toujours à s'affaisser vers le bas. Les matériaux descendus du versant s'accumulent en partie médiane du profil, formant un bourrelet argilo-limoneux de haut de plage visible sur la photo de la figure 1 et où les altitudes dépassent à maintenant celles de 2013. Au pied de ce bourrelet, on remarque un abaissement du niveau du sol. Sur la partie la plus basse, en aval du profil A-B correspondant au haut-estran (figure 3 (b) (c) et (d)), les fluctuations d'altitude sont faibles. On peut donc penser qu'il s'agit ici d'une évolution du versant par glissement rotationnel.

5. Conclusion

L'analyse de photographies aériennes numériques à haute résolution spatiale et de levés LiDAR et photogrammétriques a permis de mettre à jour et cartographier finement la cinématique des falaises du Bas Boulonnais pour le début de ce siècle et de confirmer les tendances évolutives mises en évidence précédemment.

A l'issue de ces premières investigations, bien des perspectives de cartographie s'ouvrent à nous : à court terme, intégrer d'autres campagnes de photographies aériennes disponibles depuis 2005 afin de détecter s'il existe une variabilité temporelle des rythmes d'évolution ; à moyen terme, poursuivre la mise à jour de la cinématique avec les photographies aériennes les plus récentes (ex. 2022) et les prochains levés LiDAR ; continuation de l'étude du site de Wimereux-nord dans le cadre du SNO Dynalit où les sites doivent être suivis pendant 10 ans.

Remerciements :

Nous tenons à remercier le Service National d'Observation Dynalit pour son soutien financier et matériel dans le cadre des mesures réalisées sur le site de Wimereux-nord (incluant la Petite Pointe aux Oies) ; ainsi que le Réseau d'Observation du Littoral de Normandie et des Hauts-de-France pour la mise à disposition de l'orthophotographie et du levé LiDAR de 2020.

6. Références bibliographiques

COSTA S., FREIRE-DIAZ S., DI-NOCERRA L., (2001). *Le littoral haut-normand et picard : une gestion concertée//The Haute-Normandie and Picardie Coast : a consulting management*. Annales de géographie, Vol. 110, n°618, pp 117-135. <https://doi.org/10.3406/geo.2001.1763>

DEPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS. (2002). *Plan de Prévention des Risques Littoraux des Falaises du Boulonnais, note de présentation*, 28 p.

LAHOUSSE P., PIERRE G., (2003). *The Retreat of Chalk Cliffs at Cape Blanc-Nez (France) : Autopsy of an Erosional Crisis*. Journal of Coastal Research, Vol. 19, n°2, pp 431-440. ISSN 0749-0208

- LEFEBVRE C. (2018). *Equihen-Plage – Diagnostic de sécurité d’habitations en crête de falaise*. Rapport d’étude - Référence SIGMA : C17NR0003, Cerema Nord-Picardie, 53 p.
- NAYLORL. A., STEPHENSON W. J. & TRENHAILE A. S., (2010). *Rock coast geomorphology: Recent advances and future research directions*. *Geomorphology*, Vol. 114, n°1, pp 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.02.004>
- PIERRE G., (2005). *Dynamique et gestion d’un littoral à falaises, l’exemple du Boulonnais. Evolution morphotectonique et morphodynamique à long terme dans les domaines de socle (Appalaches, Massif central, Ardenne)*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille, 175 p. Disponible en ligne sur URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03277222>
- PIERRE G. (2007). *Durée de l’évolution marine et recul holocène d’un littoral à falaises, l’exemple du nord Boulonnais (France)*, Quaternaire. *Revue de l’Association française pour l’étude du Quaternaire*, Vol. 18, n°3, pp 219-231.
- POULLAIN C., LAVEDRINE A., LEQUETTE C., CATALIOTTI D., (2014). *Diagnostic et élaboration d’orientations pour une gestion durable du trait de côte sur le littoral de la Côte d’Opale. Phase 1 – Etat des connaissances*. Syndicat Mixte de la Côte d’Opale / egis / ULCO, 270 p.

Thème 2 – Dynamique sédimentaire