



Réflexions sur la prise en compte des encoches d'érosion sableuses dans le dimensionnement des ouvrages longitudinaux de protection côtière

**Arnaud SALLABERRY ¹, Antoine FÉGNÉ ¹, Damien DAILLOUX ¹,
Didier RIHOUEY ¹**

1. CASAGEC INGENIERIE, 18 rue Maryse Bastié, Zone de Maignon, 64600 Anglet, France.

contact@casagec.fr

Résumé :

Si l'édification d'ouvrages longitudinaux de protection côtière permet la stabilisation du trait de côte, elle exacerbe les processus d'érosion à leur extrémité. Ce phénomène, matérialisé par le développement d'encoches d'érosion, tend par ailleurs à déstabiliser l'arrière des ouvrages et n'est que rarement pris en considération au moment de leur conception. Des solutions sont alors apportées généralement dans l'urgence sans forcément permettre de répondre de manière optimale aux problèmes rencontrés.

Devant la complexité des phénomènes hydrauliques en jeu (réflexion de la houle, accélération localisée des turbulences, franchissements par paquets de mer), les outils de modélisation numérique peinent à donner des résultats satisfaisants. Les retours d'expériences constituent une approche complémentaire pour la conception des musoirs et l'anticipation du développement des encoches d'érosion. Ainsi, le retour d'expérience sur cinq cas concrets le long du littoral français (sur les communes de Capbreton, Soulac-sur-Mer, Guidel-plage, Fouesnant et Saint-Germain-sur-Ay) permet d'offrir un panel de configurations d'extrémités d'ouvrages différentes, des pathologies associées et des solutions afférentes. Il en ressort que, compte tenu des phénomènes physiques en jeu à l'extrémité de ces ouvrages, aucune solution ne semble être en mesure d'inhiber ce phénomène d'encoches d'érosion. Il existe néanmoins des pistes d'optimisation au moment du dimensionnement des protections côtières permettant à minima de le réduire.

Mots-clés :

Encoche d'érosion, Evolution des profils de plage, Ouvrages côtiers longitudinaux, Conception.

1. Introduction

Près d'un quart du littoral métropolitain français est soumis au phénomène d'érosion côtière (Ifen, SOeS / Observatoire du Littoral, d'après EuroSION database, EUROSION PROJECT, 2004). Pour pallier cette problématique et figer le trait de côte, environ 10 000 ouvrages longitudinaux (murs, perrés, digues, etc...) ont été érigés (CEREMA, 2017).

Thème 4 – Ouvrages portuaires, offshore et de plaisance

Leur réalisation le long de côtes sableuses, permet généralement de n'apporter qu'une réponse ponctuelle géographiquement et temporellement aux problématiques d'érosion et de recul du trait de côte. En effet, cette artificialisation à travers l'édification d'ouvrages de protection génère d'autres problématiques d'érosion par effet domino : accélération de l'abaissement du niveau de sable devant l'ouvrage et génération d'encoches d'érosion (effets de bout) aux extrémités de l'ouvrage en question.

Ces problématiques, qui tendent à déstabiliser les ouvrages et impacter les enjeux, ne sont qu'insuffisamment prises en considération au moment de la conception de ces ouvrages et aucune méthodologie n'est clairement explicitée dans la littérature. L'article réalisé dans le cadre du projet de Lacanau par SALLABERRY *et al.*, (2020), présente des réflexions en lien avec la prise en considération du recul du trait de côte dans la conception des ouvrages de protection côtière. Ce nouvel article vise à mieux comprendre un autre phénomène mis en jeu : la génération des encoches d'érosion en extrémité d'ouvrages.

Les encoches d'érosion semblent être la conséquence de la combinaison de processus côtiers complexes. En premier lieu un décroché se forme entre l'ouvrage « fixe » et la dune sableuse fluctuante. De plus, la présence de l'ouvrage bloque un stock sédimentaire qui n'est plus disponible pour la côte en aval du transit sédimentaire. A cela, viennent ensuite s'ajouter divers phénomènes hydrodynamiques et hydro-sédimentaires au niveau de l'interaction avec l'ouvrage : mise en suspension des matériaux fins par l'émergence de processus hydrauliques (diffraction de la houle et accélération localisée des turbulences hydrauliques) et érosion du sable dû aux franchissements par paquets de mer. Devant la difficulté de ces processus, les outils de modélisation numérique peinent encore à donner des résultats satisfaisants. Ainsi, les retours d'expériences constituent une approche complémentaire pour la conception des musoirs et l'anticipation du développement des encoches d'érosion.

Cet article propose donc dans un premier temps de présenter cinq sites, le long du littoral français, caractérisés par des phénomènes d'encoche d'érosion. Les sites ont été retenus au regard de leur diversité vis-à-vis du contexte hydro-sédimentaire, de la configuration de l'ouvrage ou de l'histoire d'aménagement du site.

Cette approche, bien que non exhaustive, permet toutefois de conduire une réflexion sur différents cas concrets et mettre ainsi en perspective l'intérêt des différentes solutions mises en œuvre à travers notamment l'analyse diachronique du trait de côte couplée à la mise en œuvre du modèle SMC - *Coastal Modelling System*. L'objectif final de cette réflexion est de mieux anticiper ce phénomène en phase de conception afin de limiter les potentiels enjeux impactés et d'assurer la stabilité de l'extrémité de la protection longitudinale.

2. Retours d'expérience sur différents sites le long du littoral français

2.1 Protection côtière de Santocha, Capbreton (Façade Sud Atlantique, 40)

Les problématiques d'érosion, de protection côtière et de mouvements de sables spécifiques à la ville de Capbreton sont bien connues dans la profession ainsi que par les habitants et usagers. En effet, la présence du gouf et des jetées de la passe du Boucarot coupe le transit littoral Aquitain venant du Nord engendrant un déficit de sable plus au Sud. Ce déficit, se traduit par un décroché dans le trait de côte d'environ 450 m entre la plage Notre-Dame et la plage de la Savane. Ce décroché, au Sud du débouché, est accompagné par des ouvrages de protection longitudinaux et transversaux. A l'extrémité Sud de ces ouvrages une encoche d'érosion est observée, comme illustré sur la figure 1.



Figure 1. Description du site de Capbreton.

Depuis 2008, la commune de Capbreton a mis en œuvre un système de transfert hydraulique des sables depuis la plage Notre-Dame au Nord vers les plages situées au Sud du débouché. Les rechargements en sable se font au droit des ouvrages de protection et au Sud, au niveau de l'encoche d'érosion. Ce volume de 100 000 m³ transféré annuellement permet de limiter les problématiques d'érosion. Depuis 2007, un suivi précis et régulier, réalisé dans le cadre de la stratégie de gestion du trait de côte, montre que le taux de recul observé au Sud du front de mer est de l'ordre de - 1,2 m/an.

Grâce à la présence du By-Pass l'encoche est relativement stabilisée. Cependant il est à noter que le musoir Sud de la protection côtière dite de Santocha présente des désordres majeurs. En effet, le niveau de crête de l'ouvrage, dans sa partie Sud, est plongeant afin de permettre une transition douce entre la zone protégée et la plage. Cet abaissement du niveau de crête a pour conséquence d'augmenter les franchissements par paquets de mer

Thème 4 – Ouvrages portuaires, offshore et de plaisance

et ainsi de creuser le sable à l'arrière et de déstabiliser les enrochements en crête d'ouvrage.

2.2 Digue de l'Amélie, Soulac-sur-Mer (Façade Sud Atlantique, 33)

Le littoral sableux océanique de Soulac-sur-Mer est sujet à des phénomènes d'érosion marine parmi les plus intenses des côtes françaises. Pour faire face à ces problématiques, de nombreux ouvrages de défense contre la mer ont été édifiés et ceux dès 1801. La spectaculaire érosion de l'hiver 1993-1994 subie au niveau de la plage centrale de l'Amélie-Plage (recul de 25 m du rivage sur la période 1991 et 1994, soit en moyenne - 8,5 m/an) a conduit à la réalisation, dans l'urgence au printemps 1994, d'un cordon d'enrochements en pied de dune destiné à stabiliser le trait de côte au droit de l'aménagement : il s'agit-là du commencement de la digue de l'Amélie.

Tel que présenté dans la figure 2, l'ouvrage a subi de nombreuses modifications au cours du temps et s'étend, depuis les derniers travaux réalisés en 2014, sur un linéaire de 580 mètres. La spécificité de cet ouvrage repose sur un corps de digue sableux maintenu de part et d'autre par des palplanches qui sont elles-mêmes protégées par des enrochements faisant office de carapace. Cette disposition offre un double avantage : lors des travaux la circulation des engins, l'entretien et le rechargement des enrochements sont facilités permettant ainsi de s'adapter à une évolution des fonds au niveau de l'ouvrage. A ce jour, cet ouvrage donne satisfaction malgré les évolutions de la plage autour de ce dernier.

La nouvelle configuration de l'ouvrage, qui peut s'apparenter dans sa partie Sud à un brise-lame, a permis de stabiliser l'encoche historique. Toutefois, des phénomènes hydrodynamiques de mise en charge et de chasse sont apparus en arrière de l'ouvrage et ont nécessité la mise en œuvre de protections individuelles. Dans la même zone, le camping a mis en place une protection qui a généré une nouvelle encoche plus au Sud.



Figure 2. Effet de bout au niveau de la terminaison Sud de l'enrochement.

2.3 Ouvrage de protection de la route, Guidel-Plage (Façade Nord Atlantique, 56)

Sur le littoral Sud-Ouest de la commune de Guidel se trouve la plage de la Falaise. Cette plage est localisée à l'Est immédiat (rive gauche) de l'embouchure de la Laïta, fleuve marquant la frontière entre les départements du Finistère et du Morbihan.

L'embouchure est caractérisée par un chenal principal, des bras secondaires, des bancs, des plages, des flèches sableuses mises en mouvement par les houles et les courants de marée. Cet environnement très mobile est accompagné localement par des falaises et affleurements rocheux.

L'analyse de l'évolution du trait de côte dans le temps, réalisée sur les dates 1989, 2004, 2011, 2014, 2018 et 2020, permet d'obtenir un taux de recul sur la plage compris entre -0,7 et -1,6 m/an. Les taux étant plus forts au niveau des extrémités Nord (flèche sableuse) et Sud (transition avec la roche).



Figure 3. Description de la plage de la falaise.

Le recul du trait de côte, qui est plus prononcé au niveau de la transition Sud (entre la partie sableuse et la partie rocheuse), peut s'apparenter à un problème d'encoche d'érosion même si cette dernière est peu marquée (voir figure 3). La présence de la RD152 en arrière de l'encoche (5 m au niveau du point le plus critique) a eu pour conséquence l'étude et la mise en œuvre d'un nouvel ouvrage présenté en figure 4 consistant en une prolongation de la protection en enrochements actuellement en place sur le platier rocheux. Ce nouvel ouvrage a été étudié par le CD 56 en anticipant au mieux les problématiques inhérentes à la terminaison de ce type d'ouvrage.

En effet, ce nouvel ouvrage dispose d'une crête s'abaissant progressivement, d'une géométrie courbe permettant de créer une transition et d'éloigner le point de diffraction de la route et d'une protection de la dune en arrière par la mise en place de ganivelles avec pour objectif de favoriser sa végétalisation. Cet ouvrage a été accompagné par un rechargement en sable.

Il apparaît intéressant de suivre l'évolution de ce site spécifique à la fois au regard de l'érosion et de la stabilité des enrochements en lien avec cette éventuelle érosion.

Thème 4 – Ouvrages portuaires, offshore et de plaisance



Figure 4. Encoche d'érosion avant et après réalisation de l'ouvrage.

2.4 Digue de Cleut-Rouz, Fouesnant (Façade Nord Atlantique, 29)

Construite dans les années 90, la protection côtière de Cleut-Rouz (département du Finistère) présente à l'Est de la pointe du Moustierlin, protège le littoral des aléas maritimes. Il s'agit d'un ouvrage en enrochements monocouche qui a subi de nombreux dégâts en son extrémité et ce, dès la fin des années 90.

Le suivi diachronique du trait de côte permet de mettre en évidence l'influence immédiate de la construction de cet ouvrage sur les évolutions morphosédimentaires de la dune. Le littoral voisin à cette protection, relativement stable avant les années 90 s'est retrouvé en érosion dès la mise en œuvre de l'ouvrage avec des reculs allant jusqu'à -1 m/an. Ce déficit sédimentaire a favorisé l'apparition d'une encoche d'érosion significative de l'espace dunaire à l'aval immédiat de l'ouvrage.

Pour faire face à ce phénomène, un retour en enrochements de 20 m a été réalisé, entre 2010 et 2012, afin de se prémunir d'un éventuel contournement de l'ouvrage (voir figure 5). Toutefois, le point de diffraction de la houle, initialement positionné dans la continuité des enrochements, s'est donc décalé dans les terres. Cela a eu pour conséquence d'augmenter l'emprise de l'encoche d'érosion. Alors que l'érosion au niveau de l'encoche perdure, des pieux bois sont battus sur deux axes longitudinaux, en continuité de l'ouvrage en 2015.



Figure 5. Effet de bout au niveau de la terminaison Est de l'enrochement.

Suite aux tempêtes successives des années 2010, la protection de Cleut-Rouz a subi de nombreux dommages : dégradation de l'extrémité des enrochements, affaissement et basculement de blocs, accentuation des points faibles existants, érosion du sentier derrière

l'ouvrage, recul du pied de dune. Malgré toutes ces opérations de confortement (renforcement de l'enrochement, pieux bois, etc.), l'effet de bout persiste avec des taux de recul du front de dune de l'ordre de -2,5 m/an.

2.5 Cordon en enrochements, Saint-Germain-sur-Ay (Manche Est, 50)

Le littoral de la commune de Saint-Germain-sur-Ay, à l'instar d'autres communes situées sur la côte Ouest du Cotentin, est exposé au risque d'érosion littorale qui menace la stabilité des habitations situées en front de mer. Cette situation a incité les propriétaires riverains de la plage à notamment construire à la fin des années 60 un ouvrage longitudinal de protection du littoral.

L'ouvrage longitudinal s'étend sur un linéaire de 1 850 mètres. Une encoche d'érosion s'est formée à l'extrémité Sud du perré, avec un recul du trait de côte qui atteint une trentaine de mètres depuis 1992 (taux de recul proche de -1 m/an sur 25 ans).

Cette encoche d'érosion touche désormais la dune située en arrière des enrochements et tend à déstabiliser l'extrémité de l'ouvrage. De plus, l'ouvrage étant relativement bas, il est franchi lors des événements tempétueux forts engendrant une érosion du sable en crête en section courante. Cet effet, se combine à l'encoche au niveau de l'extrémité de l'ouvrage favorisant, par évacuation des volumes d'eau franchissant, un écoulement contournant l'ouvrage accentuant localement l'érosion.

En section courante des fascines ont été mises en place entre des pieux verticaux, en arrière de la crête du perré afin de limiter ce recul. De plus, la Communauté de Communes Côte Ouest Centre Manche procède depuis janvier 2015 à des opérations de rechargement en sable en pied de dune, sur un linéaire réduit (60 ml) et limité à l'encoche d'érosion au contact de l'ouvrage. Ces rechargements sont illustrés dans les photographies de la figure 6. Il s'agit de volumes limités (500 à 1 000 m³ annuellement) et dont le gisement se situe à 1 km au Sud-Est de l'extrémité de l'ouvrage. Malgré ces interventions l'encoche d'érosion n'est pas stabilisée.

Aujourd'hui, à l'image de la digue de Cleut-Rouz (Fouesnant, 29), se pose la question de réaliser un musoir suffisamment ancré en partie avant et arrière permettant de stabiliser l'ouvrage, même en cas de mouvements de sable et de contournement par l'érosion.



Figure 6. Recul de la dune à l'extrémité Sud du perré – Vue avant rechargement après rechargement.

3. Analyse et comparaison des solutions mises en œuvre sur les sites à l'étude

3.1 Caractérisation du phénomène

Sur la base des cas présentés dans cet article, il ressort que dans de nombreuses situations et cela malgré des configurations de site très différentes (houles, marée, dynamiques hydro-sédimentaires, géométries d'ouvrage de protection) la finalisation d'un ouvrage de fixation du trait de côte s'accompagne d'une encoche d'érosion. L'ampleur du phénomène semble liée aux spécificités de chaque site et au moins partiellement à l'intensité du recul du trait de côte observé. De ce fait, afin de caractériser ces phénomènes, il semble pertinent de s'appuyer sur des analyses diachroniques du trait de côte et des levés topographiques *in situ*. De plus, au regard des taux d'évolution, des outils peuvent permettre de projeter dans le temps ces reculs et ainsi essayer d'anticiper l'ampleur et la forme de ces effets de bout. La mise en œuvre du modèle SMC- *Coastal Modelling System* - peut notamment permettre d'estimer les reculs pressentis associés à une ou plusieurs configurations d'aménagement. Un exemple est présenté en figure 7.

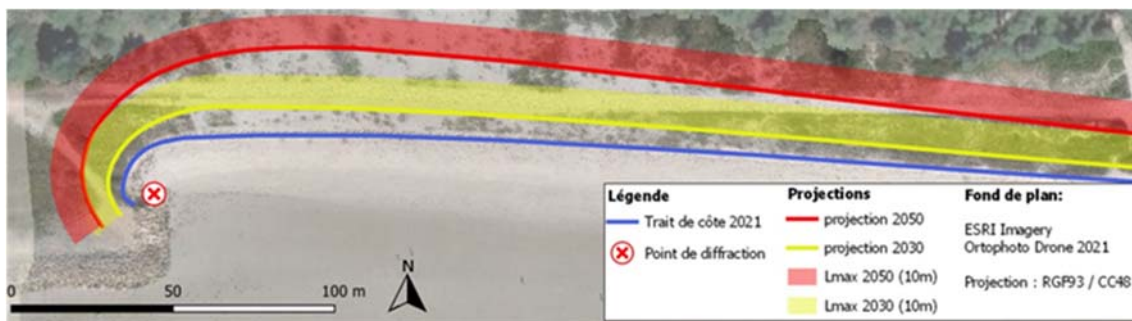


Figure 7. Exemple de résultat obtenu avec SMC pour le projet de Fouesnant.

3.2 Effet de l'ouvrage sur l'encoche d'érosion

Il est certainement illusoire d'envisager une solution permettant de se prémunir de l'apparition d'une encoche du fait de la complexité et de l'ampleur des phénomènes. Toutefois, il est certain que la géométrie et la nature de l'ouvrage jouent un rôle sur l'amplitude des phénomènes. En effet, l'interaction entre l'ouvrage, l'hydrodynamique et les mouvements sédimentaires peuvent certainement être plus ou moins exacerbés selon les choix techniques réalisés. Par exemple, certains projets ont été conçus en considérant un abaissement progressif de la crête de l'ouvrage en vue de créer une zone de transition (Capbreton, Guidel-Plage et Saint-Germain-sur-Ay). Toutefois, il ressort que cet abaissement peut favoriser localement l'apparition de franchissements qui vont se traduire par des écoulements d'évacuation des masses d'eau susceptibles d'engendrer une érosion supplémentaire. De ce fait, cet abaissement ne semble pas donner satisfaction dans l'ensemble des configurations et peut même accentuer la problématique d'encoche.

En suivant la même idée, il pourrait apparaître intéressant d'envisager une diminution du caractère réfléchissant de l'ouvrage dans sa partie finale. Cette diminution de la réflectivité peut s'appuyer sur un certain nombre de dispositions : augmentation de la porosité en augmentant les épaisseurs de couche, aplatissement de la pente du talus et/ou réalisation d'une berme.

Toutefois, ces dispositions ne doivent pas amoindrir le rôle de barrière et de maintien du sable en arrière. De plus, elles ont un coût financier conséquent pour le projet et peuvent être défavorables vis-à-vis de l'emprise de l'ouvrage sur le Domaine Public Maritime (contrainte généralement considérée pour ce type de projet). De plus, il apparaît indispensable d'adapter la géométrie en extrémité d'ouvrage afin de positionner le point de diffraction de manière à impacter au minimum les éventuels enjeux localisés en arrière. Ce travail peut être réalisé avec l'appui d'un outil type SMC.

3.3 Solutions d'accompagnement

Dans certains cas la partie finale de l'ouvrage est accompagnée de dispositifs intermédiaires de type pieux bois (Fouesnant, Saint-Germain-sur-Ay). La mise en œuvre de tels dispositifs ne semble pas, du moins dans les cas étudiés ici, apporter de réponse à l'échelle des phénomènes en jeu. Une autre solution qui est également largement employée consiste à venir réaliser des rechargements en sable plus ou moins ciblés afin de se prémunir temporairement des risques associés à l'accentuation des encoches d'érosion (Capbreton, Saint-Germain-sur-Ay). Cette solution peut permettre de stabiliser l'encoche, mais elle nécessite des travaux réguliers, potentiellement impactants et coûteux. Enfin, il est à noter que ces rechargements sont dépendants de la présence de gisements pérennes en sable et dans un rayon raisonnable autour du projet.

3.4 Réflexions sur la stabilité de l'ouvrage

Bien que difficile à anticiper sur la durée de vie de l'ouvrage, l'abaissement des niveaux de sable et le contournement de l'érosion en lien avec les évolutions pluriannuelles et lors d'évènements tempétueux majeurs, sont à considérer lors de la conception de son extrémité. En effet, avec l'apparition de l'encoche, l'érosion contourne l'ouvrage et engendre l'effondrement de ce dernier si la section courante, directement appuyée sur la dune, a été maintenue en l'état. Il apparaît donc nécessaire de manière préliminaire d'envisager à minima les dispositions suivantes :

- Ancrer plus profondément l'ouvrage : les problématiques d'érosion et de recul de trait de côte étant accentués dans cette zone ;
- Réaliser un talus arrière afin de se prémunir du contournement de l'érosion. Cela peut se concrétiser par la réalisation d'un musoir tel que généralement mis en œuvre pour les digues et brise-lames.

L'exemple de Soulac permet d'évoquer une autre disposition, qui consiste à mettre des palplanches afin de maintenir le sable dans le corps de digue. Cette disposition permet de

Thème 4 – Ouvrages portuaires, offshore et de plaisance

créer un noyau imperméable et cela malgré un contexte hydrodynamique et hydro-sédimentaire complexe tout en anticipant les futures fluctuations de la plage.

Certaines des dispositions envisagées pour la stabilité de l'ouvrage sont totalement compatibles avec les dispositions visant à limiter l'ampleur de l'encoche d'érosion (augmentation de la porosité, réduction de la pente de talus). Ces dispositions techniques spécifiques au musoir ont un coût conséquent au moment de leur réalisation. Toutefois elles visent à limiter les désagréments et interventions futures et il est donc indispensable de les prendre en considération dès les phases préliminaires d'étude.

4. Discussion

Les équipes de CASAGEC Ingénierie, sur la base de leurs projets, constatent une problématique récurrente d'encoches d'érosion en extrémité d'ouvrage de protection côtière. Les cas concrets présentés dans le cadre de cet article permettent d'en faire état de manière non exhaustive. Il ressort de l'analyse de ces sites une grande difficulté à apporter une réponse pérenne à ce phénomène. La génération de ces encoches d'érosion peut à la fois impacter les enjeux et l'ouvrage, impliquant des travaux d'entretien réguliers. Des réflexions de relocalisation des enjeux, accompagnées de démantèlement des ouvrages, sont de plus en plus envisagées en lien notamment avec le changement climatique et ses conséquences. Toutefois, ces mesures, permettant de répondre directement à la problématique, ne peuvent pas toujours être mises en œuvre à court terme ou ne correspondent pas à la réalité du site. De ce fait, que ce soit pour un ouvrage neuf ou bien une protection en place, il apparaît nécessaire de prendre en compte ce phénomène à travers les études de conception ou de confortement. Devant la complexité des phénomènes en jeu, il est nécessaire de disposer :

- D'une connaissance approfondie du fonctionnement hydro-sédimentaire du site ;
- D'outils numériques d'anticipation d'évolution des phénomènes ;
- De retours d'expérience de sites soumis aux mêmes problématiques.

Ce sujet, encore mal maîtrisé, nécessiterait le développement de méthodologies et d'outils spécifiques plus performants pour uniformiser et faciliter le travail des acteurs impliqués dans l'ingénierie côtière.

5. Références bibliographiques

CEREMA (2017). *Cartographie nationale des ouvrages et aménagements littoraux*
EUROSION PROJECT (2004), *EUROSION Dataset Structure*, European Commission Contract.

SALLABERRY A., DUGOR J., BAILLS J., RIHOUEY D. (2020). *Réflexion sur la prise en considération du recul du trait de côte dans la conception de l'ouvrage de protection côtière de Lacanau Océan*, XVI^{ème} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Le Havre, pp. 797-806, doi:10.5150/jngcgc.2020.089