

Paireau, osanne.paireau@arteliagroup.com

Projet CHERLOC et expérimentation pilote d'un nouveau bloc de pied éco conçu ACCROBERM™II

PAIREAU Osanne¹, CUNGE Etienne¹, GIRAUDEL Cyril¹, GUTIERREZ Alberto¹,
HACQUES François¹, MOUAZE Dominique², CARPENTIER Guillaume³, LETERRIER
Pierre⁴

¹ARTELIA, 6 rue de Lorraine, 38432 Echirolles, France, osanne.paireau@arteliagroup.com

²UNIV CAEN,CNRS, UMR M2C Caen, 14000 Caen, France, dominique.mouaze@unicaen.fr

³ESITC CAEN,1 Rue Pierre & Marie Curie,14610 Epron, France, guillaume.carpentier@esitc-caen.fr

⁴MARC SA, 114 rue des Fougères, 50110 Tourlaville, pleterrier@marc-gw.fr

RESUME : *Une préoccupation actuelle pour les structures maritimes est de développer des solutions innovantes qui combinent les exigences fonctionnelles et la compréhension écologique pouvant améliorer la biodiversité. Le projet collaboratif de R&D CHERLOC a permis la mise en place d'une expérimentation au printemps 2021 sur deux sites pilotes dont la digue Est du port de Cherbourg. L'objectif a été de mettre en place, sur un linéaire de digue endommagée, une solution innovante de confortement tentant de (re)développer des habitats. L'expérimentation consiste à disposer de nouveaux blocs dont des blocs de pied d'une nouvelle génération : ACCROBERM™ II. L'objectif de leur double fonctionnalité est d'assurer la stabilité hydraulique et d'offrir des avantages environnementaux tels qu'une empreinte limitée sur le fond marin et une présence renforcée des anfractuosités. Cette expérimentation fait l'objet d'un suivi régulier incluant une évaluation des dommages et une observation écologique par le biais d'approches écosystémiques sur la macro-flore, la macro-faune et le biofilm de micro-algues. Les tempêtes de décembre 2021 ont déjà permis de montrer la bonne stabilité des blocs de pied.*

MOTS CLEFS : digue, bloc artificiel, écoconception, CHERLOC,

ABSTRACT (en anglais): *A current concern for maritime structures is to develop innovative solutions that combine functional requirements and ecological understanding that can improve biodiversity. The CHERLOC project has allowed the implementation of an experiment in spring 2021 on two pilot sites, including the external eastern breakwater of Cherbourg harbour. The objective was to set up, on a damaged trunk section of the external breakwater, an innovative solution of rehabilitation attempting to (re)develop marine habitats. The experimentation consists in placing new blocks including toe blocks of a new generation: the ACCROBERM™ II. The objective of their dual functionality is to ensure hydraulic stability and to offer environmental benefits such as a limited footprint on the seabed and an enhanced presence of crevices. This experimentation is regularly monitored including damage assessment and ecological observation through ecosystem approaches on macro flora, macro fauna and micro*

KEYWORDS: breakwater, artificial block, eco-design, CHERLOC,

1. EXPERIMENTATION

1.1 Le projet CHERLOC

Il est connu qu'une partie de la biodiversité marine est menacée d'extinction, notamment du fait de l'artificialisation des fonds marins. L'objectif est, ainsi depuis plusieurs années, de prendre en compte l'écosystème dans la conception des infrastructures maritimes, que ce soit pour de nouveaux ouvrages et aménagement ou de la réhabilitation de structures, et de développer des solutions innovantes qui combinent les exigences fonctionnelles (stabilité et fiabilité) et la compréhension écologique pour améliorer la biodiversité. La tendance est ainsi celle de la dualité de la meilleure durabilité/efficacité des ouvrages tout en développant les écosystèmes (Firth et al. 2020). Ces dernières années ont vu l'émergence de projets axés sur l'écoconception de l'environnement marin et côtier mettant en avant des nouvelles approches méthodologiques et nouveaux dispositifs.

L'écoconception vise à stimuler une nouvelle approche réflexive des ouvrages nécessitant une valorisation intrinsèque de la nature afin de réduire les pertes écologiques sur les espèces, les habitats et les fonctionnalités écologiques préexistantes (Pioch *et al.*, 2018, Salgues, *et al.*, 2020). Il s'agit d'une démarche de restauration écologique et non d'une artificialisation des milieux naturels.

Le projet collaboratif CHERLOC a pour objectif de développer des infrastructures maritimes en Normandie améliorant l'état écologique et protégeant les écosystèmes. CHERLOC est ainsi né de la volonté d'étudier in-situ sur des sites pilotes des nouveaux dispositifs structurels d'infrastructures maritimes à travers des approches d'acceptabilité sociale, de biodiversité et d'ingénierie côtière.

Le projet CHERLOC réunit six partenaires : ESITC Caen, ARTELIA, MARC SA et l'Université de Normandie à travers trois laboratoires (M2C, BOREA, CERREV).

1.2 Site pilote de Cherbourg

L'expérimentation du projet CHERLOC a été mis en place sur deux sites pilotes que sont la digue Est du port de Cherbourg (Fig.1) et talus de protection de plage à Ouistreham. Cette expérimentation fait appel à un nouveau dispositif innovant qu'il a été choisi de mettre en place sur les deux sites de nature différente : protection d'estran et digue portuaire. L'idée a été de mener cette expérience in-situ sur deux unités spatiales pour avoir une base d'utilisation plus élargie et pouvoir intégrer ces nouveaux concepts dans des designs futurs d'ouvrages maritimes.

L'objectif sur Cherbourg est de mettre en place sur un linéaire de digue portuaire endommagé, une solution innovante tentant de (re)développer au sein même de l'infrastructure portuaire des habitats.

La grande rade de Cherbourg est protégée à l'Est par une digue mixte composée d'un ouvrage

maçonné vertical auquel s'adosse de part et d'autre un talus en blocs/enrochements (Fig.1 et Fig.2). Cette digue Est, arasée à +6.5CM, est submersible est directement exposée aux houles de Sud-Ouest et Nord-Est.

Au regard de l'endommagement d'une partie de cette digue, il a été décidé de conforter un tronçon de 30ml selon une solution conceptuelle innovante (Fig.2).

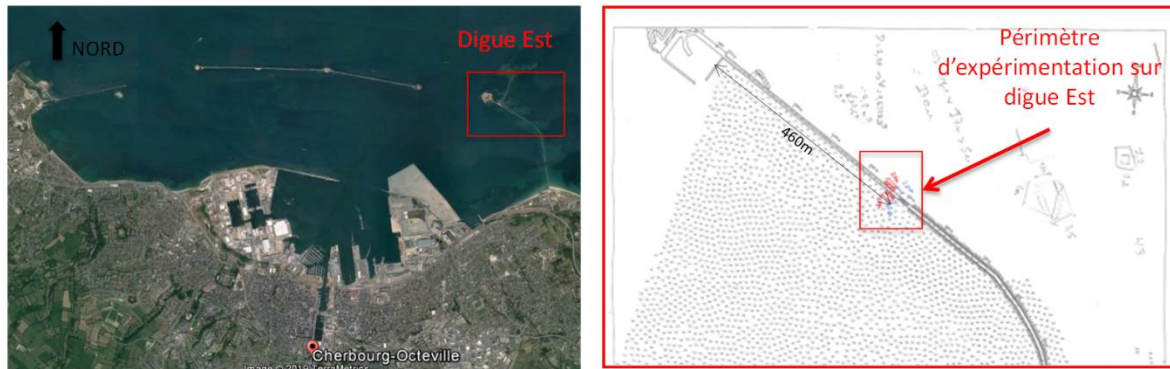


Figure 1. Site pilote sur le port de Cherbourg – digue Est

L'objectif sur Ouistreham est de mettre en place en haut d'estran sur un linéaire exposé à la houle une solution de protection en forme de tapis de « blocs ».

1.3 Solution innovante

Les conditions hydrauliques sur le site de Cherbourg sont relativement sévères et impliquent pour la solution de réhabilitation de la digue l'utilisation de blocs artificiels de béton à la place d'enrochements naturels afin d'assurer de la stabilité de l'ouvrage et également de limiter les franchissements.

L'écoconception consistant à intégrer des objectifs environnementaux au cœur de la conception technique d'un ouvrage pour que celui-ci assure des fonctions utiles pour la biodiversité. Il est important pour cela de connaître les processus naturels de colonisation par des organismes vivants marins sur les types d'habitats naturels pour pallier au manque quelquefois observé sur des ouvrages artificiels (Firth et al., 2014). En effet, les structures artificielles sont construites dans des matériaux non naturels (par exemple, béton, plastique ou métal) ce qui affecte la colonisation (Bulleri, 2010). Pour cela, il a été mené il y a quelques années des suivis et inspections sous-marines sur des digues maritimes composées d'une carapace en blocs artificiels (Giraudel et al., 2014) afin de collecter des données sur la stabilité après plusieurs années de mise en place comme sur des observations concernant la colonisation des structures par la vie marine.

Les carapaces de blocs artificiels sont évidemment situées dans des zones fortement exposées aux vagues, les conditions de développement de la vie marine ne sont donc pas optimales. Il a été noté des différences significatives dans la croissance marine en fonction de la profondeur et les différentes parties de la digue. D'une manière générale et indépendamment des localisations, la quantité d'espèces observée est beaucoup plus importante dans les parties inférieures (butée de pied, couche d'assise) que dans les parties supérieures de la carapace de digue. Un facteur qui semble influencer la capacité de la structure à attirer la vie marine est la présence de petits enrochements. Ainsi, en essayant de comprendre les mécanismes de peuplement de l'ouvrage et le vivant qui le colonise, a été stimulé le développement d'un bloc de pied (bloc de butée de pied de carapace).

Un bloc de pied ACCROBERMII™ a été développé au sein d'ARTELIA. Le bloc de pied ACCROBERMII™, se substitue à la butée de pied (stabilisation de la carapace) grâce à sa forme circulaire. Du fait de sa forme creuse, sa stabilité est également assurée par un remplissage à l'aide d'embrochements. Plusieurs avantages environnementaux émergent alors : empreinte limitée sur les fonds marins, impacts environnementaux indirects limités, interactions avec la biodiversité.

L'expérimentation sur le site de Cherbourg consiste à disposer de nouveaux blocs artificiels en béton sur ce tronçon de digue à réhabiliter avec des Double-Cubes en carapace et une nouvelle génération de blocs de pied ACCROBERM™ II et à s'intégrer également avec la digue existante. Cette expérimentation est guidée par le souci d'assurer la stabilité hydraulique et d'offrir des avantages environnementaux tels qu'une empreinte limitée sur le fond marin et une présence renforcée des anfractuosités (Fig.2). Ainsi les blocs ACCROBERM™ II ont été disposés en butée de pied d'un talus avec une carapace composée de Double-Cubes (DC) et d'embrochements.

L'objectif du bloc de pied écoconçu ACCROBERM™ II (Fig.3) est d'avoir une double fonctionnalité en étant à la fois un bloc de pied et un support pour la biodiversité. Ce bloc cylindrique de forme annulaire est rempli d'embrochements permettant de disposer différentes catégories afin d'être attractif pour les larves, les juvéniles et aussi les adultes, et tenter de recréer l'écosystème préexistant.

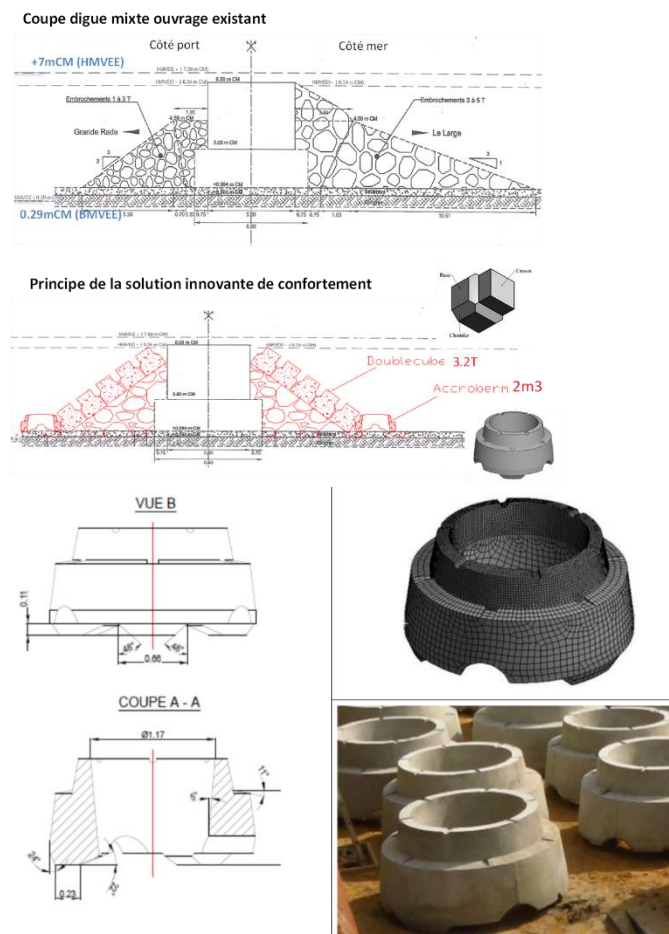


Figure 2. Solution innovante de conformement sur la digue Est du port de Cherbourg (droite) – Description du bloc de pied ACCROBERM™ II (gauche)

La mise en place des blocs ACCROBERM™ est expérimentée en testant trois catégories d'embrochements de lestage: 10-300kg, 300kg et 10-150kg. Cette variabilité de remplissage devrait permettre de moduler les anfractuosités d'un site projet à l'autre et pouvoir ainsi s'adapter à l'environnement écologique local.

1.4 Développement et mise en place

Les phases de développement et mise en place avant l'expérimentation in-situ proprement dite ont suivi les étapes d'un protocole expérimental :

- Conception/dimensionnement des blocs ACCROBERMII™ pour leur intégration dans l'ouvrage,
- Dimensionnement des blocs et des modalités de remplissage par des embrochements avec les écologues selon les conditions du milieu,
- Fabrication des moules et des blocs en modèle réduit pour les essais en canal à houle,
- Vérification de la stabilité hydraulique des blocs ACCROBERMII™ en canal à houle dans les conditions de tempêtes et de niveaux marins,
- Conception des coffrages pour la fabrication des ACCROBERMII™,
- Etude des systèmes de levage du bloc et préparation des travaux,



Figure 3. Mise en place du bloc de pied ACCROBERM™ II : pose de la butée mai 2021 (gauche), état de la butée en septembre 2021 (droite)

Après une phase de développement préalable du bloc puis de dimensionnement, les travaux d'expérimentation de la digue de Cherbourg ont été réalisés au printemps 2021 avec une première mise en place réussie des blocs avec des moyens de construction classiques et en utilisant les mêmes engins de levage pour tous les blocs de la butée et de la carapace. Les règles de pose du bloc reposent sur un positionnement du centre de gravité du bloc de manière à être adossé au bloc de la première rangée du bloc de carapace

2. PREMIERS RESULTATS ET PERSPECTIVES

Le suivi du chantier comprend l'évaluation des dommages à l'aide de différentes techniques d'observation (LIDAR, SfM, InSAR) ainsi que des observations écologiques par le biais d'approches écosystémiques sur la macro-flore, la macro-faune et le biofilm de micro-algues.

Depuis sa mise en place, l'expérimentation fait l'objet d'un suivi des blocs afin d'observer la stabilité des blocs, d'identifier au niveau de la macrofaune la présence d'espèces introduites, les différences entre les substrats (durs/naturels/artificiels) ainsi que sur la mégafaune mobile. L'idée est de pouvoir collecter des données au niveau macro-structurel de l'ouvrage et des blocs, d'étudier la question des formes et d'anfractuosités et de voir si elles sont adaptées aux besoins des espèces cible (orientation, hauteur, largeur, ...) et de mieux évaluer la relation ouvrage/colonisation selon les différents modules et blocs mis en place.

D'un point de vue stabilité, les tempêtes de décembre 2021 ont déjà permis de montrer la bonne stabilité des blocs de pied. Le suivi écologique est en cours (Raoux et al, 2022).

Au regard de la première mise en place de ce bloc de pied, il est envisagé de tester ce nouveau système sur un autre site en Méditerranée où l'expérimentation sera également accompagnée de suivis écologiques et techniques afin d'évaluer de manière critique et indépendante, quant à leur efficacité. Ceci permettra de mener une expérimentation dans un autre cadre environnemental et hydraulique, à une autre échelle, de vérifier la pertinence du concept.

2. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Région Normandie et le FEDER pour le cofinancement du projet collaboratif CHERLOC. Ils remercient également Ports De Normandie pour leur assistance au cours de ce projet et notamment lors de la phase chantier.

3. REFERENCES

- Bulleri F., & Chapman M., (2010) The introduction of coastal infrastructure as a driver of change in marine environments, *Journal of Applied Ecology* 2010, 47, 26–35
- Firth L.B. et al., (2014), Between a rock and a hard place: Environmental and engineering considerations when designing coastal defence structures, *Coastal Engineering* (84) 122-135,
- Firth, L.B., Airoidi, L., Bulleri, F., Challinor, S., Chee, S.Y., Evans, A.J., Hawkins, S.J.(2020).Greening of grey infrastructure should not be used as a Trojan horse to facilitate coastal development. *Journal of Applied Ecology*, 57, 1762–1768,
- Giraudel Cyril , Garcia Nicolas , Ledoux Sébastien., Single-layer breakwater armouring feedback on the ACCROPODE™ technology from site experience, *Proceedings Coastal Engineering 2014*,
- Pioch S., Relini G., Souche JC., Stive M.J.F., De Monbrison D., Nassif S., Simard F., Allemand D., Saussol P., Spieler R., Kilfoyle K. (2018). Enhancing eco-engineering of coastal infrastructure with eco-design: Moving from mitigation to integration. *Ecological Engineering*, Vol. 120, pp 574–584,
- Raoux A., Deloor M., Cunge E., Delatte L., Charbonnelle M., Van Paemelen R., Claquin P., Dauvin JC, Mouaze D., Rusig AM, Mussio I., and Pezy JP, Faunal and Floral diversity of hard substrate from the experimental dike from the CHERLOC project, *Rencontres de l'Ingénierie Maritime, Caen, 2022*,
- Salgues, M., Pioch, S., Souche, J.-C., De Weerd, K. (2020). L'écoconception maritime : une révolution pour les maîtres d'ouvrages. *Revue Paralia*, 13.