

# Le bloc ECOPODE™

« La solution de protection du littoral en accord avec son environnement »





# Le bloc ECOPODE™, un système monocouche pour la protection côtière

De : Michel Denechere, CLI (Concrete Layer Innovations)

Michel Fons, Louis Sanchez, Sogreah Consultants

## Introduction

Les carapaces dites « monocouche » protégeant les digues exposées à la houle sont constituées de blocs en béton non armé, conçues spécialement pour être disposés en une seule couche de blocs imbriqués. L'expérience démontre que ce type de carapace est aussi fiable que les systèmes classiques en bicouches, tout en étant plus économiques.

Inventé en 1981 par Sogreah Consultants (SOGREAH), la technique ACCROPODE™ s'appuyait déjà sur des recherches approfondies et une expérience considérable acquise avec le bloc Tétrapode inventé par SOGREAH en 1953.

Parmi les autres blocs de carapace proposés, le bloc CORE-LOC™, inventé par le corps de Ingénieurs de l'armée Américaine et breveté en 1995, est l'un des blocs les plus économiques existant actuellement, et idéal pour des conditions de houle moyenne du fait d'une capacité de dissipation élevée.

En s'appuyant sur un grand nombre de projets, la forme du bloc ACCROPODE™ a été améliorée pour donner naissance au bloc ACCROPODE™ II. Inventé et breveté par SOGREAH en 1999 pour les sites particulièrement exposés et des conditions de mise en œuvre particulièrement difficiles, son développement au stade industriel a été finalisé en 2003 – 2004.

Breveté en 1996, le bloc ECOPODE™ du fait de son aspect rocheux et de sa couleur modulable permet une meilleure intégration dans les sites, en partie visible des ouvrages. De plus, la plupart des améliorations réalisées sur le bloc ACCROPODE™ II proviennent du développement du bloc ECOPODE™.

Le savoir-faire ACCROPODE™ II à l'image des autres blocs décrits ci-dessus est distribué par CLI (Concrete Layer Innovations), filiale de SOGREAH.





## Historique du développement

Pionnière de la technologie monocouche, depuis sa création en 1981, la technique ACCROPODE™ est devenue la référence en matière de carapaces de digues modernes.

Dès les années 1980, la monocouche ACCROPODE™ s'est révélée une réussite. La profession, reconnaissant la validité des recherches sur la technique monocouche, a pu apprécier ses avantages suivant les nombreuses applications à travers le monde; d'où l'accroissement régulier du nombre de références ACCROPODE™ qui se porte à plus de 180 à ce jour.

Aujourd'hui, le nombre de projets ACCROPODE™ réalisés avec succès dans le monde constitue une preuve incontestable que les entreprises et maîtres d'ouvrages ont établi la confiance dans les mérites de la technique monocouche.

CLI, à travers ces blocs a acquis une expérience sur plus de 240 projets de digues à talus dans le monde. Une réflexion continue sur une vingtaine d'années a permis d'optimiser le concept et les qualités du bloc ACCROPODE™. Cette réflexion a, dans un premier temps, été intégrée dans la conception du bloc ECOPODE™, puis dans la conception de la seconde génération de bloc ACCROPODE™.

L'aspect de surface du bloc ECOPODE™ permet une meilleure intégration dans le paysage notamment pour les ouvrages sensibles comme les marinas et protections côtières.

Les autres avantages de la solution ECOPODE™ sont au même titre que pour le bloc ACCROPODE™ II, c'est-à-dire sa bonne performance hydraulique, une plus grande robustesse structurelle et la facilité de pose. Ces aspects ont été vérifiés et validés depuis 2003 par le biais d'études spécifiques et en conditions réelles de chantier.

La technologie ECOPODE™ est protégée dans le monde. Les licences d'utilisation sont délivrées par CLI et une assistance technique est systématiquement fournie par CLI à toute entreprise qualifiée en travaux maritimes. CLI améliore continuellement sa connaissance dans le domaine des digues à talus grâce aux projets et aux études de recherche et développement.



Apparence roche volcanique



Apparence roche calcaire



Architecture alternative



## Les qualités du bloc ECOPODE™

### Apparence naturelle

Les carapaces artificielles en blocs béton peuvent être moins bien acceptées par le public et les utilisateurs attachés au respect de l'environnement. Cependant, les enrochements naturels ne sont pas toujours disponibles et leur extraction / transport sont particulièrement néfastes pour l'environnement (transports non conventionnels, nuisances sonores, pollution de tous ordres...).

L'aspect innovant du bloc ECOPODE™ est son apparence naturelle donnée par sa surface architecturée. Les blocs sont moulés de manière à imiter à la géomorphologie du site, le but étant de réduire au maximum leur impact visuel tout en éliminant les problèmes liés à l'extraction en carrières et au transport des enrochements de masse importante.

Plusieurs types de finitions peuvent être obtenues: roches calcaires, grès, basalte, avec des couleurs associées. Pour les projets très sensibles, le type et la couleur peuvent être reproduits pour répondre au mieux à la demande des Clients.

Par ailleurs, la forme générale du bloc ECOPODE™ est similaire à celle du bloc ACCROPODE™ II et offre des avantages indéniables sur trois aspects principaux:

- Performance hydraulique de la carapace;
- Intégrité structurelle du bloc;
- Méthodes constructives.

L'ECOPODE™ peut être installé hors d'eau, en partie supérieure de digue, en continuité au-dessus des blocs ACCROPODE™ II (qui eux sont posés sous l'eau), ces deux types de blocs ayant une géométrie similaire.

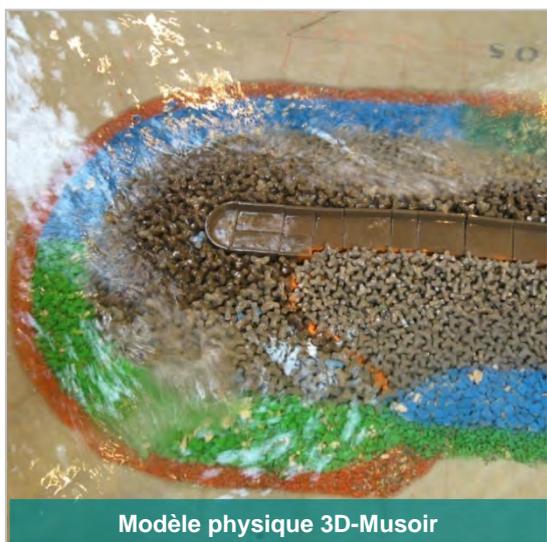
### Un moule spécifique pour une forme unique

L'apparence rocheuse du bloc ECOPODE™ demande un type spécifique de moule. SOGREAH a mené des recherches et investigations afin de trouver un procédé efficace de moulage des formes complexes en béton.

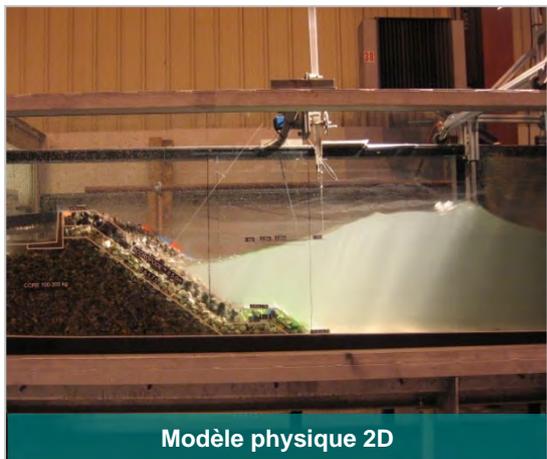
Le procédé de moulage depuis le premier moule ECOPODE™ à l'époque composé d'une coque en métal chemisée de polyuréthane, à évolué pour aujourd'hui être constituée de deux coques en fibre de verre soutenues par une structure métallique. Ce nouveau procédé est conçu pour couvrir un nombre de 300 ré-utilisations, associé à un entretien limité.



Détails du bloc ACCROPODE™ II



Modèle physique 3D-Musoir



Modèle physique 2D



## Une performance hydraulique améliorée

La forme du bloc ECOPODE™ permet d'obtenir lors de la pose des blocs une meilleure capacité d'imbrication améliorant la tenue en stabilité de la carapace vis-à-vis de la houle arrivant sur l'ouvrage.

En effet, les essais en modèle réduit 2D et 3D ont montré une nette amélioration de la stabilité au regard des critères usuels tel que les extractions, oscillations et tassements en talus.

En conséquence, le coefficient de stabilité  $K_D$ , apparaissant dans la formule de Hudson, a été augmenté, tout en offrant une meilleure marge de sécurité.

Au stade de l'étude, les valeurs de  $K_D$  à prendre en compte dans les cas ordinaires sont de 16 en section courante et de 12.3 en musoir.

## Une plus grande robustesse

La forme générale du bloc est très proche de celle du bloc ACCROPODE™ II. Pour cette raison, les résultats d'études montrant une meilleure distribution des contraintes dans le bloc ACCROPODE™ II en comparaison au bloc ACCROPODE™ (largement reconnu pour sa solidité) sont applicables au bloc ECOPODE™. Ces résultats ont été confirmés en conditions réelles de chantier.

## Une plus grande facilité de pose et peu d'entretien

Le bloc ECOPODE, à l'image du bloc ACCROPODE II est facile à poser (contraintes de pose minimum) et ne demande pas plus d'entretien que le bloc ACCROPODE de première génération.

L'expérience a prouvé que le bloc ACCROPODE™ de première génération permettait de répondre pleinement aux exigences des projets, et en particulier n'a pas fait l'objet jusque là de travaux d'entretien majeurs.

Ces améliorations sont valides aux conditions que:

- Les hauteurs de houle de projet soient correctement déterminées ;
- Les recommandations de conception données par CLI soient prises en considération par les concepteurs;
- Les spécifications de résistance du béton soient respectées ;
- La qualité de pose recommandée soit obtenue,

C'est dans ce but que CLI met en place une assistance technique couvrant tous les stades du projet.



Détails du relief ECOPODE™



Vue intérieure du moule



Vue globale du moule

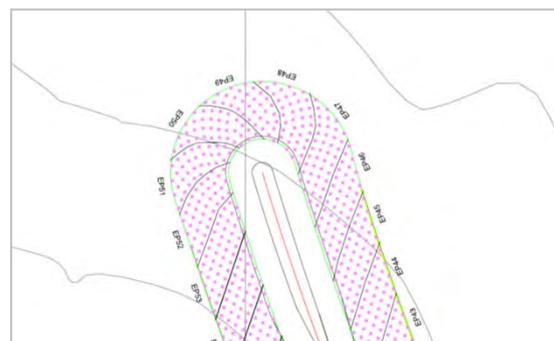
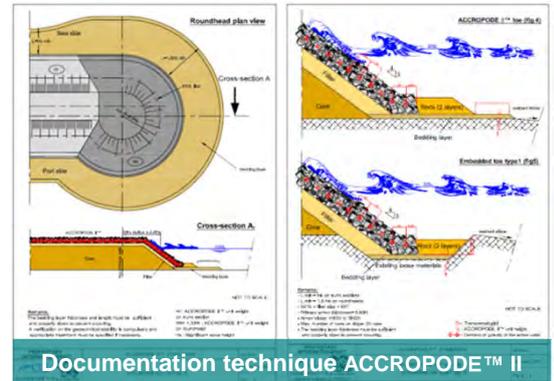


## Assistance technique basée sur l'accumulation des connaissances

Des prestations techniques personnalisées en fonction des besoins de chaque client sont proposées, dès la phase de conception, en passant par les études sur modèle physique et jusqu'à la fin des travaux, en répondant aux exigences de qualité, de sécurité et d'économie des projets :

- Des solutions ECOPODE™ à l'aide de notes techniques traitant de la conception sont proposées gratuitement et sans obligation aux moments-clé (avant projet sommaire, appel d'offres travaux...) permettant aux Maîtres de l'Ouvrage, Maîtres d'Œuvre, Concepteurs et Entreprises intéressés de mesurer les avantages tout en profitant d'un retour d'expérience acquis au cours de nombreux projets.
- La modélisation physique est fortement recommandée pour l'optimisation du projet. Des maquettes de blocs sont fournies à tout laboratoire hydraulique de renom. Si nécessaire, un technicien de CLI se déplacera au laboratoire afin de fournir une assistance à la pose des maquettes sur l'ouvrage.
- Des prestations techniques sont fournies sur le terrain au cours des principales phases de construction. Des conseils pratiques sont prodigués, portant sur la fabrication, la manutention et la pose. Un spécialiste de CLI est chargé d'assister l'entreprise pour un projet spécifique, de la fabrication à de la pose des blocs, aidant ainsi les entreprises à mettre en œuvre les technologies de la manière la plus appropriée. L'assistance technique CLI est particulièrement efficace lorsqu'elle est portée en début de travaux, voire avant la phase d'organisation de chantier, afin de faire les choix les plus appropriés (matériel et méthodes). Il est recommandé d'associer les spécialistes CLI aussitôt que possible en phase de préparation des travaux de fabrication et de pose des blocs sur l'ouvrage.

*L'expérience acquise en phase de conception, en laboratoire et sur le terrain au cours de nombreuses années dans les conditions de projets les plus diverses sont ainsi mises à disposition de l'utilisateur.*



Documentation technique ACCROPODE™ II

Assistance à la pose des maquettes

Plan de pose fourni à l'entreprise

Assistance à l'entreprise sur le chantier



## Economies et gain de temps

Les carapace ECOPODE™ demande moins de matériaux que les carapace en enrochements, permettant de réduire les contraintes liées à l'extraction et au transport de gros enrochements. L'ECOPODE™ a une imbrication suffisante lui permettant d'être utilisé en une seule couche, ce qui génère des économies sur les coûts ainsi que sur les délais de construction.

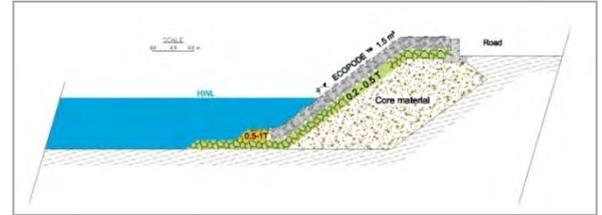
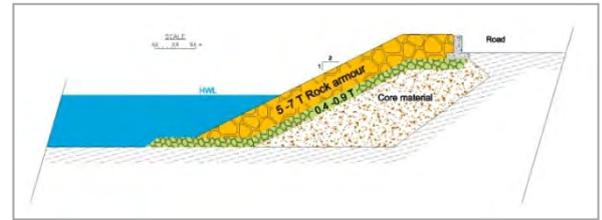
De plus, les avantages de la technique ECOPODE™ ainsi que les services associés proposés par CLI permettent de réaliser des économies au stade de l'étude en aidant les concepteurs à optimiser la conception et pendant les travaux par l'assistance adaptée fournie aux entreprises, conduisant à des solutions et des structures sûres et économiques. Les quantités de béton sont optimisées, la durée de construction est diminuée, et à long terme, il est prouvé que les coûts d'entretien sont réduits.

## Partenariats

Dans sa recherche de solutions, CLI développe des partenariats avec des spécialistes de haut niveau, dans le but de répondre rapidement à toute demande particulière d'un client dans tous les domaines liés aux carapaces en blocs artificiels.

Quelques partenaires:

- Imperial College, G.B.
- Itsaca
- Mesuris
- Plongeurs experts
- Fabricants de coffrages
- Laboratoires d'hydraulique



La solution monocouche réduit les quantités globales de matériaux

## En bref

Les blocs ECOPODE™ et ACCROPODE™ II sont issus des mêmes développements et offrent les mêmes améliorations en comparaison à la première génération de bloc ACCROPODE™.

Cependant, l'avantage supplémentaire concernant le bloc ECOPODE™ est son aspect d'enrochement naturel, permettant une meilleure intégration dans les sites de la partie supérieure des digues. Afin d'obtenir cette forme complexe, Sogreah et CLI ont développé des moules spécifiques aujourd'hui efficaces et économiquement viables.

CLI continue sur la base des projets monocouches et des études de recherche et développement d'améliorer ses connaissances dans le domaine des carapaces en blocs artificiels afin de fournir les meilleurs services à chacun de ses Clients.

## Références

- Catalogue et brochures CLI édités en septembre 2004.
- Le bloc de carapace ACCROPODE™II. Premiers résultats de l'analyse par éléments finis, de M. Fons et P. Winiecki, septembre 2004.

## Références ECOPODE™

N° de projet	Projets Maritimes Réalisés avec la Technique de Carapace Monocouche ECOPODE™	Tailles de blocs utilisés (m³)	Année	Profond. d'eau Max	Essais en modèle	
				h(m)	2D	3D
200	<b>Italie</b> – Marina d’Ospedaletti – Nouveau port de plaisance près de San Reno Liguira – Dignes de 1200 m de long – Les blocs ECOPODE™ II sont placés hors d’eau avec des blocs ACCROPODE™ II en dessous	4/6/8	2008	10,6	Non	Non
122	<b>Espagne</b> – Protection côtière de Garachico à l’ouest de l’île de Tenerife – Les blocs ECOPODE™ sont placés sur la partie visible de l’ouvrage au-dessus de blocs ACCROPODE™	5,7	2000	-	Oui	Non

## Aspects pratiques



Sculpture du master



Assemblage de la structure métallique et de la fibre de verre



Moule prêt pour le coulage



Moule ECOPODE™ en fibre de verre



Coulage à l'aide d'un tapis roulant



Coulage à l'aide d'une goulotte



Décoffrage manuel



Opération de coulage ECOPODE™



Ouverture du moule



Stockage des blocs



Blocs sur aire de préfabrication



Stockage des blocs sur le chantier



Vue générale de la zone de préfabrication



Pose d'un bloc ACCROPODE™ II en partie immergée



Transport d'un bloc à la pose



Carapace ECOPODE™ en cours de pose hors d'eau



Avancement de carapace ECOPODE™



Pose des blocs ECOPODE™ à Garachico, Ténérife



Carapace ECOPODE™



Carapace ACCROPODE™





CLI  
4 rue Germaine Veyret - Verner  
38130 Echirolles

France

Tel. : +33 (0) 4 76 04 47 74

E-mail: [cli@concretelayer.com](mailto:cli@concretelayer.com)

Internet: [www.concretelayer.com](http://www.concretelayer.com)

