



## **Le bloc ECOPODE™ : une alternative aux enrochements naturels**

**Michel DENECHERE<sup>1</sup>, Arnaud SALLABERRY<sup>2</sup>, Cyril GIRAUDEL<sup>2</sup>**

1. Concrete Layer Innovations (CLI),  
3 cour du 56 av. Marcel Dassault, B.P.510, 37205 Tours cedex 3, France.  
*michel.denechere@concretelayer.com*
2. Sogreah Consultants,  
6 rue de Lorraine, B.P. 218, 38432 Echirolles Cedex, France.  
*arnaud.sallaberry@sogreah.fr ; cyril.giraudel@sogreah.fr*

### **Résumé :**

Dans certains cas l'utilisation d'enrochements n'est pas possible ou difficile à mettre en œuvre. Ceci est en particulier dû :

- Soit à des houles de projet très fortes demandant des tailles d'enrochements significatives difficiles à produire en carrière ;
- et/ou soit à la distance entre la carrière et le projet impliquant une logistique et un surcoût important.

Dans ces conditions la solution la plus usuelle est de considérer des éléments en béton de type cube, tétrapode, ACCROPODE™ ... . Le bloc ECOPODE™ entre pleinement dans le cadre des techniques monocouches. Il est donc plus économique que les solutions bicouches traditionnelles, et de plus il offre de part sa forme recherchée et une pigmentation possible une meilleure intégration dans l'environnement du projet. Le bloc peut-être économiquement viable en comparaison aux enrochements, du fait de la réduction des volumes de matériaux, de la méthodologie de fabrication/construction et d'un entretien très limité. Il est indéniable que le bloc ECOPODE™ est une alternative aux éléments préfabriqués en béton et dans certains cas aux enrochements naturels.

La forme du bloc ECOPODE™ est très élaborée en comparaison aux blocs béton standard et demande une technique de coffrage particulière qui a fait l'objet d'études à CLI-Sogreah. La technique de coffrage obtenue suite à ces études consiste à utiliser deux coques en fibres de verre renforcées par une structure tubulaire en acier. Cette technique est actuellement mise en œuvre sur le chantier d'Ospedalletti en Italie.

### **Mots-clés :**

Monocouche – Digue – Carapace – Travaux maritimes – Coffrage – Fibres de verre – Ecoproduit – ECOPODE™

## **1. Introduction**

Selon les propos de François Coignet (1869) qui breveta en France cette « pierre artificielle "le béton architectonique a commencé à être employé très tôt avec les premières réalisations". On reproche au béton son aspect froid, rectangulaire, rigide. Pour tenter d'"humaniser" l'aspect du béton, un certain nombre d'architectes et de plasticiens ont travaillé son esthétique, pour offrir tout un ensemble de traitements de surface innovants et créer ce que l'on appelle aujourd'hui le béton architectonique. Des techniques distinctes permettent de réaliser un béton architectonique : forme générale de l'élément, textures ou modénatures de surface, couleurs et aspects (lavé ou désactivé, sablé, bouchardé, poli, grenailé, acidé, etc.). »

Le concept à la base du bloc ECOPODE™ (DENECHERE *et al.*, 2007 ; BRUCE, 2009) est directement issu de cette philosophie. Le bloc ECOPODE™ lui-même est constitué de béton non armé et a été conçu en 1996 par Sogreah. Il reprend une géométrie proche des blocs anciens du type ACCROPODE™ qui ont démontré leur efficacité pour protéger les ouvrages contre les agressions de la mer. Les techniques monocouches peuvent dans certains cas être plus économiques qu'une solution en enrochements lorsque les blocs naturels de forte taille ne sont disponibles qu'à grande distance et doivent être transportés par moyens terrestres. L'avantage principal du bloc ECOPODE™ est sa meilleure intégration dans le site naturel de part sa forme adaptable à chaque site.

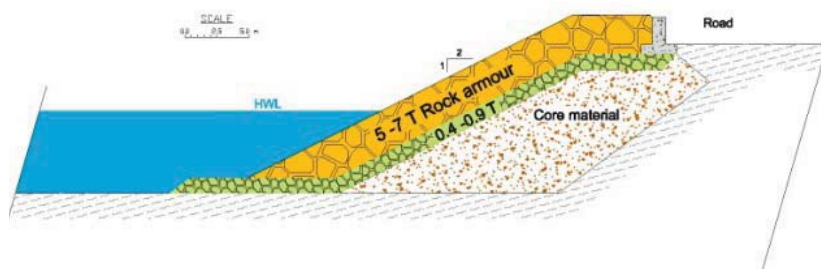
Cet article décrira les réflexions menées sur les différentes étapes d'un projet de digue et des avantages possibles, liés à l'utilisation de la technique ECOPODE™. De plus seront présentés les derniers développements de la technique notamment en termes de coffrage, qui est le point clef de cette technique.

## **2. Une alternative aux enrochements et aux blocs traditionnels**

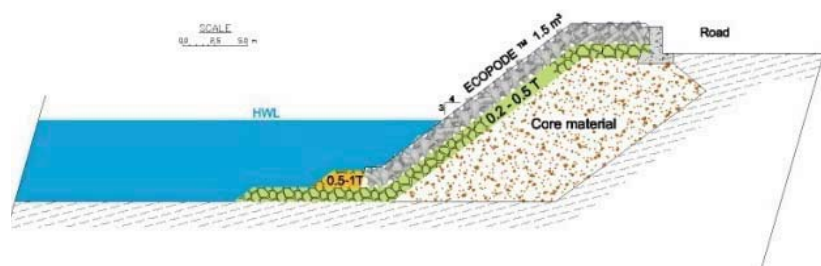
Les enrochements sont historiquement les premiers matériaux utilisés pour les ouvrages de protection contre la houle et sont globalement beaucoup mieux acceptés d'un point de vue esthétique que les éléments en béton à facettes. Toutefois il est parfois coûteux de trouver les enrochements adéquats du fait que les carrières à proximité de l'ouvrage ne peuvent pas produire des enrochements de taille suffisante permettant de résister aux conditions de houle élevées sur l'ouvrage. C'est coûteux en termes de coût financier, c'est surtout coûteux en termes de nuisances puisqu'il faut extraire les blocs puis les transporter sur de grandes distances jusqu'au site. Dans ces conditions, jusqu'à récemment la seule solution envisagée était l'utilisation de blocs bétons classiques type Cube, Tétrapod ou ACCROPODE™. Les techniques monocouches permettent déjà de réduire les coûts financiers et des émissions de carbone, du fait de l'économie d'une couche, en limitant le volume de béton à produire et le nombre de blocs à poser. Mais ces techniques n'améliorent pas vraiment l'impact visuel sur le paysage. L'option ECOPODE™ est une nouvelle solution à envisager afin d'apporter une réponse à un

souci esthétique en remplacement d'une solution en blocs artificiels standards à facettes lisses.

La technique ECOPODE™ du fait de coefficients de stabilité de l'ordre de 3 à 4 fois supérieurs à ceux des enrochements et 1.5 à 2 fois supérieurs à ceux des cubes permet de réduire significativement le poids unitaire des blocs et donc d'utiliser avantageusement des moyens de levage de moindre importance. De plus, l'utilisation en une seule couche permet des économies de matériaux, ce qui se traduit par une diminution par trois des quantités de matériaux. Cette dernière remarque est illustrée par les figures 1 et 2 ci-après.



*Figure 1. Solution en enrochements.*



*Figure 2. Solution en blocs monocouche ECOPODE™.*

D'un point de vue constructif, les avantages du bloc ECOPODE™ sont rigoureusement identiques à ceux du bloc ACCROPODE™. La formulation du béton, les procédés de fabrication et de pose sont en tous points similaires. La fabrication des blocs se fait dans la plupart des cas à proximité du futur ouvrage, ce qui limite de façon conséquente le transport de gros enrochements sur une longue distance, de surcroît souvent à travers des zones urbanisées. On peut noter que la production de béton permet l'utilisation de granulats de faible dimension qui sont en fait les granulats des carrières résultants de la production des enrochements de moyenne taille qui, eux, restent indispensables à la construction d'un ouvrage en mer.

La combinaison technique et économique idéale est d'utiliser le bloc ACCROPODE™ II de forme générale similaire sous le niveau des plus basses eaux et le bloc ECOPODE™ dans la partie supérieure visible du talus. Le bloc ECOPODE™ par sa forme architecturée, adaptable, s'intègre dans le site du projet, c'est une solution

esthétique intermédiaire entre les blocs artificiels de forme purement géométrique et les enrochements naturels. La jonction entre les deux types de blocs ne pose aucun problème du point de vue de la stabilité ou de la facilité de pose. La technologie de mise en œuvre est identique à celle des blocs en béton avec comme seule différence la nécessité d'utiliser un coffrage particulier qui a demandé un effort de développement et la possibilité de colorer la masse du béton.



*Figure 3. Vue d'un bloc ECOPODE™ au niveau d'eau.*



*Figure 4. Un bloc ECOPODE™ après fabrication.*

### **3. Développement d'un type de moule innovant**

Le premier projet ECOPODE™ a été réalisé, il y a plusieurs années, pour une protection côtière à Garachico sur l'île de Ténérife aux Canaries. Le coffrage utilisé à l'époque se composait d'une coque standard métallique (type bloc ACCROPODE™ II)

et d'un chemisage intérieur en polyuréthane ; ce procédé a été efficace mais s'est avéré relativement coûteux. Depuis ce premier projet, Sogreah et CLI ont réalisé des recherches afin de trouver un procédé robuste et plus économique. Différents types de coffrage ont été étudiés afin d'arriver à une solution fonctionnelle sur chantier. La technique de coffrage utilisée de nos jours se compose de deux coquilles symétriques en fibres de verre renforcées par une armature en acier. Comme pour l'ancienne méthode, un sculpteur réalise la forme souhaitée afin de confectionner un maître moule sur lequel seront appliquées différentes couches composant la coquille en fibre de verre. Cette technique est validée à travers le chantier d'Ospedalletti en Italie où des coffrages de 4, 6 et 8 m<sup>3</sup> sont utilisés. L'utilisation de ces coffrages demande une attention un peu plus importante que les coffrages classiques mais le coût a été réduit de manière significative par rapport à la première génération.



*Figure 5. Fabrication d'un coffrage ECOPODE™.*



*Figure 6. Vue d'un coffrage ECOPODE™ terminé.*

Il est aujourd'hui possible de réaliser des tailles de 1 à 11 m<sup>3</sup>, et différents types de formes.

#### **4. Conclusions**

Le bloc ECOPODE™ est une solution fiable et économique au même titre que les solutions dites monocouches usuelles. Le bloc ECOPODE™ peut dans le cas de houles trop fortes et d'énrochements de carrière trop petits ou d'une carrière trop éloignée être une alternative intéressante aux énrochements naturels tout en offrant un aspect plus naturel que celui des blocs artificiels traditionnels.

La réalisation d'un bloc ECOPODE™ nécessite l'utilisation d'un coffrage particulier développé par Sogreah-CLI composé de deux coques symétriques en fibre de verre renforcées par une structure en acier. Ce système de coffrage est fiable techniquement et économiquement et déjà validé sur le chantier d'Ospedalletti en Italie et continu d'être amélioré constamment suite au retour d'expériences de chantier.

#### **Références**

- DENECHERE M., FONS M., SANCHEZ L. (2007). *The ECOPODE™ Single Layer system for coastal protection*. 2nd International Maritime-Port Technology and Development Conference (MTEC 2007) 26-28 September 2007, Singapore.
- BRUCE T. (2009). *THE ECOPODE™ UNIT, The Coastal Protection solution that blends most effectively into the surrounding landscape*. Energy and carbon costing of breakwaters, ICE Edinburgh, September 2009.