



Etude comparée des différentes méthodes de pose des blocs artificiels pour carapaces de digue

Eric SKIERNIEWSKI ¹

1. Société CLAS, expert près la Cour d'Appel de Montpellier et la Cour Administrative d'Appel de Toulouse 11 Avenue de Plaissan 34230 Saint Pargoire, France.
es@clascertification.com

Résumé :

Analyse critique des différentes méthodes de pose de blocs de carapace de digues de type ACCROPODETMII ou X-bloc[®].

Mots-clés :

ACCROPODETMII, X-bloc[®], Digues.

1. De la nécessité de connaître les meilleures solutions de pose de carapace de digue monocouche

Les journées GC GC ont l'habitude de regrouper des communications scientifiques très pointues. Le présent article se veut plus terre à terre puisqu'il présente le fruit de 20 ans d'expérience et la pose de plus d'un million de blocs artificiels partout dans le monde pour des carapaces monocouche. La société CLAS, succédant à la société IDMer, a pu tester et utiliser tous les outils de pose proposés ces dernières années pour en apprécier les qualités et les limites. Son expertise unique est illustrée par divers chantiers montrant en finalité les meilleures solutions de construction permettant d'assurer la qualité et la pérennité des ouvrages maritimes associée à la certification volontaire de la qualité.

2. Les techniques de mise en place des blocs artificiels

2.1 Le contexte général

Depuis l'invention des premiers blocs artificiels monocouche pour carapace de digues, les entreprises utilisaient exclusivement des plongeurs pour guider et contrôler la pose des blocs. A partir de 2008 cela a évolué.

Les entreprises recherchent toujours la meilleure production possible et une qualité acceptée par l'organisme de contrôle, maîtrise d'œuvre ou maîtrise d'ouvrage.

La modernisation des technologies et l'accessibilité toujours plus grandes à des moyens toujours plus performants ont incité ces entreprises à s'affranchir des plongeurs et des contraintes règlementaires et sécuritaires qu'impose leur mise en œuvre.

Thème 4 – Ouvrages portuaires, offshore et de plaisance

Les fournisseurs d'équipements de leur côté ont investi dans la conception d'outils destinés à répondre aux exigences des entreprises.

Les fournisseurs d'équipements ne sont pas des spécialistes des travaux maritimes et les entreprises de travaux maritimes ne sont pas des spécialistes des outils qui leurs sont proposés.

La communication commerciale mise en œuvre par les vendeurs de ces équipements constitue le point clé qui leur permettra de vendre leurs produits. Cette communication est avant tout destinée à convaincre les futurs utilisateurs potentiels d'acheter leurs matériels. Aucun organisme indépendant n'a procédé à l'évaluation de ces outils avant leur mise sur le marché. Ainsi les performances annoncées et les vertus de ces outils, ne sont mises en avant que par les sociétés qui les commercialisent.

2.2 Les outils proposés

Ils sont de plusieurs types :

- Des outils topographiques de type POSIBLOC™.
- Des outils acoustiques de type Echoscope.
- Des plongeurs.

3. Le POSIBLOC™

3.1 Présentation de l'outil

Le système POSIBLOC a été développé par ARTELIA en 2007. Il est commercialisé par la société MESURIS. Les anciens Directeurs de CLI en sont les inventeurs.

Le principe POSIBLOC™ est basé sur la mesure topographique et l'acquisition d'une cible par ses coordonnées x, y et z, définies par un plan de pose.

POSIBLOC™ fonctionne avec un logiciel de visualisation 3D appelé VISIBLOC™, qui permet de visualiser en temps réel les informations reçues par l'appareillage de mesure.

Un capteur doit être préalablement positionné sur le bloc en béton. Il est relié au système par un câble ou par wifi suivant le choix de l'entreprise et de son équipement.

Parmi les informations importantes délivrées par le système nous trouvons : La désignation de la cible choisie. Lorsque le bloc est sur la position x, y, z, une croix bleue devient verte. Il faut alors vérifier les points suivants :

- GPS : réception GPS suffisante ;
- Vitesse : vitesse du bloc pas trop élevée ;
- Capteur de charge : fonctionnel ;
- Clé : logiciel fonctionnel ;
- RFG : cap donné par les antennes GPS et conforme. En orange ce cap est donné par le Capteur de mouvement appelé BIB (moins précis) ;
- Capteur de mouvement appelé BIB : Fonctionnel ;

- RPH Capteur de mouvement appelé BIB : informations de cap et d'attitude reçues ;
- Bloc disponible : Capteur de mouvement appelé BIB fixé au bloc.

Un jeu de couleurs est utilisé par l'opérateur pour confirmer la bonne position du bloc.

La précision du système est H/12 ou + ou -0,15 mètre, la plus grande valeur doit être prise en compte.

Un logiciel appelé VISIBLOC PROCESSING permet de mettre en évidence les blocs hors profils, calculer les densités de pose, éditer un rapport de pose.

3.2 Evaluation sur chantiers

Nos inspecteurs ont assisté à la mise en œuvre du POSIBLOC sur les chantiers suivants :

- Ras Laffan au Qatar avec le bloc ACCROPODE™.
- Khalifa à Abu Dhabi avec le bloc ACCROPODE™.
- Barakah à Abu Dhabi avec le bloc CORELOC™.
- Alfaw en IRAK avec le bloc CORELOC™II.
- Le chantier de la NRL avec le bloc ACCROPODE™II.
- Le chantier d'extension du port de Port-La-Nouvelle, avec le bloc ACCROPODE™II.

En 2009, sur le chantier de Ras Laffan l'entreprise CFE Qatar a abandonné l'utilisation des POSIBLOC™ en raison d'une qualité de pose refusée et d'une production extrêmement lente, aggravée par l'obligation de reconstruire les zones refusées. CFE Qatar a fait appel aux plongeurs de l'entreprise sud-africaine SUBTECH.

En 2020, sur le chantier de Khalifa, les systèmes POSIBLOC™ n'ont pas été mis en œuvre au-delà du talus d'essai. La société ARCHIRODON a renoncé à les utiliser après un mois de tentatives infructueuses de pose. Les différences entre l'image virtuelle générée par le système et la réalité étant jugé trop importantes par les ingénieurs de la société ARCHIRODON, cette dernière a fait appel à leurs propres plongeurs.

En 2013, sur le chantier de Barakah, les POSIBLOC ont été remplacés par les plongeurs de diverses entreprises locales, en raison d'une qualité de pose refusée et d'une production excessivement faible, aggravée par l'obligation de reconstruire les zones refusées.

Dans son rapport d'activité, après avoir modifié les procédures de chantier, la société Coréenne KEPCO concluait ainsi :

« Augmentation de la production de 50% après le remplacement des POSIBLOC™ par les plongeurs locaux ».

Les dates indiquées dans ce rapport entre les deux périodes se suivent, ce qui signifie que la comparaison concerne la période de formation des plongeurs. Ce n'est pas la production atteinte avec les plongeurs aguerris, qui a été supérieure puisque nous les avons amenés à poser en moyenne 13 CORELOC™ à l'heure acceptés par la société de

Thème 4 – Ouvrages portuaires, offshore et de plaisance

contrôle. Soit une augmentation de 100% de la production pour une pose acceptée, après un peu plus d'un mois de formation continue.

En 2017, l'utilisation du logiciel VISIBLOC PROCESSING de son côté mettait en évidence sur le chantier de Alfaw en Irak, de nombreux blocs hors profil matérialisés en rose, qui en réalité n'étaient pas hors profils. Cela est facile à mettre en évidence hors de l'eau, par contre sous l'eau et notamment avec une faible visibilité, cela pouvait conduire à devoir démonter des zones correctement construites.

Des différences importantes sur l'appréciation de l'imbrication des blocs entre eux sont apparues entre la vue donnée par POSIBLOC™ et la réalité constatée au même moment :

Le système POSIBLOC™ et ses logiciels n'ont pas permis d'identifier les blocs cassés. Le capteur de poids est destiné à régler la tension du câble au moment de l'enregistrement des données. Il n'est pas conçu pour apprécier le poids dans l'eau, sachant que la limite de rupture acceptée dans le DIT est 2%.

Les trous réels n'étaient pas toujours visibles sur le logiciel VISIBLOC™ et parfois le logiciel indiquait des trous qui n'existaient pas.

Une différence allant jusqu'à 2,5% dans le calcul de la densité de pose, entre celle donnée par VISIBLOC™ et celle calculée avec AUTOCAD a été mise en évidence.

Des défauts de contact avec la sous-couche n'ont pas toujours été indiqués par le logiciel.

Tous ces problèmes avaient été signalés à MESURIS et CLI mais n'avaient pas été solutionnés quand CLAS a quitté le projet.

Entre 2014 et 2018, sur le chantier de la NRL, après deux années de pose des blocs ACCROPODE™II, CLI dans ses rapports de visites constatait de façon récurrente des problèmes d'imbrication et la nécessité de descendre les centres de gravité des blocs. Notamment dans son rapport numéro 5, CLI indiquait que 30 à 50% des blocs posés avec POSIBLOC™ présentaient un problème d'imbrication.

A partir de 2018 des problèmes de casses anormales des ACCROPODE™II voient le jour et donnent lieu à un contentieux, suivi d'importantes déconstructions et reconstructions des carapaces des digues de la NRL qui se sont achevées en 2023. Ces travaux de reprises ont fait appel à des équipes de scaphandriers.

En 2020, sur le projet de Port-La-Nouvelle, la mise en place des ACCROPODE™II a commencé avec les systèmes POSIBLOC™. Après un an et demi ces systèmes ont été démontés et remplacés par des équipes de scaphandriers.

3.3 Principales causes de dysfonctionnement du système

3.3.1 La conception du système

Le système est conçu pour atteindre une cible géographique dans un plan de pose. En dehors de la première rangée de blocs, la cible n'est pas un critère fiable d'imbrication,

au contraire. C'est la raison pour laquelle dans les DIT de CLI l'imbrication prime sur la cible.

Le système POSIBLOC™ devrait permettre de compenser cette erreur en se basant sur l'image numérique pour rechercher la meilleure imbrication possible, mais avec une précision maximum de + ou – 0,15 mètres, cela n'est pas possible et conduit au constat fait par CLI sur la NRL, indiquant que 30 à 50 % des blocs posés présentent un défaut d'imbrication.

Les chiffres concernant la production, fournis par EGIS sur l'année 2018, soit après quatre années de pratique du POSIBLOC™, a été d'une production sur la digue D4 de la NRL de deux blocs par heures, avant les démontages et remontages réalisés entre 2018 et 2023.

3.3.2 *Notre avis*

Le système POSIBLOC™ ne permet pas de poser correctement des blocs de carapace monocouche.

4. L'Echoscope

4.1 Présentation de l'outil

L'Echoscope est un outil acoustique de type sonar, vendu par la société CODA OCTOPUS. Fixé sur un espar ou sur une barge, il fait face à la carapace et renvoie une représentation du réel à l'opérateur. Le bloc en mouvement est parfaitement identifié. Les blocs de la dernière rangée posée sont visibles.

4.2 Evaluation sur chantiers

Nos inspecteurs ont travaillé avec l'Echoscope sur les projets suivants :

- 2009 Ras Laffan au Qatar avec le bloc ACCROPODE™.
- 2012 Les îles de Zakum à Abu Dhabi avec les blocs ACCROPODE™II et X-bloc®.
- 2013 Constanta en Roumanie avec le bloc ACCROPODE™II.
- 2014 Puerto Moin au Costa Rica avec le bloc X-bloc®.
- 2016 Al Zour au Koweït avec le bloc CORELOC™.

4.3 L'utilisation du système

Sur tous les chantiers la méthode de travail était la même :

L'opérateur posait la première rangée de blocs. Cette première rangée était validée par notre inspecteur scaphandrier puis la seconde rangée était mise en place. L'image renvoyée par le système permet d'identifier le plongeur qui contrôle le bloc. Par contre l'image Echoscope n'est pas suffisamment nette pour apprécier réellement la qualité de l'imbrication des blocs, le contact avec la sous-couche et les hors profils.

Thème 4 – Ouvrages portuaires, offshore et de plaisance

4.4 Les problèmes rencontrés

Sur l'île de Das Island le groupement d'entreprises a d'abord utilisé l'Echoscope sans plongeurs, pour poser les X-bloc® et pour valider la pose. 4500 mètres de carapace étaient construits quand sur un événement de mer de faible intensité, des désordres sont apparus : tassements, casses de X-bloc®. Les inspections menées par scaphandriers ont mis en évidence des défauts d'imbrication, des trous, des X-bloc® cassés.

4.5 Les limites de l'Echoscope

Nous avons évalué plusieurs fois l'Echoscope en situation réelle de construction de carapaces de digues et avons toujours été confrontés aux mêmes limites, qui ne sont pas spécifiquement celles de l'Echoscope, mais plutôt des outils acoustiques en général, sonar multifaisceaux, caméra DIDSON et ARIS etc...

Les formes complexes des blocs de carapaces provoquent une dispersion de l'onde acoustique qui peut générer des artefacts, mais surtout près de la surface, l'outil est aveugle. La zone concernée sera d'autant plus importante que la surface de l'eau est agitée et chargée de bulles d'air et de particules en suspension.

En 2016 CLI constatait que le contrôle de la pose d'ACCROPODE™II sur la NRL avec un sondeur multifaisceaux était insuffisant et préconisait le contrôle par plongeurs.

Plus récemment sur le chantier de Port La Nouvelle, l'entreprise BOSKALI, chargée de poser les deux premières rangées d'ACCROPODE™II de 14 m³ sur le musoir de la digue foraine avait utilisé un Echoscope. La première rangée avait été posée correctement. La seconde rangée présentait de nombreux ACCROPODE™II hors profil sur le levé multifaisceaux.

L'inspection par scaphandriers, destinée à déterminer si cela provenait de défauts de la sous-couche ou de défauts de pose, a confirmé que ces ACCROPODE™II ne touchaient pas le talus et étaient trop avancés vers la mer.

4.6 Notre avis

L'Echoscope associé à une équipe de scaphandriers aguerris permet de gagner en sécurité et en production en cas de faible visibilité. Utilisé seul il présente le risque de montrer des défauts de pose qui n'existent pas ou de ne pas montrer des défauts de pose qui existent. Près de la surface il est inopérant.

Les productions annoncées de 8 ou 9 blocs posés par heure sont conformes à la réalité. Nous avons dépassé ces productions en associant l'Echoscope à des plongeurs correctement formés.

5. Les plongeurs

L'utilisation de plongeur est la plus ancienne méthode de pose des blocs artificiels. Pour s'affranchir des contraintes de sécurité, du prix des équipes de scaphandriers et des

contraintes de toutes natures liées à leur mise en œuvre, aussi bien les entreprises que les maîtres d'œuvre ont espéré pouvoir les remplacer par des outils d'aide à la pose. Cette tendance s'est accrue de 2007 à 2020 en France. A partir de 2020, tous les appels d'offres en France, concernant la pose de blocs de carapaces sous l'eau ont imposé des plongeurs ayant des références sérieuses dans ce domaine.

5.1 Contraintes réglementaires

Dans la plupart des pays l'activité de travaux sous-marins est strictement encadrée. En France les entreprises de travaux sous-marins doivent être certifiées par un organisme accrédité par le COFRAC. Les procédures de travail sont également strictement encadrées. La plongée doit être mise en œuvre en narguilé avec communications.

5.2 Difficulté de la compréhension et de l'interprétation des règles indiquées dans les DIT

Les règles édictées dans les DIT pour la mise en place des blocs artificiels sont trop subjectives et insuffisamment illustrées. Deux personnes pourront avoir deux avis différents sur l'interprétation d'une même situation, en regard de ces règles de pose. Cela ouvre la porte à des frictions entre entreprise et maître d'œuvre, pertes de temps et difficultés d'expliquer une nécessité de démontage et remontage d'une section de carapace.

La formation des personnels est un point clé. La variété des situations, leur complexité parfois, ne permet pas d'assurer une formation en quelques heures. C'est un véritable apprentissage qui doit se faire en continu, tout au long de la construction de l'ouvrage, notamment en raison des rotations de personnels.

5.3 Formation des plongeurs

Pour s'affranchir des scaphandriers, les entreprises et les fournisseurs d'outils d'assistance à la pose des blocs artificiels, mettent en avant les risques et la dangerosité de ce métier. La pose de blocs artificiels n'est pas plus dangereuse qu'une autre activité exercée par les scaphandriers, elle obéit toutefois à des règles spécifiques de sécurité qui ne sont ni connues, ni enseignées dans les centres d'apprentissage.

Les vendeurs de licences s'interdisent d'intervenir sur cet aspect et cela est clairement mentionné dans leurs DIT, autant chez CLI que chez DMC.

Les entreprises qui ne souhaitent pas utiliser de plongeurs et utilisent uniquement le POSIBLOCTM ou l'Echoscope, sont malgré tout amenées dans la majorité des cas, à faire appel à leurs services en cas de démontages importants pour supprimer des non-conformités. Cela pose un sérieux problème de sécurité, parce que démonter une carapace mal posée est bien plus dangereux et plus complexe que poser des blocs de carapace. Les blocs fraîchement posés avec les systèmes sans plongeurs sont moins bien imbriqués, susceptibles de bouger après la pose. Les plongeurs qui doivent élinguer les

Thème 4 – Ouvrages portuaires, offshore et de plaisance

blocs en place sont au contact des blocs. Les règles de sécurité sont plus larges, font appel à des outils et astuces complémentaires et doivent être appliquées très strictement. La formation ne se limite pas aux plongeurs, elle concerne tous les acteurs qui interagissent dans l'action de poser et déposer les blocs de carapace.

Au fil du temps et de l'expérience nous avons mis en place une formation à la sécurité en trois temps :

5.3.1 Formation théorique en salle

Ce module permet de comprendre les mouvements des blocs, la définition des zones de sécurité, les sens de déplacement des personnels et des machines sur le poste de travail, les contraintes auxquelles les plongeurs sont exposés.

5.3.2 Formation pratique au montage et démontage sur talus d'essais

Ce module permet de d'analyser les risques de mouvement du bloc, comprendre comment positionner le corps, comprendre comment utiliser les outils et donner les ordres à l'opérateur de la pelle ou de la grue. Comment inspecter un bloc avant de larguer l'élingue, comprendre les non-conformités élémentaires.

5.3.3 Formation pratique dans l'eau en commençant la construction.

Un inspecteur CLAS accompagne dans l'eau des scaphandriers en formation. Ce module permet de comprendre comment définir les zones de sécurité, la communication avec l'opérateur, l'approche du bloc et les gestes et positions interdits, comprendre comment utiliser les outils et donner les ordres à l'opérateur de la pelle ou de la grue. Comment inspecter un bloc avant de larguer l'élingue, progresser dans la compréhension des non-conformités et surtout comprendre les limites imposées par la faible visibilité.

Parmi les outils et astuces simples, nous utilisons une tige d'acier, qui ne quitte jamais le scaphandrier.

Cette tige est posée au contact du bloc. Elle ne sert ni à pousser, ni à faire pivoter le bloc, elle sert à maintenir une distance minimum constante entre le bloc et le plongeur. En cas de mouvement du bloc vers le plongeur, celui-ci sera repoussé vers la mer en conservant cette distance de sécurité.

5.4 Evaluation sur chantiers

Après avoir testé la pose au POSIBLOC™ avec une validation de la pose sur la base de levés multifaisceaux et traitement par des logiciels de visualisation 3D, CLI écrivait à plusieurs reprises dans ses rapports de visites de chantier de la NRL qu'il était indispensable de faire intervenir des scaphandriers pour inspecter la sous-couche et la carapace :

« Au-delà des profils relevés, il est primordial de faire systématiquement une inspection par plongeurs, afin de s'assurer de l'adéquation de la sous-couche en tout point.»

« CLI conseille l'utilisation des plongeurs pour l'ensemble des blocs posés sous l'eau. » De larges zones concernant des milliers d'ACCROPODE™II sur les quatre digues de la NRL ont été démontées et reconstruites entre 2020 et 2023, en utilisant des plongeurs.

Les productions moyennes après un mois de formation des plongeurs sont de l'ordre de 8 blocs correctement posés par heure.

La production dépend largement de la machine utilisée pour manœuvrer les blocs, de la taille des blocs et de la visibilité.

Les limites d'utilisation des plongeurs sont la perte d'efficacité quand la visibilité devient nulle. La perte de sécurité en cas d'exposition à une forte houle.

Depuis 2007 il n'y a pas eu d'accident sur des plongeurs dont nous avons validé la formation.

Les derniers appels d'offres pour la construction de digues nécessitant la pose de blocs artificiels sous l'eau imposent l'utilisation de plongeurs : Cela apparaît dans les CCTP des projets suivants : CCTP La Turballe, CCTP Argeles sur Mer, CCTP Port Gardian

6. Conclusion

Notre avis après plus de 20 années d'expérience et plus d'un million de blocs posés et inspectés, en condition réelle de travail, est que la solution la plus efficace est l'utilisation de plongeurs spécialement formés dans le cadre d'un apprentissage sur le site de construction, dans les régions du monde où la visibilité est généralement bonne.

En cas de conditions de visibilité dégradée par les travaux eux-mêmes ou par le site naturel, c'est l'utilisation intelligente de l'Echoscope associé à des plongeurs correctement formés dans le cadre d'un apprentissage mené sur le site de construction, qui donnera les meilleurs résultats.

7. Sources documentaires

DIT ACCROPODE™II CLI (2019). *Version E 18/12/2019*. Source EGIS.

Cahier des charges DMC - 33015-rap-u-0001_FR rev D. La Turballe. (2019). Source Entreprise CHARIER.

Rapport NMDC KEPCO BNPP-Coreloc Methodology review Rev00. (2013). Source entreprise KEPCO.

Rapport NRL Lot 4 MT5.1 ASSISTANCE TECHNIQUE ACCROPODE™ II – Rapport N°3 (2019). Source Région Réunion.

Rapport NRL Lot 4 MT5.1 ASSISTANCE TECHNIQUE ACCROPODE™ II – Rapport N°4 (2019). Source Région Réunion.

Rapport NRL Lot 4 MT5.1 ASSISTANCE TECHNIQUE ACCROPODE™ II – Rapport N°5 (2019). Source Région Réunion.

Thème 4 – Ouvrages portuaires, offshore et de plaisance

Rapport NRL Lot 4 MT5.1 ASSISTANCE TECHNIQUE ACCROPODE™ II –
Rapport N°6 (2019). Source Région Réunion.

Procédure NRL-DET-EGIS-2017-0411 (2019). Source EGIS.