Ingénierie hydrosédimentaire appliquée à la validation d'un concept innovant de port de plaisance

**Martin SANCHEZ¹, Charles ABESSOLO¹, Damien GRIMONT², David COMY²,
Tom RENAUD³, Bertrand ALESSANDRINI⁴, Aurelien DROUET⁵,
Georges CLAVERIE⁶**

1. Université de Nantes, LPGN, UMR 6112 CNRS, BP 92208, 44322 Nantes, France.
martin.sanchez@univ-nantes.fr ; charles.abessolo@univ-nantes.fr
2. BLUERING, 5 avenue Cauchy, BP 10703, 44300 Nantes, France.
3. SCE NANTES, 5 avenue Cauchy, BP 10703, 44307 Nantes, France.
4. Ecole Centrale Nantes, LMF, UMR 6598 CNRS, BP 92101, 44321 Nantes, France.
5. HydrOcean, 1 rue de la Noë, 44300 Nantes, France
6. CREOCEAN, Zone Technocean, rue Charles Tellier, 17000 La Rochelle, France.

Résumé :

Cette étude est effectuée dans le cadre du projet collaboratif MAREVA (MAquette de REalisation Virtuelle des Aménagements portuaires), porté par BlueRing et SCE Aménagement & Environnement, labellisé par le Pôle Génie Civil Ecoconstruction et soutenu financièrement par l'Etat à travers le Fonds Unique Interministériel et par des Collectivités Locales. Dans cette note sont abordés les aspects environnementaux, hydrauliques et sédimentaires liés au concept d'aménagement portuaire breveté BlueRing[®]. Dans sa configuration de base, il s'agit d'un port circulaire avec dans sa partie centrale un puits d'accès à un espace souterrain aménagé.

Mots-clés :

Port de plaisance – Port à flot – Port à sec – Paroi moulée – BlueRing[®]

Abstract:

This study is being carried out within the framework of the joint venture project MAREVA (model of virtual realization of harbour installations), managed by BlueRing and SCE Aménagement & Environnement, approved by the cluster "Pôle Génie Civil Ecoconstruction" and financially supported by "Fonds Unique Interministériel" (FUI, French Government) jointly with Local Authorities. Environmental, hydraulic and sedimentary topics related to the original project BlueRing[®] are described in this note. In its basic configuration, it is about a circular harbour with a central well to connect to an equipped underground space.

Keywords:

Marina – Floating marina – Dry marina – Moulded concrete wall – BlueRing[®]

1. Introduction

Cette étude concerne un nouveau concept d'aménagement portuaire répondant à la demande croissante d'emplacements pour les plaisanciers. Il s'agit du procédé breveté BlueRing® (BLUERING, site web) intégrant une dimension verticale dans les infrastructures portuaires grâce à l'utilisation de la technique des "parois moulées" dites "auto-stables" (SOLETANCHE-BACHY, site web). Cette technique est mondialement éprouvée car elle permet la construction d'ouvrages souterrains profonds et étanches à l'eau, tels que des parkings urbains, des puits d'accès pour tunneliers ou des formes de radoub.

Les principales caractéristiques de BlueRing® (figure 1) sont la possibilité d'occuper à moindre coût des sols aux qualités géotechniques médiocres, d'une part et la mise à disposition de nouveaux espaces par la prise en compte de la dimension verticale sous-terraine d'autre part. Les atouts en découlant sont multiples : création d'un espace souterrain à usages variés (port à sec, parking, ...), occupation optimale des surfaces, impact visuel favorable, insertion aisée en site urbain, coût réduit lié à la lutte contre l'envasement, valorisation de sites aux qualités géotechniques médiocres, etc.

Figure 1. Illustration d'un port de plaisance à flot avec port à sec et parking souterrains, implanté en site urbain suivant le concept BlueRing®.

Une étude préalable (SANCHEZ *et al.*, 2009) a permis de cerner les contraintes liées à l'agitation par les vagues dans les bassins construits selon le concept BlueRing®. Cette étude s'est basée sur une théorie linéaire selon laquelle les vitesses induites par les vagues dérivent d'un potentiel complexe qui doit satisfaire les conditions aux limites propres à un fond imperméable, à une surface libre isobare, à une houle incidente en

provenance de l'extérieur du domaine étudié et aux éventuelles réflexions au niveau des frontières solides latérales délimitant ce domaine (ISAACSON & QU, 1990 ; SANCHEZ, 1996). Les résultats obtenus montrent que l'amplification des vagues dans le bassin n'est observée que dans certaines bandes étroites de longueur d'onde. Il est également montré que si la hauteur de l'onde incidente est inférieure à 20 cm, elle ne pose aucun problème aux activités de navigation et d'accostage dans le port. Ainsi, il s'ensuit que ce type d'aménagement doit être implanté dans des sites abrités par rapport à la houle océanique.

Cette note a pour objectifs la présentation des méthodes d'étude mises en œuvre afin d'accroître la fiabilité et la sécurité du concept BlueRing®, la mise en lumière des possibilités d'aménagement portuaire qui sont offertes par ce concept, et la mise en évidence d'avantages obtenus par une réduction des travaux de dragage pour lutter contre l'envasement.

2. Méthodes

Dans le but d'optimiser le concept BlueRing® un projet de recherche et développement collaboratif a été mis en place à travers une convention et par la création d'un consortium. Le projet MAREVA (Maquette de REalisation Virtuelle des Aménagements portuaires) a été labellisé par le Pôle de compétitivité Génie Civil Ecoconstruction et est soutenu financièrement par le Fonds Unique Interministériel, la Région Pays de la Loire et le Conseil Général de l'Ain.

Le consortium est formé par cinq entreprises privées et trois laboratoires de recherche :

- BlueRing.
- SCE Aménagement & Environnement.
- Créocéan.
- Soletanche-Bachy.
- MAUM SAS.
- UMR CNRS 6112, Université de Nantes : *Planétologie et Géodynamique*.
- UMR CNRS 6598, Ecole Centrale de Nantes : *Mécanique des Fluides*.
- UMR CNRS 6183, Université de Nantes – Ecole Centrale de Nantes : *GeM*.

Cette équipe de travail met en commun un important panel de compétences, à la hauteur des enjeux technologiques et économiques de BlueRing® (ingénierie d'études et de travaux, architecture, urbanisme) permettent de faire du concept BlueRing® un projet d'aménagement global en réponse à de nombreuses problématiques.

Afin d'aborder les principaux aspects techniques, quatre axes de recherche coordonnées par BlueRing et SCE, ont été mis en place (figure 2) :

- Axe 1 : Bassin autonettoyant, piloté par Créocéan.
- Axe 2 : Porte d'accès au bassin, piloté par SCE.
- Axe 3 : Port à sec automatisé, piloté par MAUM.
- Axe 4 : Structure Génie Civil, piloté par Soletanche-Bachy.

Thème 8 – Gestion durable des ports de plaisance

Pour mener à bien ces travaux, quatre thèses financées sont en cours de réalisation dont une correspond à l'axe "bassin autonettoyant". Les premiers résultats de ce dernier axe seront développés par la suite dans cette communication.

Figure 2. Organigramme du projet MAREVA "MAquette de REalisation Virtuelle des Aménagements portuaires".

3. Possibilités d'aménagement portuaire avec BlueRing®

L'une des principales applications potentielles du concept BlueRing® est l'implantation d'un port en site urbain à forte densité immobilière sur une surface restreinte de valeur foncière élevée. La nécessité d'optimisation de l'usage des sols est alors évidente. Cette solution permet l'obtention d'un port à flot de prestige en centre ville et l'aménagement de l'espace souterrain offre une large gamme de possibilités : parking et port à sec (figure 1), surfaces commerciales, bureaux, etc.

Une deuxième application potentielle est d'augmenter la capacité d'accueil d'un port côtier classique saturé. Dans l'exemple illustré sur la figure 3, l'implantation d'un port BlueRing® permet de pratiquement doubler la capacité d'accueil du port en conservant constante la surface totale de celui-ci. En effet, dans cet exemple, BlueRing® occupe 14% de la surface totale du port et permet d'accueillir autant des bateaux que le reste du

port adjacent. Il faut ajouter que l'espace souterrain offre un abri par rapport à l'action directe du vent en cas de tempêtes.

Sur la figure 3 comme sur la figure 1, les bateaux logés dans le port à sec souterrain sont mis à l'eau depuis leur stationnement sur une étagère vers le bassin à flot via un dispositif de manutention qui les achemine au travers d'un puits de lumière situé au centre de l'ouvrage. La sortie d'eau suit le chemin inverse. Les accès piétons et véhicules (cas d'un parking) se font par une rampe d'accès souterrain dont l'entrée peut être située légèrement à l'écart de la structure même du parking. L'impact visuel des infrastructures est alors minime.

Une troisième application potentielle en découlant est l'implantation dans un espace naturel à l'abri de la houle océanique. La figure 4 illustre un exemple d'implantation dans une lagune littorale et met en évidence le très faible impact visuel et l'intégration réussie du port dans son environnement. Il faut noter que cette possibilité est réellement viable car l'auto-stabilité des ports BlueRing[®] permet de construire ceux-ci dans des sites aux qualités géotechniques médiocres à des conditions économiques extrêmement compétitives.

4. Vers un bassin autonettoyant

Un problème récurrent dans les ports de plaisance est celui de l'envasement du bassin (SANCHEZ & LEVACHER, 2008), qui est nécessairement abrité de la houle océanique. L'envasement est engendré en grande partie par les conditions d'eau calme et dépend des facteurs suivants :

- Volume d'eau oscillant par cycle de marée.
- Turbidité ou teneur en matières en suspension dans les eaux environnantes.
- Redistribution des sédiments consécutive à l'implantation d'ouvrages de génie civil.
- Caractéristiques des matières en suspension dont vitesse de chute.

Le principe même d'inclure une importante partie de port à sec dans les aménagements BlueRing[®] permet de réduire considérablement les dragages calculés en volume de vase rapporté au nombre total d'embarcations. Ainsi, si l'on prend comme exemple le bassin portuaire illustré sur la figure 3, on constate que pour un même nombre de bateaux abrités, le port BlueRing nécessite un volume de dragages qui est égal à 14% de celui du secteur portuaire adjacent. Ceci si l'on admet que l'envasement est uniformément reparté sur tout le bassin et que les apports de sédiments se font exclusivement en suspension.

De plus, dans les régions soumises à la marée, une gestion courante des portes d'accès aux ports consiste en un maintien de cette porte fermée pendant tout le demi-cycle de marée au cours duquel le niveau de la mer est inférieur à celui de mi-marée, alors que la porte est ouverte pendant le demi-cycle de marée complémentaire. Cette gestion permet de réduire de 50% le volume d'eau oscillant et d'autant le taux d'envasement qui est en théorie proportionnel à ce volume.

Figure 3. Illustration de l'intégration d'un port de plaisance BlueRing® dans un bassin portuaire classique.

Figure 4. Illustration de l'impact visuel favorable d'un port de plaisance de 400 places implanté dans un environnement sauvage abrité naturellement de la houle.

Les travaux de recherche actuellement en cours visent à gérer le volume d'envasement résiduel qui peut représenter selon les cas étudiés, environ 7% de celui d'un port à flot classique abritant un même nombre de bateaux.

Trois cas de sédimentation sont susceptibles de se présenter :

- Dépôts de sables.
- Dépôts de mélanges sable-vase.
- Dépôts de vases seules.

Les deux premiers cas peuvent être envisagés quand le projet BlueRing[®] s'intègre dans un port côtier classique (figure 3). La gestion et la valorisation des sédiments doit se faire conjointement avec ceux des zones adjacentes.

Le troisième cas est envisagé quand le projet BlueRing[®] est isolé du domaine océanique (figure 1). En effet, sachant que les courants à travers le canal d'accès seront en général faibles, le potentiel de transport de sables par charriage sera pratiquement nul.

Les solutions envisagées pour lutter contre l'envasement dans les ports ont été étudiées par WINTERWERP (2005). Dans notre cas, les solutions envisagées sont les suivantes :

- Une réduction supplémentaire du volume d'eau oscillant par réduction du temps d'ouverture de la porte ou par l'implantation d'une écluse par exemple.
- Un maintien des matières solides en suspension dans le bassin portuaire de façon à ce que les sédiments soient évacués pendant le jusant ; l'utilisation d'une circulation artificielle obtenue à l'aide d'une batterie d'agitateurs est une possibilité envisagée (une illustration de résultats issus des premiers tests en simulation numérique est montrée sur la figure 5).
- Une remise en suspension mécanique permanente des vases fraîchement déposées sur le fond rigide en béton du port afin que les matières soient évacuées pendant le jusant.
- Une évacuation par pompage des vases déposées captées dans des pièges à sédiments répartis dans le bassin portuaire.

5. Conclusions et perspectives

Le concept BlueRing[®] offre une large gamme de possibilités d'aménagement portuaire grâce à un espace souterrain aménageable à usages potentiels divers et variés : stationnement, port à sec, chantiers navals, surfaces commerciales, zones de stockage, autres fonctions à forte valeur ajoutée. Sa forme circulaire brevetée, optimale du point de vue structurelle, est la seule viable d'un point de vue pratique pour cet espace souterrain.

La réduction des volumes d'envasement intrinsèque aux ports mixtes, à flot et à sec, et l'objectif visé de parvenir à l'obtention d'un bassin portuaire autonettoyant avec évacuation permanente des sédiments entrant dans le port, placent BlueRing[®] en conformité avec les législations actuelles et à venir qui ont tendance à interdire le rejet en mer des vases issues des dragages.

Les premiers travaux menés pour l'optimisation et la durabilité de la structure de génie civil BlueRing[®] et de la porte d'accès au bassin et pour le développement de systèmes automatisés de manutention des navires présagent de développements importants dans ces différents champs.

Enfin, en perspective il est attendu que le partenariat mis en place dans le cadre du projet collaboratif MAREVA aboutisse au perfectionnement et à la sécurisation de technologies innovantes de construction portuaire, participant au développement durable des zones côtières.

Remerciements : Les auteurs remercient le Pôle Génie Civil Ecoconstruction qui a labellisé ce projet collaboratif, ainsi que les financeurs à travers le Fonds Unique Interministériel, la Région Pays de la Loire, et le Conseil Général de l'Ain.

Figure 5. Simulation numérique de l'écoulement dans un port soumis à 4 agitateurs (500000 mailles, pas de temps 10 s) image HydrOcean-ECN. Les vitesses sont représentées sur 7 plans verticaux correspondant à des radiales. Elles augmentent du bleu vers le rouge (convention froid-chaud). Les agitateurs se situent sur l'un des plans à gauche de la figure où 4 sources de quantité de mouvement sont clairement visibles.

6. Références

- BLUERING (site web). <http://www.bluering.fr/>
- ISAACSON M., QU S. (1990). *Waves in a harbour with partially reflecting boundaries*. Coastal Engineering, Vol. 14, n° 3, pp 193-214. doi:10.1016/0378-3839(90)90024-Q
- SANCHEZ M. (1996). *Conditions aux limites liées à la réflexion de la houle et distribution des énergies dans un bassin portuaire*. IV^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil, Dinard, pp 33-42. doi:10.5150/jngcgc.1996.004-S
- SANCHEZ M., GRIMONT D., CLAVERIE G. (2009). *Etude de l'agitation liée aux vagues dans un bassin portuaire de forme circulaire*. Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, Edition 1, Hammamet, Tunisie, pp 57-60. doi: 10.5150/cmcm.2009.015
- SANCHEZ M., LEVACHER D. (2008). *L'envasement dans les ports : études de cas en Loire-Atlantique*. European Journal of Environmental and Civil Engineering, Hermes-Lavoisier, Volume 12, n° 1 et 2, pp 147-160. doi:10.3166/EJECE.12.147-160
- SOLETANCHE-BACHY (site web). <http://www.soletanche-bachy.com/SBF/referencesb.nsf/Tech/parois.moulees.en.beton.arme>
- WINTERWERP J.C. (2005). *Reducing Harbor Siltation I: Methodology*. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, pp 258-266. doi:10.1061/(ASCE)0733-950X(2005)131:6(258)