

Etude numérique de l'effet de l'installation de brise-lames submergés sur l'hydrodynamique et le trait de côte de la plage de Bona, Hyères, France

Minh Tuan VU¹, Yves LACROIX², Viet Thanh NGUYEN³

1. National University of Civil Engineering, 55th Giai Phong Street, Hanoi, 100000, Vietnam.

tuanym@nuce.edu.vn

2. SEATECH, University of Toulon, Avenue G. Pompidou, 83162, La Valette du Var, France.

yves.lacroix@univ-tln.fr

3. University of Transport and Communications, 3rd Cau Giay street, Hanoi, 100000, Vietnam.

vietthanh@utc.edu.vn

Résumé:

La branche orientale du tombolo de Giens est soumise à une érosion marine sévère qui menace les plages sableuses ainsi que de nombreuses activités ou installations littorales. En particulier, la plage de Bona est très vulnérable. Afin de limiter cette érosion, stabiliser le trait de côte, et engraisser la plage, l'installation de Dignes Sous-Marines (DSM) est envisagée. Les DSM ont l'avantage de préserver tant le paysage, que la disponibilité de l'espace littoral proche. Cependant, ils ont rarement été déployés dans le cadre de la protection contre l'érosion côtière par le passé. La raison principale est que la réponse morphologique de ce type de structures est encore mal comprise. L'objectif de cet article est d'étudier l'effet des DSM sur l'hydrodynamique et l'évolution morphologique, en utilisant le modèle numérique issu du logiciel MIKE 21 Spectral Wave et le modèle à une ligne de LITLINE. Nos résultats démontrent l'efficacité des DSM sur le site de la plage de Bona, en conditions ordinaires, ou tempétueuses.

Mots clés :

Tombolo oriental de Giens, Erosion, Modèle numérique, Digue sous-marine (DSM), Trait de côte, Hauteur de rugosité, Coefficient de transmission.

1. Introduction

La plage de Bona est l'une des plus belles plages de l'est du tombolo de Giens, dans le sud-est de la France (figure 1). Toutefois, ces plages ont connu des épisodes érosifs sévères, dues pour partie à des causes naturelles mais principalement anthropiques (COURTAUD, 2000). Des structures protectrices ont été peu à peu installées pour réduire l'impact érosif des conditions marines, en l'absence de la dérive littorale. En 1960, on a commencé par installer deux épis, plus tard, des digues. Ces solutions peuvent apporter

Thème 1 – Hydrodynamique côtière

une réponse positive locale au problème érosif considéré, mais peuvent aussi générer de nouveaux problèmes, et présenter des désavantages (KLIUCININKAITE & AHRENDT, 2011). La plage de Bona a connu une forte érosion, et les digues ont été en partie détériorées par les tempêtes hivernales. A l'aide de campagnes de photographie aérienne, et de mesures topographiques, CAPANNI (2011) a montré que la plage de Bona a connu un retrait moyen -0.1 m/an, de 1972 à 2003. Afin de protéger la plage de Bona sans détruire ou réduire l'aménagement ou l'esthétique de la plage, les auteurs y proposent l'utilisation des DSM. Dans cet article, nous étudions les changements morphologiques à la plage de Bona induits par la présence de DSM, au moyen d'un modèle numérique.

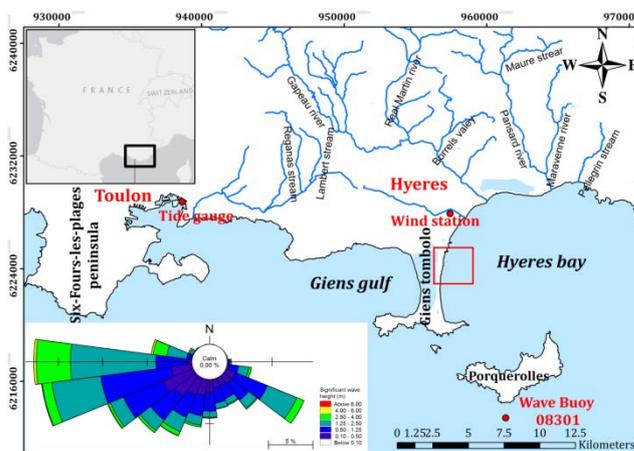


Figure 1. L'emplacement de la zone d'étude et rose des vagues annuelle.

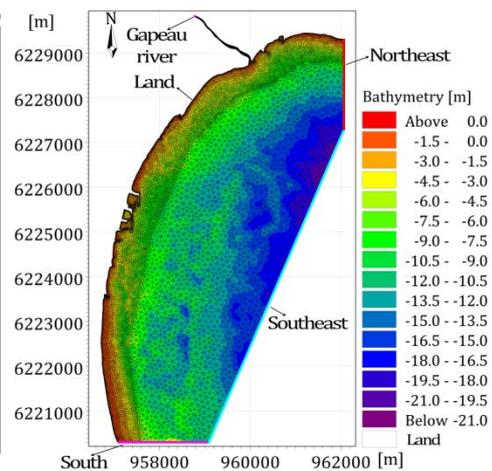


Figure 2. Maillage et bathymétrie de la zone d'étude.

2. Zone d'étude

La plage de Bona s'étend approximativement sur 1km, du port Saint Pierre au Nord au port de La Capte, au Sud. La bathymétrie de la plage est hautement complexe, avec la présence de dunes sous-marines, générées par l'effet à long terme de facteurs naturels ou anthropiques (figure 2). Les données de vagues en mer ont montré que le tombolo oriental de Giens subit l'assaut des vagues de secteur SE avec une fréquence de 19.1%. Les vagues sont le facteur hydrodynamique principal dans la mesure où les marées n'excèdent pas 0.3m (SOGREAH, 1988).

3. Méthode

3.1 Modélisation numérique

Le module SW développés par DHI (2014b) permet de générer le champ proche des vagues générées par la houle du large et les vagues issues du vent et la description du champ de vagues détaillé près du rivage, tandis que le module LITLINE de LITPACK également développé par DHI (2014a) a été utilisé pour modéliser l'évolution du trait de

côte sous l'effet des tempêtes, des conditions saisonnières, et de la présence des DSM. Le domaine de calcul couvrant une superficie d'environ 30 km² (figure 2). Le maillage 2D comporte 22960 éléments.

Le modèle SW a été calibré en utilisant la hauteur de rugosité de Nikuradse, k_s (VU *et al.*, 2019). La figure 3 présente la comparaison entre les hauteurs de vagues simulées et observées à la station SCAPT4. Sur la base de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) de 0.0358 m correspondant à la différence de 41.2%, elle confirme que le champ d'onde peut être reproduit par le modèle numérique. La figure 4 montre que les résultats du rivage de Bona simulés par le modèle LITLINE concordent assez étroitement avec les données réelles sur le terrain avec une valeur de RMSE de 2.07 m et un coefficient R² de 0.99. Le Brier Skill Score (BSS) correspondant pour l'évolution du trait de côte est de 0.33, acceptable selon VAN RIJN *et al.* (2003).

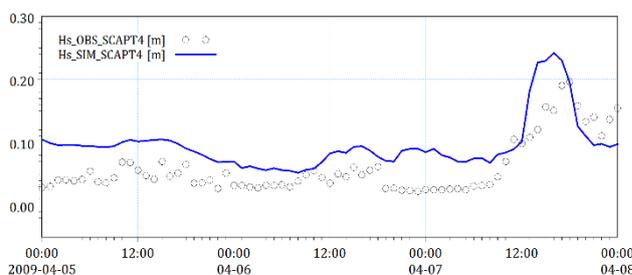


Figure 3. Valeurs simulées et observées station SCAPT4 pour la hauteur des vagues.

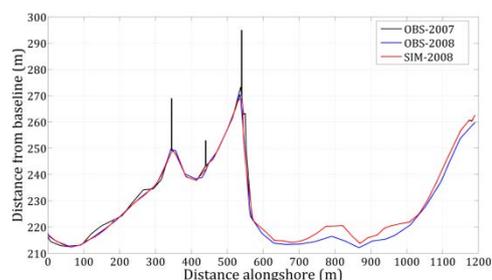


Figure 4. Comparaison des traits de côte observés et simulés (2007-2008).

3.2 Descriptions de la conception des DSM et des scénarios d'étude

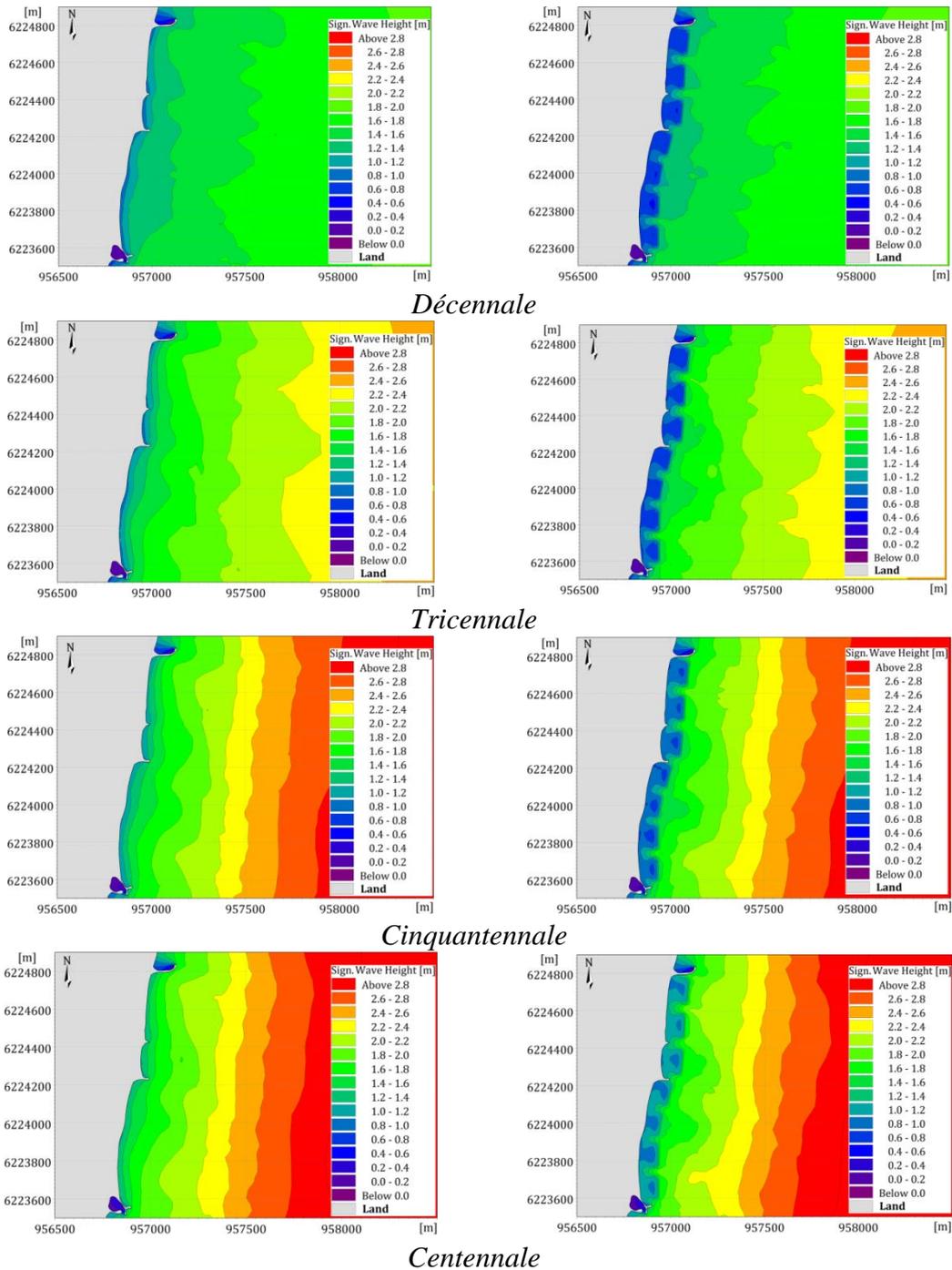
Nous avons positionné les DSM dans la zone de surf, avant la limite supérieure du champ de posidonies, à une distance de 80-90m, correspondant à une profondeur de 2.5m. Ils sont espacés de 60m, longs de 110-120m, et la largeur de crête est de 10m. La profondeur de submersion de crête est de 0.4m sous le niveau moyen.

Dans cette étude, différentes saisons (hiver-février 2007 et été juillet 2007) et différents niveaux de tempêtes (Décennale, Tricennale, Cinquantennale et Centennale) sont des modèles afin d'étudier le rôle des DSM dans la protection de la plage de Bona.

4. Résultats et Discussions

4.1 Effets sur les champs de vagues

La figure 5 présente les variations saisonnières des champs de vagues à Bona, avec ou sans DSM. En été, un clapot de 0.13-0.14 m est observé à l'isobathe 1.2, alors qu'en hiver, les valeurs usuelles oscillent de 0.26 à 0.29 m. Cette différence des hauteurs moyennes résulte de la survenue de tempêtes hivernales. La figure 5b montre une réduction du H_s de 40.46% à 47.43% en été, et de 47.73% à 55.06%, en hiver, au droit des DSM, de



a. Sans DSM

b. Avec DSM

Figure 6. H_s plage de Bona en conditions tempétueuses.

4.2 Impact des DSM sur le trait de côte

La figure 7 montre le trait de côte avec ou sans DSM, en conditions saisonnières. La suppression de deux DSM en $x=100$ et $x=200$ générerait une érosion modérée dans la partie centrale de la plage de Bona. On observe une légère accrétion au droit des DSM.

Thème 1 – Hydrodynamique côtière

La tendance érosive est dominante en l'absence de DSM, avec une perte de superficie totale de -198 m^2 (tableau 1). Les 7 DSM sont implantés à une distance de 80m de la côte. Sur la zone d'étude, la répartition des zones accrétées et érosives révèle que la dérive sédimentaire est orientée Sud-Nord, probablement sous l'impact des vagues de SE qui sont les plus effectrices dans ces conditions. En présence de DSM, l'impact de la saison estivale est pour ainsi dire nul sur l'évolution de la plage. Des tombolos sont formés au droit des DSM, à $x=118-132$ et $550-560$, avec une amplitude maximale de 2.55m à $x=555$, au droit du troisième DSM. Après la période hivernale, l'érosion persiste mais est considérablement réduite (tableau 1). En été il y a peu d'apports sédimentaires, issus principalement du Gapeau et du Roubaud. L'accrétion est donc plus faible au droit des DSM. Sans DSM, la perte en saison estivale est de -134.3 m^2 (tableau 1). Avec les DSM, le trait de côte est quasi inchangé à quelques oscillations près, accrétives ou érosives. La perte totale est réduite de 85.41%, et l'accrétion totale est également réduite, de 73.2 % (tableau 1). Bien que les vagues soient faibles en été, la simulation montre qu'elles sont dissipées par les DSM, qui émergent à une faible profondeur.

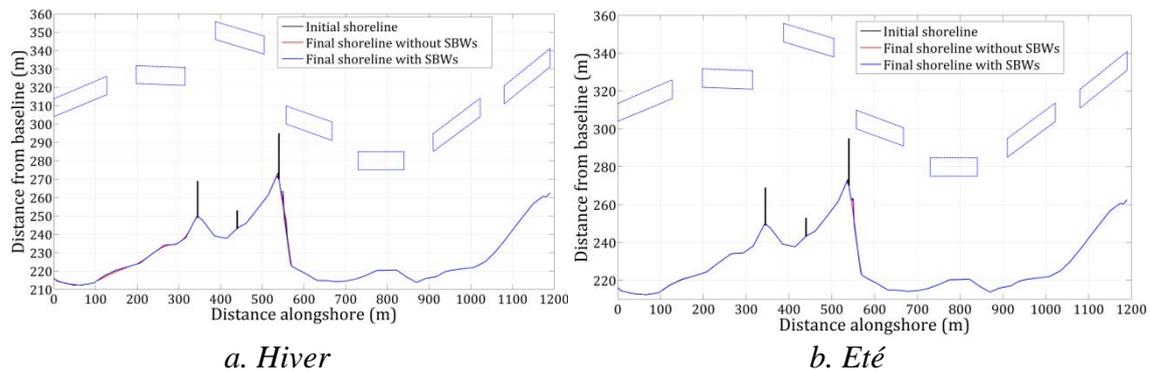


Figure 7. Evolution du trait de côte en raison des variations saisonnières, plage de Bona, avec et sans DSM.

En conditions décennales (figure 8a), la plage subit une forte érosion aux abscisses $100 < x < 300$ et $420 < x < 450$. Le retrait maximal est de 0.6 en $x=140\text{m}$. Une érosion modérée est observée pour $520 < x < 555$. L'implantation des DSM entraîne une faible modification du trait de côte relativement à son état initial (figure 8a). De faibles tombolos sont même formés au droit des DSM, pour $125 < x < 135$, $550 < x < 560$, d'une amplitude maximale de 1m pour $x=555\text{m}$. Le seul changement important du trait de côte se produit à l'interstice entre la troisième et la quatrième DSM, à l'alignement du troisième épi. Ceci est probablement dû à la conformation des courants de retour. L'impact des DSM réduit la surface érodée de -220.5 m^2 à -40 m^2 , soit de 81.83% (tableau 1). Sinon, les faibles zones accrétées persistent. La figure 8b montre l'impact des DSM en conditions tricennales. L'impact érosif augmente avec la puissance de la tempête (tableau 1). La perte maximale est de -77 m^2 , avec un retrait maximal de 1m en $x=150\text{m}$. Les épis interfèrent avec le transport Sud-Nord et génèrent des zones accrétées avec un maximum

de +71.6 m² au pied du troisième épi et sur le secteur Nord+0.5m en x=8 m. L'impact des DSM génère une réduction érosive de 83.83% (tableau 1), de -249 m² à -40.3 m². Le trait de côte recouvre pour ainsi dire sa position initiale, et un petit tombolo se forme pour 100<x<200. Une légère accrétion s'observe au pied du troisième épi. La perte de plage est très nettement réduite en présence de DSM.

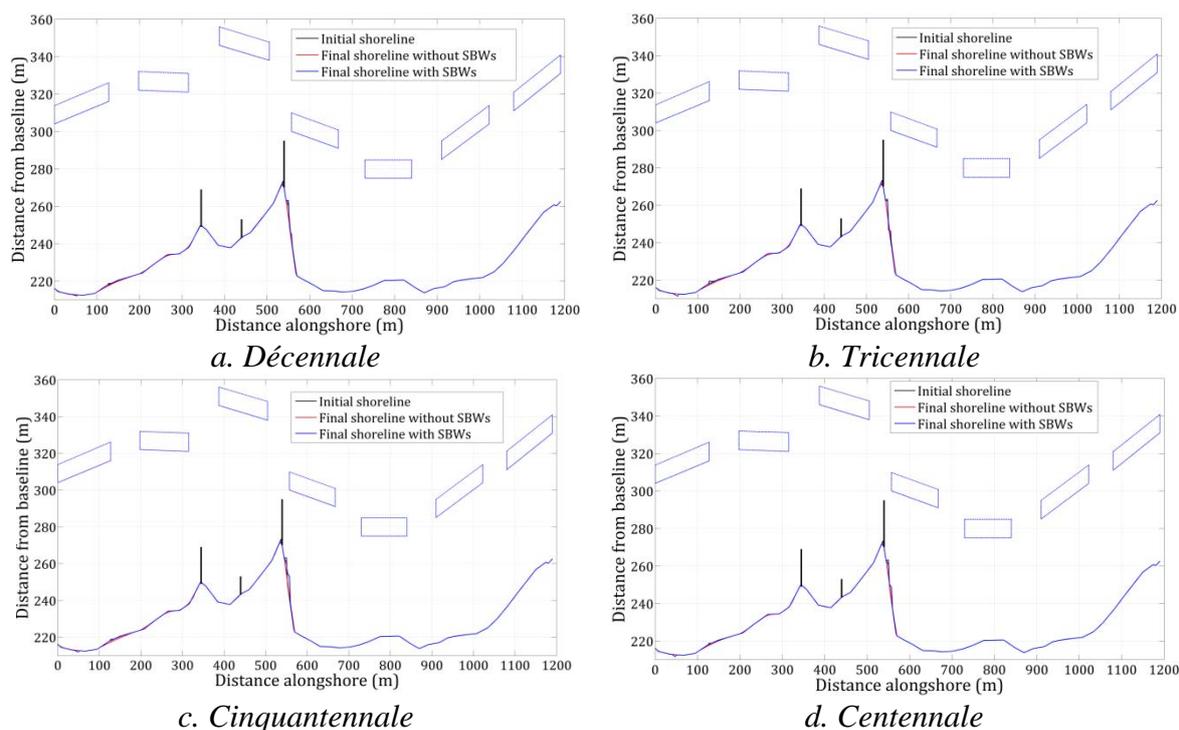


Figure 8. Trait de côte, plage de Bona, conditions de tempête, avec ou sans DSM.

On passe au cas cinquantennal avec la figure 8c. La zone la plus érodée sans DSM correspond à $100 < x < 300$, avec une perte locale maximale de -92 m². Le retrait maximal est de 1.5 m pour $x=150$ m. Une faible érosion est également observée au Nord des second et troisième épis. La perte totale est de -290.71 m² sans DSM (tableau 1). Il y a des zones accrétées de +76.5 m² aux pieds des épis. La perte érosive est réduite de 80% en présence de DSM (tableau 1). La côte progresse au droit des DSM, et un tombolo se crée toujours en aval du troisième épi, en $x=553$ m avec +4m. Il contribue à une hausse accrétive globale de 18.9%. Une érosion modérée persiste au pied du troisième épi, pour x entre 535 m et 550 m. Le dernier cas, centennal, est reporté sur la figure 8d. Une érosion modérée est prévue pour $100 < x < 300$, sans DSM, avec un retrait maximal de 1.2m pour $x=150$. Sans DSM, l'accrétion est de 63.3 m², et la perte érosive est de -281.6 m² (tableau 1). La tendance érosive est dominante en l'absence de DSM. Avec les DSM, le trait de côte a peu changé après l'épisode centennal, sauf au droit des interstices. Les courants de retour y génèrent de l'érosion, qui cependant diminue globalement de 85.2%. Un tombolo se forme au droit de la quatrième DSM, pour $552 < x < 560$ m.

Thème 1 – Hydrodynamique côtière

Tableau 1. Accrétion et érosion avec ou sans DSM, plage de Bona, selon divers scénarios.

| Scenario | Sans DSM | | Avec DSM | | Différence | |
|----------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|-------------|
| | Accrétion (m ²) | Erosion (m ²) | Accrétion (m ²) | Erosion (m ²) | Accrétion (%) | Erosion (%) |
| Hiver | 66.03 | -198.00 | 54.45 | -80.31 | 17.54 | 59.44 |
| Été | 18.30 | -134.26 | 4.90 | -19.58 | 73.20 | 85.41 |
| Décennale | 55.04 | -220.53 | 35.40 | -40.07 | 35.68 | 81.83 |
| Tricennale | 71.58 | -249.21 | 35.03 | -40.29 | 51.07 | 83.83 |
| Cinquantennale | 76.48 | -290.71 | 90.90 | -58.23 | -18.87 | 79.97 |
| Centennale | 63.30 | -281.56 | 41.01 | -41.70 | 35.21 | 85.19 |

5. Conclusions

Sur le site de Bona, l'implantation de DSM réduit très significativement les hauteurs de vagues quelles que soient les conditions marines envisagées. La réduction n'a pas seulement lieu au droit des DSM, mais également aux interstices. L'érosion persiste au droit des interstices mais est considérablement réduite. Sous l'effet des plus fortes tempêtes, l'efficacité des DSM à réduire les vagues est moindre. La présence des DSM diminue fortement le retrait de la côte, et participe à la stabilisation de la plage. Ils constituent donc une solution très efficace pour protéger durablement la plage de Bona.

6. Références

- CAPANNI R. (2011). *Étude et gestion intégrée des transferts sédimentaires dans le système Gapeau/rade d'Hyères*. Ph.D., Université Aix Marseille 1, 319 p.
- COURTAUD J. (2000). *Dynamiques geomorphologiques et risques littoraux. Cas du tombolo de Giens (Var, France méridionale)*. Ph.D., Université Aix-Marseille 1, 289 p.
- DHI (2014a). *Coastline evolution-LITLINE USER GUIDE*.
- DHI (2014b). *MIKE 21/3 Coupled Model FM*.
- KLIUCININKAITE L., AHRENDT K. (2011). *Modelling different artificial reefs in the coastline of Probstei*. RADOST journal series, report n°5, 191 p.
- SOGREAH (1988). *Etudes sédimentologiques de la rade de Hyères. Littoral de port Pothuau à la Badine*. Rapport, 68 p.
- VAN RIJN L.C., WALSTRA D.J.R., GRASMEIJER B., SUTHERLAND J., PAN S., SIERRA J.P. (2003). *The predictability of cross-shore bed evolution of sandy beaches at the time scale of storms and seasons using process-based profile models*. Coastal Engineering, Vol. 47(3), pp 295-327. [https://doi.org/10.1016/S0378-3839\(02\)00120-5](https://doi.org/10.1016/S0378-3839(02)00120-5)
- VU M.T., NGUYEN V.T., LACROIX Y. (2019). *Hydrodynamics and Sediment Transport Studies of the Nourishment of Ceinturon Beach, France*. 29th International Ocean and Polar Engineering Conference, Honolulu, Hawaii, USA.