

Observations in situ des états de mer depuis l'embouchure jusqu'à l'intérieur du Bassin d'Arcachon : mers de vent, houles et ondes infragravitaires

Alexandre NICOLAE LERMA ¹, Paul BAYLE ^{1,2}, Florian GANTHY ²,
Guillaume DETANDT ³, Arnaud LE PEVEDIC ^{2,3}, Aldo SOTTOLICHIO ³,
Cyril MALLET ¹, Nadia SENECHAL ³, Xavier BERTIN ⁴

1. Brgm Nouvelle-Aquitaine, Pessac, France.
a.nicolaelerma@brgm.fr
2. Ifremer, unité LER-AR, Arcachon, France.
3. UMR 5805 CNRS-EPOC, Université de Bordeaux, France.
4. UMR 7266 CNRS-LIENSs, La Rochelle Université, France.

Résumé :

Les embouchures tidales sont des environnements très dynamiques soumises à la fois aux forçages associés aux vagues, aux courants de marée et à l'hydrologie continentale. L'association de ces dynamiques rend la compréhension fine des processus hydro-sédimentaires et l'expression des aléas érosion ou submersion particulièrement complexes. Or, et de surcroît en conditions énergétiques lors de la période hivernale, il existe peu de données hydrodynamiques *in situ* du fait des complexités logistiques liées à l'étendue, à l'accessibilité, à la rapidité et l'ampleur des évolutions morpho-sédimentaires. Cette contribution détaille les données acquises dans le cadre du projet ARCADE, lors de deux campagnes de mesures long terme réalisées pendant les hivers 2021 et 2022. Les données de vagues, de courants et de marée ont été acquises de manière simultanée depuis le large jusqu'à l'intérieur du Bassin d'Arcachon. Ces jeux de données permettent d'améliorer les connaissances sur la complexité des processus associés à la propagation des vagues et leurs transformations du large vers l'intérieur de la lagune. Un effort particulier est mis ici sur la caractérisation des ondes infragravitaires (ondes longues allant de plusieurs dizaines de secondes à plusieurs minutes) depuis l'embouchure jusqu'au fond du Bassin et du clapot (ondes courtes générées localement dont les longueurs d'ondes sont inférieures à 4 s) dans le bassin lors de différentes conditions de forçage de vent, de marée et de houle au large.

Mots-clés :

Ondes infragravitaires, Clapot, Embouchure tidale, Submersion marine, Côte Aquitaine.

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

1. Introduction

Les embouchures tidales sont des zones de transition entre l’océan et un estuaire ou une lagune. Elles sont le lieu de dynamiques hydro-sédimentaires très complexes résultant d’interactions entre les courants de marée et les vagues combinées à la présence de chenaux et de bancs de sable peu profonds. Les embouchures et plus généralement l’intérieur des lagunes sont souvent aménagés et lieux de fortes activités économiques et balnéaires. Leurs topographies souvent proches du niveau moyen de la mer en font ainsi des espaces littoraux particulièrement vulnérables lors des tempêtes.

Pour autant, il existe de réelles lacunes d’observation des conditions hydrodynamiques dans ces environnements (BERTIN & OLABARRIETA, 2016), en particulier en conditions énergétiques hivernales. Les raisons sont principalement liées aux complexités logistiques du fait de l’étendue, de l’accessibilité, de la rapidité et l’ampleur des processus hydrodynamiques et morpho-sédimentaires. Au sein du Bassin d’Arcachon, du fait du peu d’observations *in situ*, de nombreuses questions scientifiques et techniques subsistent sur la compréhension des évolutions hydro-sédimentaires et l’expression des aléas érosion et submersion. Afin de pallier l’absence de mesure *in situ*, la modélisation numérique est régulièrement utilisée. Toutefois, les performances des modèles sont le plus souvent partiellement et insuffisamment évaluées. De plus, du fait de limitations techniques (type de modèle, tailles des domaines) et de la complexité des processus, les outils de modélisation s’avèrent encore limités pour l’étude des ondes aux deux extrémités du spectre de vague (ondes infragravitaires et clapot).

Afin de permettre une meilleure compréhension des processus associés à la propagation des houles du large vers l’intérieur des lagunes et à la génération de vague au sein des lagunes, ainsi que de permettre la mise en place et la validation de nouvelles approches de modélisation, deux campagnes d’observations *in situ* en conditions énergétiques modérées à intenses ont été réalisées dans le cadre du projet de recherche ARCADE. Cet article présente la campagne de mesures et la base de données acquise ainsi que les premiers résultats concernant l’analyse des ondes infragravitaires.

2. Site et méthode

Le Bassin d’Arcachon est une lagune tidale d’une dimension de 14x17 km, connectée à l’Océan Atlantique par l’intermédiaire d’une large embouchure de 3 km au niveau de son delta de flot et de 10,5 km au niveau de son delta de jusant. Il connaît de puissantes dynamiques liées au double forçage exercé par la houle (régime énergétique avec des moyennes annuelles à la bouée Cap Ferret de $H_s = 1.8$ m et $T_p = 11.5$ s et des moyennes lors du mois de janvier de $H_s = 2.4$ m et $T_p = 13$ s, (CASTELLE *et al.*, 2017)) et la marée avec des marnages meso-macro tidaux (compris entre 2.5 et 5 m selon les coefficients). L’embouchure est organisée autour de deux chenaux principaux et deux plateformes sableuses. La première est une plateforme intertidale dans le prolongement de la flèche du Cap Ferret, laissant émerger dans sa partie Sud-Est le banc du

Toulinguet. La seconde est celle du banc d'Arguin dont la partie émergée constitue une île de 5 km de long entre les deux chenaux (figure 1).

Si la partie interne du bassin est souvent perçue comme un milieu naturel relativement stable sur le long terme, l'embouchure est un espace aux morphologies éphémères, évoluant de manière sensible sur des échelles de temps variables de l'instant à la saison (CAYOCCA, 2001). Les évolutions morphologiques des passes et la connexion morpho-sédimentaire avec les littoraux adjacents répondent à des dynamiques auto-cycliques dont les périodicités sont variables dans le temps et selon les différents secteurs de l'embouchure (BURVINGT *et al.*, 2022). Afin de disposer d'une description de l'état morphologique du domaine d'étude, un modèle numérique bathymétrique d'une résolution spatiale de 10 m a été réalisé (figure 1b) à partir des données collectées par le SIBA sur la période en 2019 et 2020 pour la partie interne, et par la DDTM33 lors du printemps 2020 pour le secteur de l'embouchure. Ce modèle est le premier issu de levés par sondeur bathymétrique quasi-synchrone (sur une période de 1 an, nécessaire à la couverture du domaine à haute résolution).

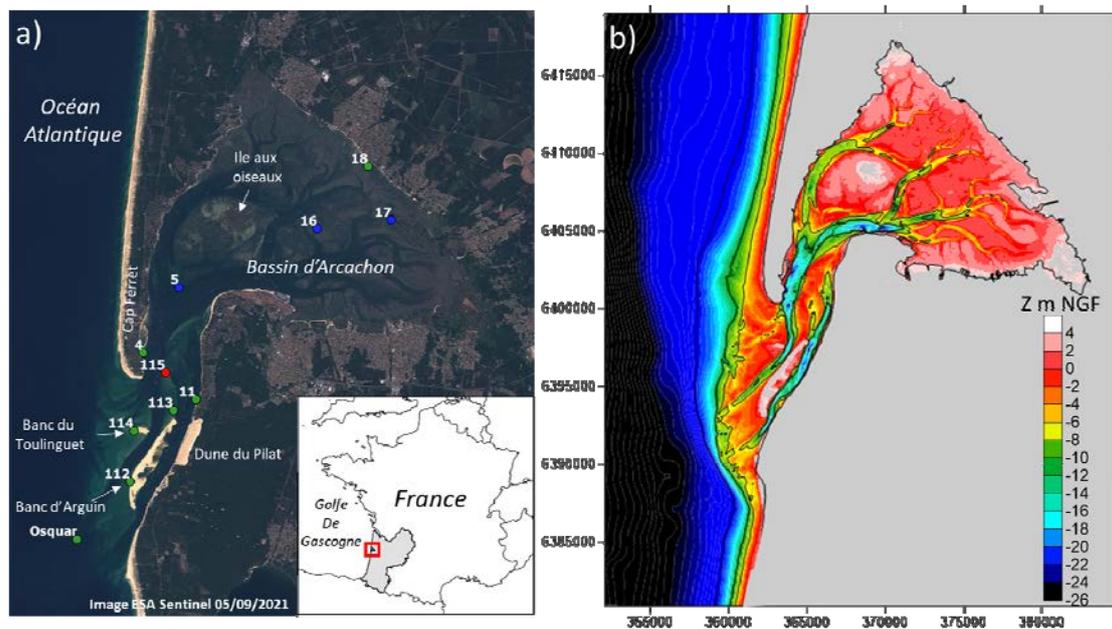


Figure 1. a) Carte du Bassin d'Arcachon avec localisation des points de mesure réalisés lors des campagnes 2021 et 2022 (en vert), uniquement en 2021 (en bleu) et uniquement en 2022 (en rouge). b) Modèle numérique bathymétrique, réalisé à partir de données acquises en 2019 et 2020 (lagune) et 2020 (passes).

Dans le but de caractériser les processus hydrodynamiques (niveaux d'eau, courants, surface libre) sur l'embouchure et l'ensemble de la lagune, deux campagnes de mesure longue durée ont été menées lors des hivers 2021 et 2022. Les fenêtres temporelles de mesure s'étendent sur une durée de 1,5 mois en 2021 et 1 mois en 2022 afin de disposer

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

au minimum d'un cycle de marée mortes-vives eaux. Les conditions de houles moyennes au large durant les deux périodes sont similaires avec $Hm0 = 2.3$ et 2.4 m et $Tp = 12.7$ et 12.5 s respectivement en 2021 et 2022 (figure 2 et tableau 1). Outre des conditions hivernales moyennes classiques, un événement de tempête caractérisé par des $Hm0$ max de 5.5 m et des périodes pics de 20 s a été observé en mars 2021. Lors de la campagne 2022, un groupe de 3 tempêtes en 7 jours a été observé avec pour chacune des $Hm0$ max supérieurs à 4.5 m et des périodes pics entre 15 et 18 s.

Les mesures ont été réalisées à partir de 9 (en 2021) et 8 (en 2022) instruments (figure 2) selon deux modalités : des mesures sur l'ensemble de la période et une intensification du nombre de points de mesure lors des périodes de plus fortes houles.

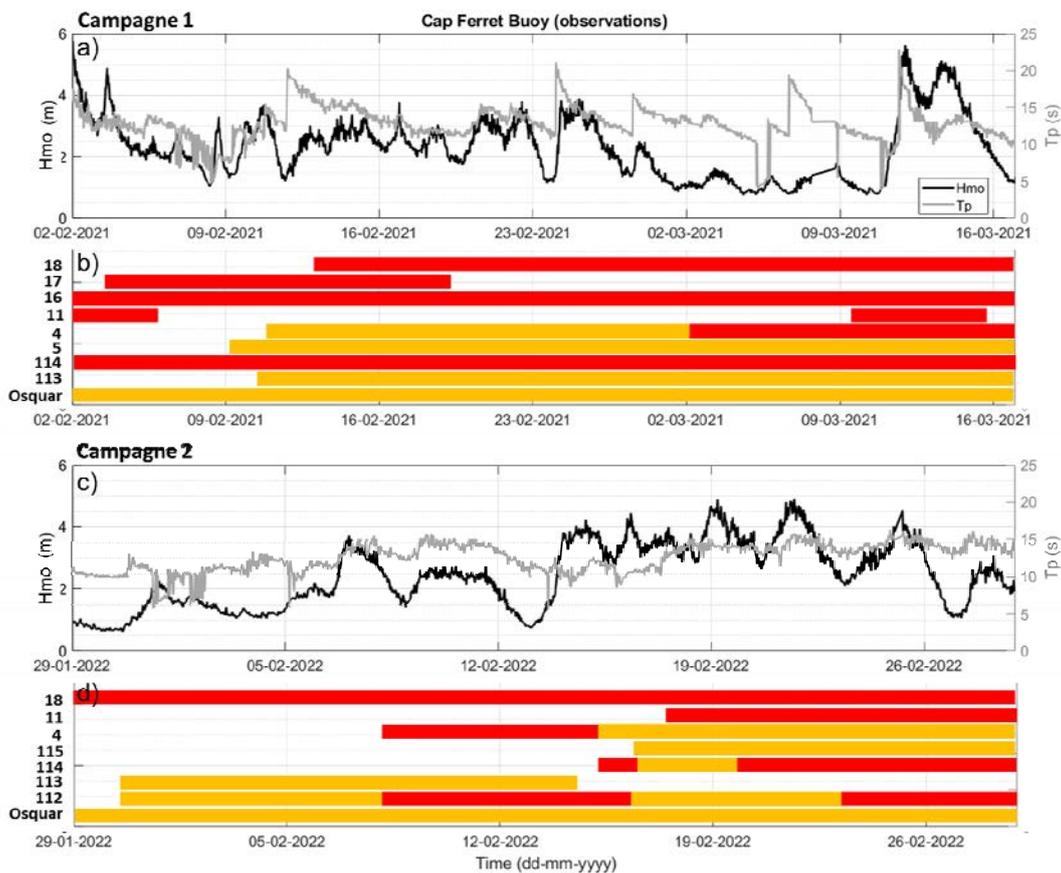


Figure 2. Séries temporelles de $Hm0$ et Tp au large (bouée Cap Ferret) lors des campagnes de mesures a) et c), périodes d'acquisition de données et type de mesures b) et d) : courant et pression (jaune), pression (rouge).

Le parc matériel est constitué (i) de Pressure Transducer (PT) de type RBR soloD et Wave, permettant respectivement des acquisitions en continu à 2 et 4 Hz, (ii) d'Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP) de type RDI Sentinel et Nortek AWAC, Signature et Aquadopp, équipés ou non d'un Acoustic Surface Tracking (AST), réalisant des

acquisitions continues ou par séquence, (iii) d'Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) de type Nortek Vector réalisant des acquisitions en séquence (figure 3).

Tableau 1. Conditions au large (bouée Cap Ferret) lors des campagnes de mesures.

Campagne	Hm0 (m)	Tp (s)	Dp (°N)	Etal (°)
<i>Campagne 2021</i>				
<i>Moyenne</i>	2.3	12.7	285.7	16.5
<i>Min</i>	0.8	4	232.4	8.5
<i>Max</i>	5.8	23	352.1	31.9
<i>Campagne 2022</i>				
<i>Moyenne</i>	2.4	12.5	294.7	16.5
<i>Min</i>	0.6	5.7	217.8	9.7
<i>Max</i>	4.9	16.3	325.3	30.5

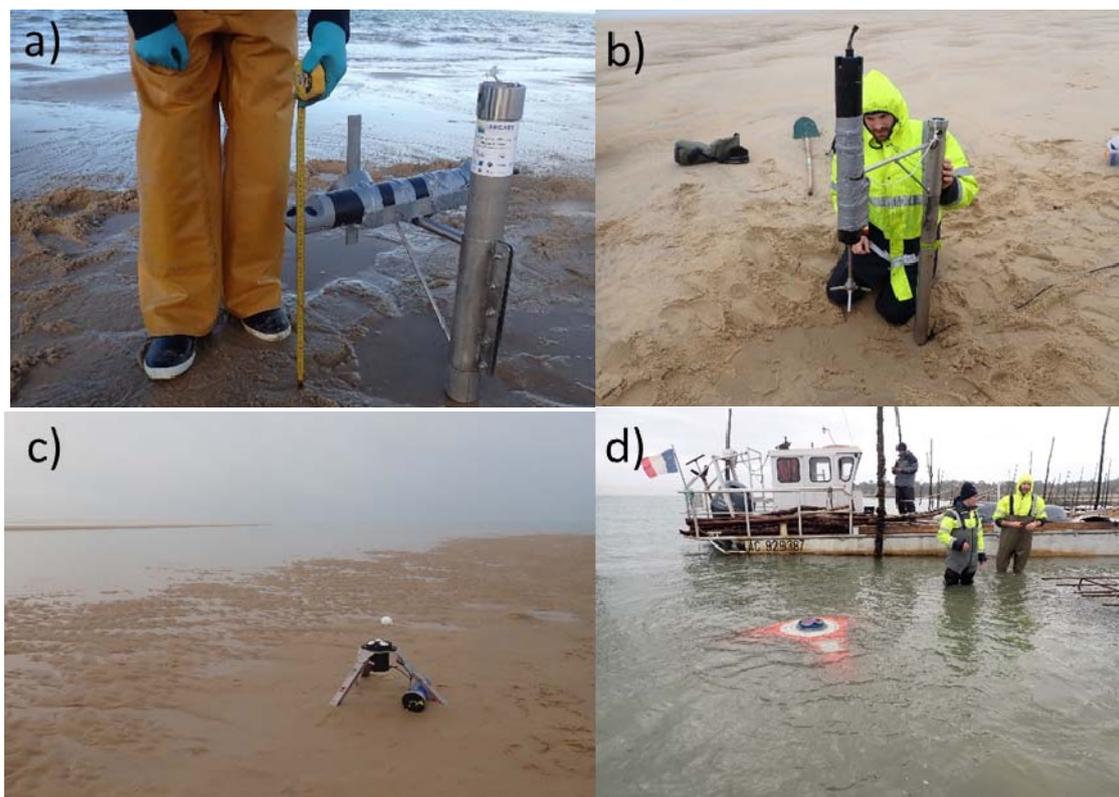


Figure 3. Implantation de points de mesures : a) ADCP (Aquadopp) et PT au point d'observation 112 ; b) ADV au point 114 ; c) ADCP (Signature) au point 113, d) ADCP (Sentinel) au point 4.

3. Résultats

3.1 Caractérisation des ondes infragravitaires

Les acquisitions ont permis d'identifier pour la première fois l'amplitude des ondes infragravitaires et les interactions entre courants et vagues aux différents moments de la marée, depuis l'embouchure jusqu'au fond du Bassin.

La figure 4a permet d'observer $Hm0$ pour la composante gravitaire (noté SW pour Short Wave) correspondant à des fréquences comprises entre $0.5 \cdot fp$ (avec fp mesurée au large) et 1 Hz par fenêtre de 30 min. Pour la composante des ondes infragravitaire (noté IG, figure 4b) $Hm0$ correspond aux ondes de fréquences inférieures à $0.5 \cdot fp$. Lors du passage du groupe de tempête de février 2022, on constate que pour des $Hm0$ de l'ordre de 4,5 m et de période 15-16 s au large (figure 2), les valeurs de $Hm0, SW$ sont de l'ordre de 0,8 m à 1,5 m (points 112 et 114) et sont réduites à des valeurs inférieures à 0,5 m à l'intérieur de la lagune (points 4 et 18). Les valeurs de $Hm0, IG$ sont globalement comprises entre 0.5 et 1 m (jusqu'à 1,2 m) au niveau de la partie externe de l'embouchure (point 112 et 114) et de l'ordre de 0,4 m sur la côte dans la partie interne de l'embouchure (point 11 et 4). Des ondes infragravitaires résiduelles de l'ordre de quelques centimètres persistent au fond du Bassin (point 18). On note que les valeurs de $Hm0, IG$ sont comparables sur le littoral le plus exposé aux vagues (point 11) et sur la partie interne de la flèche du Cap Ferret (point 4). En revanche, au niveau de ce dernier point et à la différence du point 11, on constate que les ondes infragravitaires mesurées sont de magnitudes égales ou supérieures aux ondes gravitaires, suggérant que lors des tempêtes les processus hydro-sédimentaires peuvent être contrôlés au premier ordre par les ondes infragravitaires.

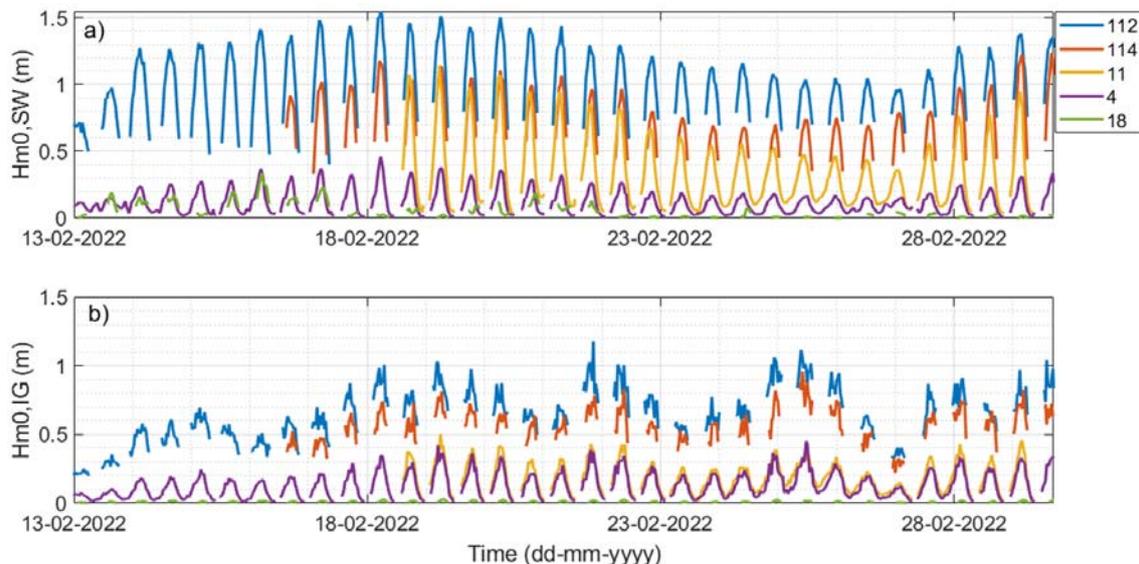


Figure 4. Composante gravitaire $Hm0, SW$ a) et infragravitaire $Hm0, IG$ b) des vagues au points 112, 114, 11, 4 et 18.

Par ailleurs, au sein de l'embouchure en général, les ondes infragravitaires sont de nature à surpasser la contribution à la côte d'autres processus influant sur le niveau d'eau tels que la surcote atmosphérique lors de tempête moyenne ou la surélévation liée au déferlement des vagues (*wave setup*), même pour des conditions de houles extrêmes (LAVAUD *et al.*, 2020).

4. Conclusions

Les données acquises dans le cadre des campagnes de mesures du projet ARCADE permettent de disposer d'une base de données d'observations *in situ* en conditions hivernales modérées à intenses. Cette base de données est constituée d'enregistrements haute fréquence, continus et synchronisés de niveaux d'eau, de surface libre et de courants, au niveau d'une dizaine de points de mesures dans les différents secteurs du Bassin d'Arcachon (au large, dans l'embouchure, dans la lagune). Associé à ces mesures hydrodynamiques, un modèle numérique de bathymétrie actualisé, couvrant l'ensemble du bassin d'Arcachon a été réalisé. Cette base de données offre l'opportunité d'adresser de nombreuses nouvelles questions scientifiques à la fois relatives aux processus hydro-sédimentaires peu ou encore non étudiés au sein du bassin d'Arcachon et aux risques d'érosion et de submersion, au sein des environnements meso-macrotidaux semi-fermés. Elle permet notamment ici de présenter la première caractérisation de l'amplitude des ondes infragravitaires de l'embouchure externe à l'intérieur du Bassin. Enfin, elle constitue une ressource adaptée pour permettre la mise en place et la validation de différents types de modèles hydrodynamiques sur le périmètre du Bassin d'Arcachon.

5. Références bibliographiques

- BERTIN X., OLABARRIETA M. (2016). *Relevance of infragravity waves in a wave-dominated inlet*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 121(8), 5418-5435. <https://doi.org/10.1002/2015JC011444>
- BURVINGT O., NICOLAE LERMA A., LUBAC B., MALLET C., SENECHAL N. (2022). *Geomorphological control of sandy beaches and dunes alongside a mixed-energy tidal inlet*. Mar. Geol., 450, 106863. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2022.106863>
- CASTELLE B., DODET G., MASSELINK G., SCOTT T. (2017). *A new climate index controlling winter wave activity along the Atlantic coast of Europe: The West Europe Pressure Anomaly*. Geophysical Research Letters, 44, 1384-1392. <https://doi.org/10.1002/2016GL072379>
- CAYOCCA F. (2001). *Long-term morphological modeling of a tidal inlet: the Arcachon Basin, France*. Coastal Engineering, 42(2), 115-142. [https://doi.org/10.1016/S0378-3839\(00\)00053-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3839(00)00053-3)

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

LAVAUD L., BERTIN X., MARTINS K., ARNAUD G., BOUIN M. N. (2020). *The contribution of short-wave breaking to storm surges: The case Klaus in the Southern Bay of Biscay*. *Ocean Modelling*, 156, 101710. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2020.101710>