



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès immédiat


Rapport expertise : Avis technique sur le phénomène de submersion marine du port de Bonifacio (Corse-du-Sud) le 28 juin

Rapport final
BRGM/RP-71994-FR

Version 3 du 8 juillet 2022

Expertise réalisée dans le cadre de l'assistance scientifique et technique du BRGM à la DDT2A

Anne-Eléonore Paquier, Klervi Hamon-Kerivel

Vérificateur :	
Nom :	BALOUIN, Y.
Fonction :	Expert Littoral
Date :	06/07/2022
Signature :	

Approbateur :	
Nom :	REY A.
Fonction :	Directeur régional BRGM Corse
Date :	11/07/2022
Signature :	

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr

Déclaration

Ce rapport est le produit d'une expertise institutionnelle qui engage la responsabilité civile du BRGM. Il constitue un tout indissociable et complet ; une exploitation partielle ou sortie du contexte particulier de l'expertise n'engage pas la responsabilité du BRGM.

La diffusion des rapports publics est soumise aux conditions de communicabilité des documents, définie en accord avec le demandeur. Aucune diffusion du présent document vers des tiers identifiés ne sera volontairement engagée par le BRGM sans notification explicite du demandeur.

Le BRGM a mis en place un dispositif de déontologie visant à développer une culture de l'intégrité et de la responsabilité dans le quotidien de tous ses salariés.

- Après examen, il ressort qu'il n'existe aucun lien d'intérêt susceptible de compromettre l'indépendance et l'impartialité du BRGM dans la réalisation de cette expertise :
 - entre le BRGM et l'objet ou les différentes parties prenantes de la présente expertise ;
 - entre les salariés du BRGM qui seront impliqués et l'objet ou les différentes parties prenantes de la présente expertise.

- Après examen, il ressort qu'il existe un lien d'intérêt entre le BRGM et l'objet ou l'une des parties prenantes de la présente expertise (cf. déclaration de lien d'intérêt en annexe).

Cependant, le BRGM atteste, grâce à la mise en place de son SMQE et de son dispositif de déontologie, que la réalisation de la présente expertise n'est en rien influencée par le lien d'intérêt identifié.

Le BRGM confie la réalisation de cette expertise à des salariés qui n'ont, à titre individuel, aucun lien d'intérêt avec l'objet ou l'une des parties prenantes de la présente expertise, de façon à en préserver l'indépendance et l'impartialité.

- Le BRGM confie la réalisation de cette expertise à des salariés qui présentent un lien d'intérêt déclaré (cf. déclaration de lien d'intérêt jointe en annexe) avec l'objet ou l'une des parties prenantes de la présente expertise et atteste que l'existence de ce(s) lien(s) ne présente aucun risque de compromettre leur neutralité.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctq> ou par ce code :



Mots clés : Expertise, Appuis aux administrations, Submersion marine, Bonifacio, Corse-du-Sud

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Anne-Eléonore Paquier, Klervi Hamon-Kerivel (2022) – Rapport expertise :
Avis technique sur le phénomène de submersion marine du port de Bonifacio (Corse-du-Sud) le 28 juin 2022. Rapport final V3. BRGM/RP-71994-FR, 25 p., 11 Fig.

© BRGM, 2022, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
IM002_ENV-MT030-P2-24/03/2022

Synthèse

Le port de Bonifacio est situé au fond du goulet de Bonifacio. Le goulet est un couloir d'environ 1,5 km de longueur globalement orienté selon un axe Est-Ouest et large de 260 m au niveau l'entrée (ouverte vers le Sud-Ouest), se rétrécissant à 130 m de largeur environ au niveau des premiers aménagements portuaires.

Le BRGM a été contacté par la DDT2A pour réaliser un diagnostic du phénomène de submersion marine d'une partie du quai Banda del Ferro du port de Bonifacio, qui a eu lieu le 28 juin 2022 entre 11h30 et 12h30. Ce diagnostic s'appuie sur des témoignages étayés par une analyse des informations disponibles menée au travers de la consultation des bases de données accessibles.

Des échanges avec la capitainerie et les services techniques de Bonifacio ainsi que les publications Twitter de cette dernière nous ont permis de définir une chronologie des événements assez précise. Depuis 10h du matin le 28 juin 2022, des oscillations du plan d'eau atteignant une amplitude d'1,5 m en hauteur se sont propagées à travers le port et auraient eu une période de 2 minutes environ. Entre 11h30 et 12h30, un niveau d'eau plus élevé a dépassé le niveau du quai Banda del Ferro (Quai Sud) et l'a submergé partiellement.

Il semblerait que ce phénomène se soit produit du fait de la combinaison de la géomorphologie du goulet, et de la probable entrée en résonance d'oscillations de pression atmosphérique avec une onde de seiche d'approximativement 1,5 m de hauteur et 2 minutes de fréquence. Les vagues et le vent ne semblent pas avoir d'influence spécifique sur cette submersion.

Avec deux événements de submersion de ce type en 13 mois (mai 2021 et juin 2022), il est désormais nécessaire de mener une étude plus approfondie pour comprendre les différents processus impliqués et leurs interactions. Cela pourra permettre de définir les processus de contrôle de ce type d'événements et donc, de mieux pouvoir les anticiper.

Sommaire

1. Introduction	7
2. Contexte général	8
2.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIE.....	8
2.1.1. Contexte géographique	8
2.1.2. Géomorphologie du goulet de Bonifacio	8
2.2. HISTORIQUE	11
2.2.1. Cartographie des zones basses à Bonifacio	11
2.2.2. État des connaissances sur d'autres phénomènes de submersion à Bonifacio	12
2.2.3. Informations générales collectées auprès des différents acteurs du territoire	13
3. Constat.....	14
4. Diagnostic.....	17
4.1. CONDITIONS MÉTÉO-MARINES LE 28 JUIN 2022.....	17
4.2. INTERPRÉTATION ET HYPOTHÈSES	21
4.2.1. Génération de l'onde de seiche	21
4.2.2. Génération de la submersion.....	22
5. Risques résiduels.....	23
6. Conclusion et recommandations	24
6.1. COMPARAISON AVEC L'ÉVÈNEMENT DU 24 MAI 2021	24
6.2. CONCLUSION	24
6.3. RECOMMANDATIONS	24

Liste des figures

Figure 1 :	Localisation de la zone concernée par la submersion marine. Seul le quai Sud a été touché (scan25® IGN2012, et BD Ortho® IGN2016).	8
Figure 2 :	Géomorphologie du goulet de Bonifacio. Avec en haut la carte bathymétrique de la zone et en bas le profil correspondant. LITTO3D 2019. SHOM/IGN.....	10
Figure 3 :	Extrait de la carte des zones basses potentiellement exposées aux submersions marines pour un évènement centennal sur le site du goulet de Bonifacio (Mugica et al., 2020).	12
Figure 4 :	Chronologie des événements. En orange, la période d'oscillation importante du niveau de l'eau ; en rouge, la période de débordement dont la durée est inconnue et en vert, le moment de retour à la normale.....	15
Figure 5 :	Niveau d'eau mesurés (en m NGF) à Centuri, Ile Rousse, Ajaccio et Solenzara du 27 au 29 Juin 2022. Source : Data Shom. Le rectangle rouge met en évidence les données récoltées le matin de l'évènement de submersion.....	17
Figure 6 :	Niveau d'eau (en m par rapport au zéro NGF) mesurés à Centuri, Ile Rousse, Ajaccio et Solenzara durant la matinée du 28 juin 2022. Source : Data Shom.	18
Figure 7 :	Hauteur (à droite) et période (à gauche) des vagues le 28/06/2022 à 11H, heure locale. (MARC - Ifremer- Modèle de vagues: WW3).....	18
Figure 8 :	Données mesurées à la bouée d'Alghero (RON-ISPRA) (hauteur significative, période de pic, direction moyenne et pression atmosphérique au niveau de la mer).	19
Figure 9 :	Observations des conditions de vent au Cap Pertusato le 28 juin 2022 (données en heure locale) (www.infoclimat.fr).	20
Figure 10 :	Observation de la pression atmosphérique au Cap Pertusato le 28 juin 2022 en heure locale (www.meteociel.fr).	20
Figure 11 :	Carte des fronts pour l'europe de Ouest à 8h00 (à droite) et 14h00 (à gauche) le 28 juin 2022 en heure locale (www.meteociel.fr).	21

1. Introduction

La DDT de Corse-du-Sud (DDT2A) a sollicité le 29 juin 2022, le BRGM en Corse pour réaliser un diagnostic du phénomène de submersion marine, constaté la veille, le 28 juin 2022 dans le port de Bonifacio. Les objectifs de la mission sont les suivants :

- identifier si possible la cause de la submersion marine ;
- évaluer le niveau de risques résiduels ;
- émettre des recommandations pour le suivi et l'amélioration des connaissances de ce type de phénomène.

Ce diagnostic s'appuie sur des témoignages (revue de presse et échanges avec la capitainerie du port de Bonifacio, de Centuri, d'Ajaccio Nino Rossi et Ajaccio Charles Ornano et les services techniques de la mairie de Bonifacio) complétés par une analyse des informations disponibles menée au travers de la consultation des bases de données accessibles.

Le phénomène a également fait l'objet d'une note de retour d'expérience par la mairie de Bonifacio étayée d'informations transmises par la société PREDICT¹.

L'expertise s'inscrit dans le cadre de l'assistance scientifique et technique menée par le BRGM auprès de la DDT de la Corse-du-Sud dans sa politique de prévention des risques naturels.

Il est à noter qu'un phénomène du même type a déjà fait l'objet d'une expertise produite par le BRGM en 2021 (événement de submersion du 24 mai 2021, rapport BRGM RP-70906-FR²). Ils sont tous deux à dissocier des phénomènes de submersion pouvant arriver à Bonifacio en cas de marée d'équinoxe. Une comparaison des deux événements sera menée dans le cadre de la présente étude.

Ce rapport d'expertise ne constitue pas une étude du risque de submersion marine de détail mais pointe les probables causes pouvant porter atteinte à la sécurité des personnes en particulier et des biens à proximité du site expertisé. Il vise également à apporter les premières recommandations en matière de suivi et d'amélioration des connaissances de ce type de phénomène afin d'évaluer les risques dans un second temps, dans le cadre d'études complémentaires spécifiques.

¹ RETEX du 28.06.2022 transmis par la mairie de Bonifacio.

² Mugica, Julie ; Balouin, Yann ; Hamon Kerivel, K. (2021) - Rapport d'expertise : Avis technique sur le phénomène de submersion marine du port de Bonifacio (Corse-du-Sud) le 24 mai 2021. BRGM/RP-70906-FR, 26 p., 1 ann.

2. Contexte général

2.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIE

2.1.1. Contexte géographique

L'évènement de type submersion marine s'est produit le 28 juin 2022 sur la commune Bonifacio au niveau du port (Figure 1).

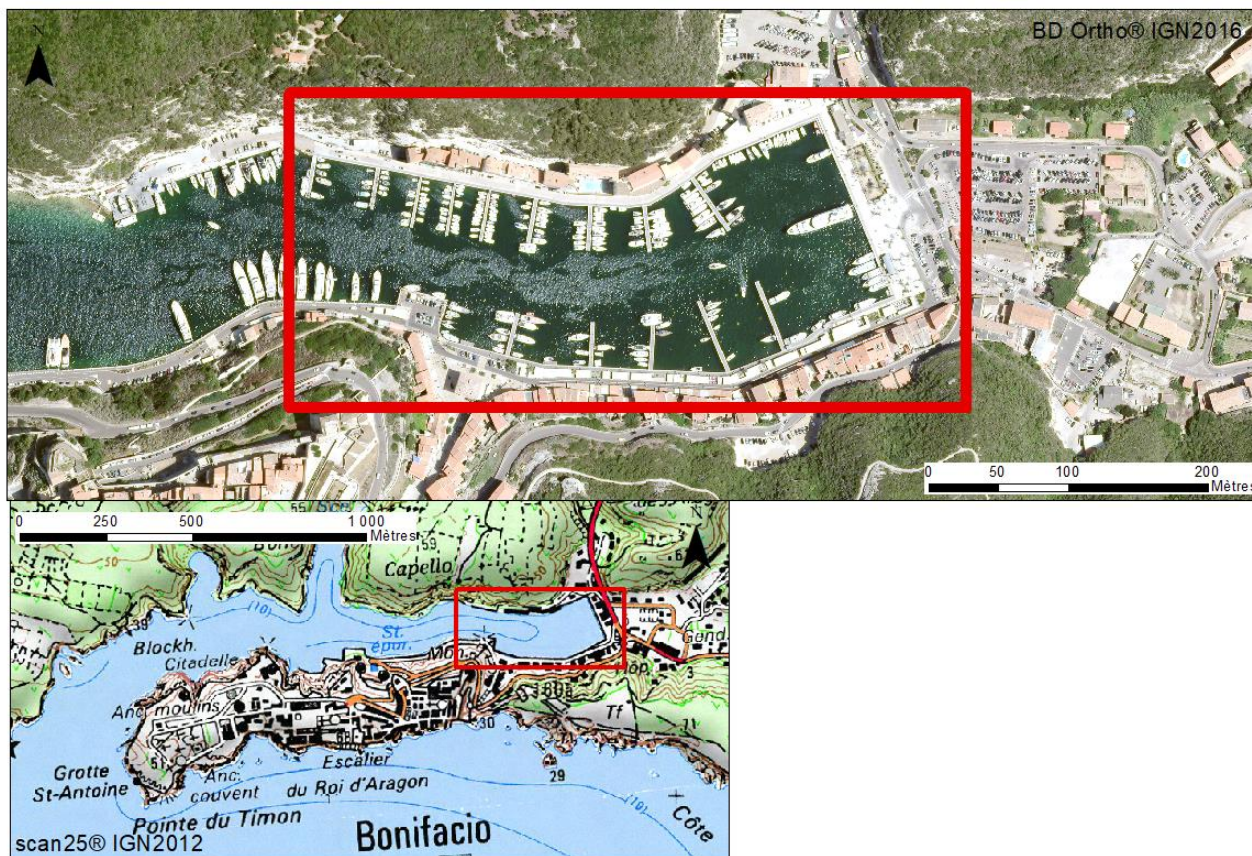


Figure 1 : Localisation de la zone concernée par la submersion marine. Seul le quai Sud a été touché (scan25® IGN2012, et BD Ortho® IGN2016).

Le port de Bonifacio est situé au fond du goulet de Bonifacio. Le goulet est un couloir d'environ 1.5 km de longueur globalement orienté selon un axe Est-Ouest et large de 260 m au niveau l'entrée (ouverte vers le Sud-Ouest), se rétrécissant à 130 m de largeur environ au niveau des premiers aménagements portuaires.

2.1.2. Géomorphologie du goulet de Bonifacio

La Figure 2 présente la géomorphologie (carte et profil) de la zone avec, au niveau de l'entrée du goulet (entre A et B), une forte pente suivie d'une zone peu profonde (entre -10 et -15 m) large de 200 m environ. Entre B et C, le goulet s'approfondit atteignant une profondeur supérieure à 20 m. Enfin, à partir de C qui marque aussi le commencement des infrastructures portuaires, la profondeur diminue progressivement (pente faible) jusqu'à moins -5 m (profondeur du port en fond de goulet).

Le goulet forme donc une cuvette semi-fermée pouvant potentiellement provoquer la génération d'ondes longues comme cela a pu être observé en arrière de récifs coralliens (Localetti *et al.*, 2017³), en arrière de récifs de Posidonie (Paquier *et al.*, 2018⁴) ou plus couramment dans des espaces portuaires (Arduin *et al.*, 2010⁵).

D'autres études ont montré que dans ce type de bassin semi-fermé, le vent pouvait éventuellement générer une pente importante de la surface de l'eau appelée marée de vent qui génère une remontée du niveau de l'eau d'un côté du bassin (Paugam *et al.*, 2021⁶).

³ Localetti F., Sous D., Rey V., Chevalier C., Bouchette F., Touboul J., Devenon J.L. (2017). Wave transformation over the Ouano reef barrier, New Caledonia. Coastal Dynamics 2017, Jun 2017, Helsingor, Denmark. Proceedings of Coastal Dynamics 2017.

⁴ Paquier, A.E., Meulé, S., Sous, D., Rouanet, E., Goujard, A., Le Diréach, L., Larroudé, P., Oudart, T., 2018b. Comprendre le rôle des récifs barrière à *Posidonia oceanica* dans l'atténuation de l'hydrodynamique: Programme CANOPé, XVIèmes JNGCGC, La Rochelle, 29-31 Mai 2018, <https://doi.org/10.5150/jngcgc.2018.014>

⁵ Fabrice ARDHUIN, Emmanuel DEVAUX, Lucia PINEAU-GUILLOU Observation et prévision des seiches sur la côte Atlantique française (pp. 1-8) - DOI:10.5150/jngcgc.2010.001-A

⁶ Paugam, C.; Sous, D.; Rey, V.; Meulé, S.; Faure, V.; Boutron, O.; Luna-Laurent, E.; Migne, E. Wind Tides and Surface Friction Coefficient in Semi-Enclosed Shallow Lagoons. Estuar. Coast. Shelf Sci. 2021, 257, 107406, doi:10.1016/j.ecss.2021.107406.

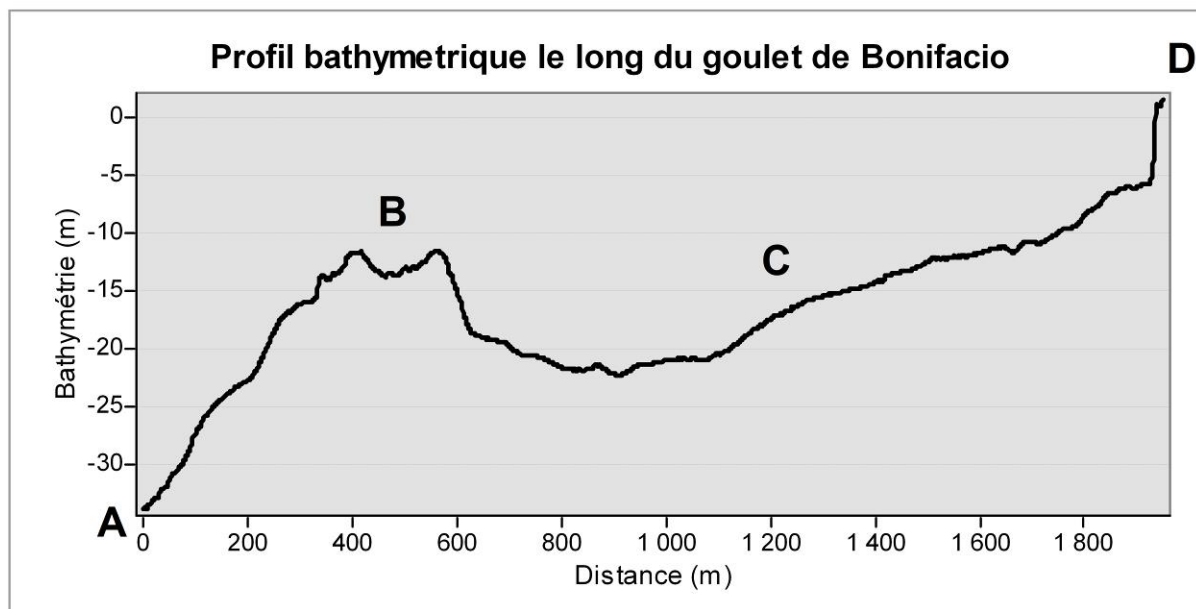
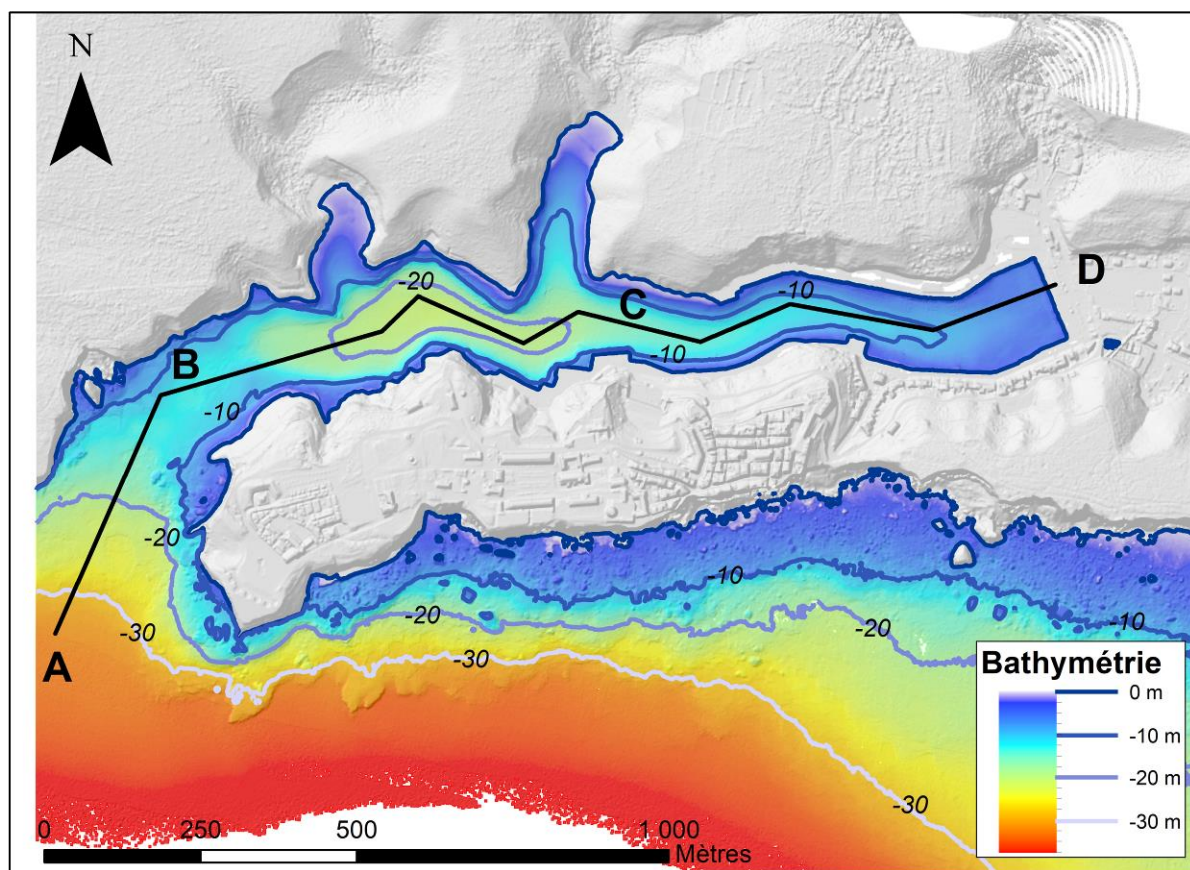


Figure 2 : Géomorphologie du goulet de Bonifacio. Avec en haut la carte bathymétrique de la zone et en bas le profil correspondant. LITTO3D 2019. SHOM/IGN.

2.2. HISTORIQUE

2.2.1. Cartographie des zones basses à Bonifacio

La base de données nationale sur les inondations (www.georisques.gouv.fr), gérée par le BRGM pour le compte du Ministère de la Transition Ecologique (MTE), **ne mentionne pas d'évènement d'inondation par submersion marine sur le territoire communal de Bonifacio ou au voisinage dans des contextes similaires**. De même, l'approche historique réalisée par le BRGM dans le cadre de l'étude pour la DDT2A relative à l'estimation des zones basses potentiellement exposées aux submersions marines (ZBPESM), **n'a pas mis en évidence d'évènement similaire dans le goulet de Bonifacio** (Mugica et al., 2020⁷).

La cartographie des ZBPESM est une actualisation de l'Atlas des Zones Submersibles (AZS, 2014⁸) prenant en compte les caractéristiques géomorphologiques et météo-marines de la Corse. Il s'agit d'une approche dite « statique », c'est-à-dire que la dynamique de la submersion marine n'est ni estimée ni représentée, mais elle fournit les emprises et hauteurs d'eau potentielles lors de submersion marine générée par un évènement météo-marin centennal (Figure 3). **Compte tenu de la configuration encaissée de la marine de Bonifacio, l'emprise potentielle d'une submersion marine reste relativement limitée aux premiers mètres du littoral pour l'évènement « actuel »** (rouge + bleu) et s'étend au niveau des parkings pour l'évènement « 2100 » (rouge + bleu + vert, Figure 3).

⁷ Mugica J., Louisor J., Maspataud A., Pedreros R., Koechler F. (2020) – Caractérisation des zones basses potentiellement exposées aux submersions marines en Corse-du-Sud. Communes d'Osani à Bonifacio et communes de Conca et Sari-Solenzara. Rapport final, BRGM/RP-69376-FR, 200 p., 91 fig., 4 tabl., 6ann., 1CD.

⁸ L'Atlas des Zones Submersibles (AZS) a été réalisé en 2014 au 1/10 000^{ème} par la DREAL de Corse et la DDTM de Corse-du-Sud. Il s'agit d'une première estimation basée sur un niveau marin de référence unique (2m/NGF) pour l'ensemble du littoral méditerranéen français, calculé par le CEREMA en 2013.

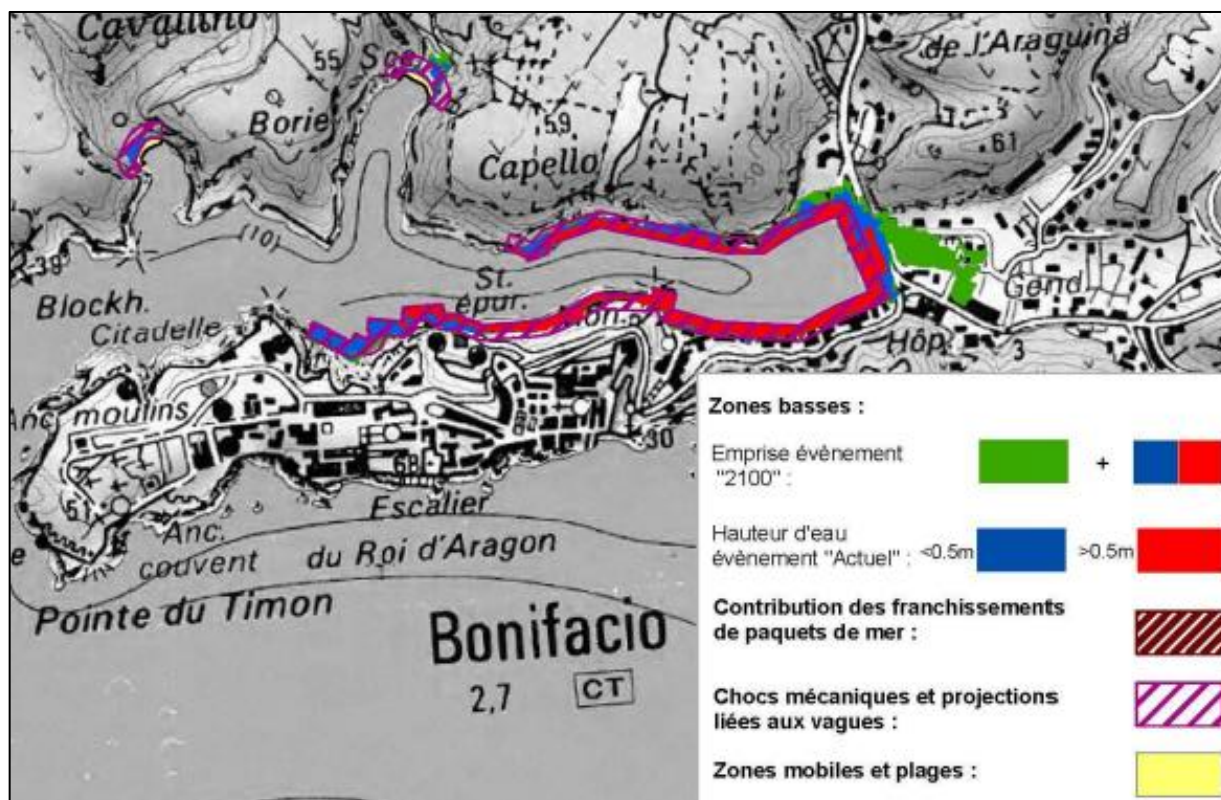


Figure 3 : Extrait de la carte des zones basses potentiellement exposées aux submersions marines pour un événement centennal sur le site du goulet de Bonifacio (Mugica et al., 2020).

Il n'existe pas de Plan de Prévention des Risques Littoraux liés à des submersions marines, mais un porter à connaissance de l'atlas des zones submersibles sur les communes littorales de Corse-du-Sud, et notamment sur le territoire communal concerné de Bonifacio, a été établi et transmis par le Préfet de la Corse-du-Sud le 17 janvier 2022. Ce porter à connaissance s'appuie sur le récent rapport du BRGM cité précédemment (Mugica et al., 2020, extrait cartographique en Figure 3).

2.2.2. État des connaissances sur d'autres phénomènes de submersion à Bonifacio

Un événement de submersion marine similaire à celui du 28 juin 2022 a été observé le 24 mai 2021.

Après consultation de la base de donnée GASPARD disponible sur la plateforme Géorisques (www.georisques.gouv.fr), la commune n'a pas fait l'objet, à ce jour, d'arrêté de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour des phénomènes similaires à celui observé le 28 juin 2022, bien qu'une demande (refusée⁹) ait été déposée pour un phénomène de submersion marine survenue le 24 mai 2022.

⁹ Ce refus a été justifié par le fait que « L'intensité anormale du phénomène n'est pas caractérisée au regard de la situation météorologique, de la houle et du niveau marin lors de l'évènement. La survenue du phénomène a été favorisée par la configuration du port de Bonifacio. » (arrêté du 30 mai 2022 portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle).

L'événement de submersion marine observé le 24 mai 2021 a fait l'objet d'un avis technique émis par le BRGM pour la DDTM2A (rapport BRGM RP-70906-FR¹⁰). **Les conclusions indiquent que la cause de la submersion de mai 2021 est un phénomène de type seiche généré par une chute brutale de la pression atmosphérique** suffisamment importante pour engendrer une petite vague qui aurait ensuite été amplifiée par la géométrie du goulet et du port résultant en un phénomène oscillatoire à période longue au niveau du plan d'eau jusqu'au débordement.

2.2.3. Informations générales collectées auprès des différents acteurs du territoire

Un certain nombre de témoignages ont été collectés dans le cadre de cette étude (échanges avec la capitainerie du port de Bonifacio, d'Ajaccio Nino Rossi et Ajaccio Charles Ornano et les services techniques de la mairie de Bonifacio). Les informations portées dans les prochains paragraphes sont d'ordre général. Les informations spécifiques à l'événement du 28 juin 2022 seront citées dans la partie 3. Constat.

a) Capitainerie de Bonifacio

L'adjoint du directeur de la Capitainerie de Bonifacio a été joint par téléphone le 29 juin 2022 au matin. Il nous a affirmé avoir observé à de nombreuses reprises des phénomènes d'oscillation du niveau d'eau dans le port de Bonifacio. Cependant, c'était seulement la seconde fois que ces oscillations généraient effectivement une submersion (la première étant le 24 mai 2021). Il nous a également fait part d'un besoin de prévision de ce type d'événement.

b) Direction des services techniques de la mairie de Bonifacio

La directrice des services techniques de la mairie de Bonifacio nous a fourni une note de retour d'expérience au sujet de la seiche du 28 juin dès le 29 juin. Elle a également été jointe par téléphone le 01 juillet 2022 et nous a appris que des événements de submersion ont été observés par le passé durant les grandes marées d'équinoxe (touchant d'ailleurs les mêmes zones, à savoir les points bas du port). Cependant, il n'y a pas de mémoire d'événements de submersion hors marées d'équinoxe si ce n'est celui du 24 mai 2021. La directrice des services techniques indique avoir également été contactée après l'événement du 24 mai 2021 par la mairie de Centuri en Haute-Corse, qui avait connu un événement similaire à celui de Bonifacio, sans débordement cependant.

¹⁰ Mugica, Julie ; Balouin, Yann ; Hamon Kerivel, K. (2021) - Rapport d'expertise : Avis technique sur le phénomène de submersion marine du port de Bonifacio (Corse-du-Sud) le 24 mai 2021. BRGM/RP-70906-FR, 26 p., 1 ann.

3. Constat

Des échanges avec la capitainerie et les services techniques de Bonifacio ainsi que les publications Twitter de cette dernière nous ont permis de définir une chronologie des événements assez précise (Figure 4). **L'horaire précis du débordement du port n'est pas connu ; il semble s'être produit entre 11h30 et 12h30.**

La chronologie des faits qui a pu être reconstituée est la suivante :

Depuis 10h du matin le 28 juin 2022, des oscillations du plan d'eau atteignant une amplitude d'1,5 m en hauteur se propage à travers le port et auraient une période de 2 minutes environ. Entre 11h30 et 12h30, un niveau d'eau plus élevé dépasse le niveau du quai Banda del Ferro (Quai Sud) et le submerge partiellement (Figure 4A, B, C, D). Aucune donnée de niveau d'eau n'a été transmise. D'après le modèle Litto3D®, levé en 2018 par le SHOM et l'IGN, le niveau du quai Banda del Ferro au lieu de la submersion est compris entre 0,7 et +0,9m NGF. Il n'est pas possible de déduire le niveau d'eau atteint par l'eau en comparant les photos présentes en Figure 4 et les données Litto3D® du fait de la taille des éléments marqués par l'eau comparativement à la taille de cellule du MNT Litto3D® (1m).

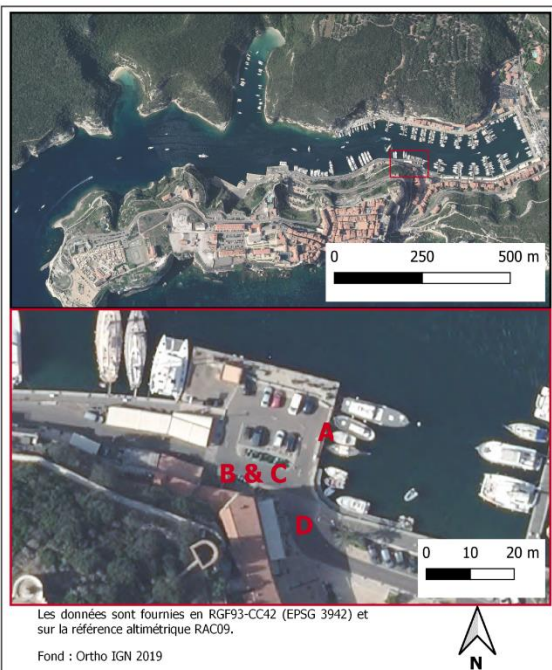
CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS

Directrice des services techniques de Bonifacio :

"De **10h à 12h30**, des oscillations d'une amplitude d'1.5 m environ passaient toutes les deux minutes"

11h17 & 11h24 : Communication facebook et première série de tweets de la mairie : Annonce d'un phénomène de basse pression appelant à la prudence. De légers débordement ont lieu mais rien au niveau du quai

La période du débordement
est incluse entre 11h24 et 12h30



Photos : article de Corse matin par Marie-Céline Spor publié le: 28 juin 2022 à 15:54

14h02 : seconde série de tweets de la mairie :

Annonce d'un retour de l'ouverture piétonne du port à **12h30**; veille en place mais retour à la normale progressif

Figure 4 : Chronologie des événements. En orange, la période d'oscillation importante du niveau de l'eau ; en rouge, la période de débordement dont la durée est inconnue et en vert, le moment de retour à la normale.

Les dégâts occasionnés sont moins importants que lors de l'événement du 24 mai 2021. D'après la mairie, 5 commerces ont été atteints par les eaux. L'adjoint du directeur de la capitainerie rapporte le cas d'un seul navire ayant subi des dommages. Lors de la montée des eaux, le navire de 30 m est monté au-dessus du quai en son tribord et a été endommagé.

4. Diagnostic

4.1. CONDITIONS MÉTÉO-MARINES LE 28 JUIN 2022

Données marégraphiques

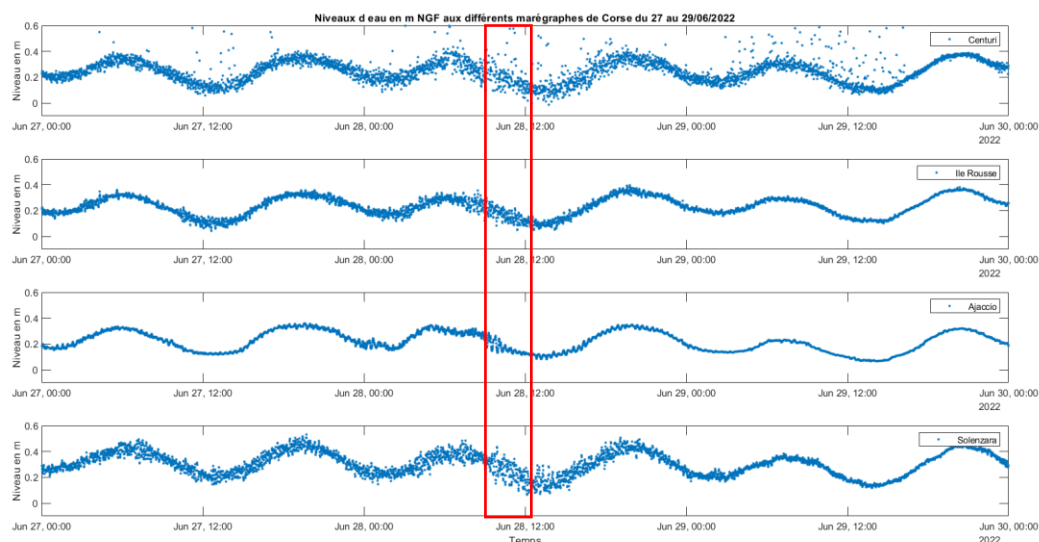


Figure 5 : Niveau d'eau mesuré (en m NGF) à Centuri, Île Rousse, Ajaccio et Solenzara du 27 au 29 Juin 2022. Source : Data Shom. Le rectangle rouge met en évidence les données récoltées le matin de l'événement de submersion.

Les niveaux d'eau mesurés à Centuri, Île Rousse, Ajaccio et Solenzara durant, avant et après l'événement de submersion du port de Bonifacio sont reportés en Figure 5. Ils traduisent les cycles de marée. Les cycles de marée sont coordonnés dans toutes ces stations avec un marnage d'ampleur équivalente (environ 20-25 cm). On note que **durant l'événement de submersion (rectangle rouge), la marée était descendante**. Une certaine disparité des mesures est lisible sur l'ensemble des stations. La station d'Ajaccio est la plus proche de Bonifacio. Le marégraphe d'Ajaccio est situé dans le port d'Aspretto à Ajaccio (http://refmar.shom.fr/fr/ajaccio_aspretto) sur le cap séparant le Golfe et la plage du Ricanto. Un zoom sur la matinée de l'événement est proposé en Figure 6.

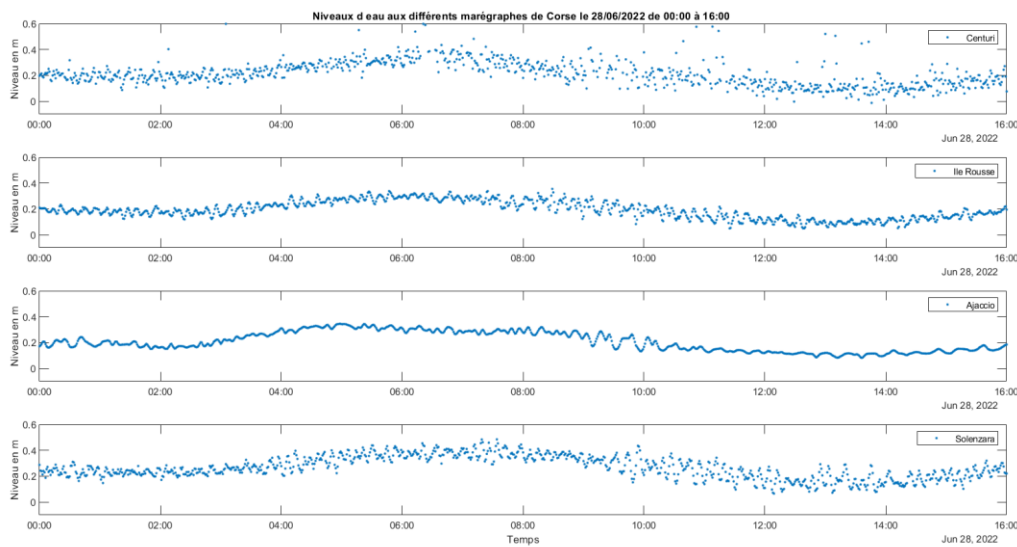


Figure 6 : Niveau d'eau (en m par rapport au zéro NGF) mesuré à Centuri, Île Rousse, Ajaccio et Solenzara durant la matinée du 28 juin 2022. Source : Data Shom.

Sur ce marégraphe, il est à noter que, au-delà des cycles de marée, des oscillations à plus court terme sont observables. Durant la matinée du 28 juin, et notamment entre 9 et 10h, alors que la marée est descendante, ces cycles sont d'ampleur plus significative (supérieure à 10 cm). Dans le cadre de la rédaction du présent rapport, les capitaineries des deux principaux ports d'Ajaccio ont été contactées. Aucune oscillation hors norme de la surface de l'eau n'a été rapportée.

Conditions de vagues

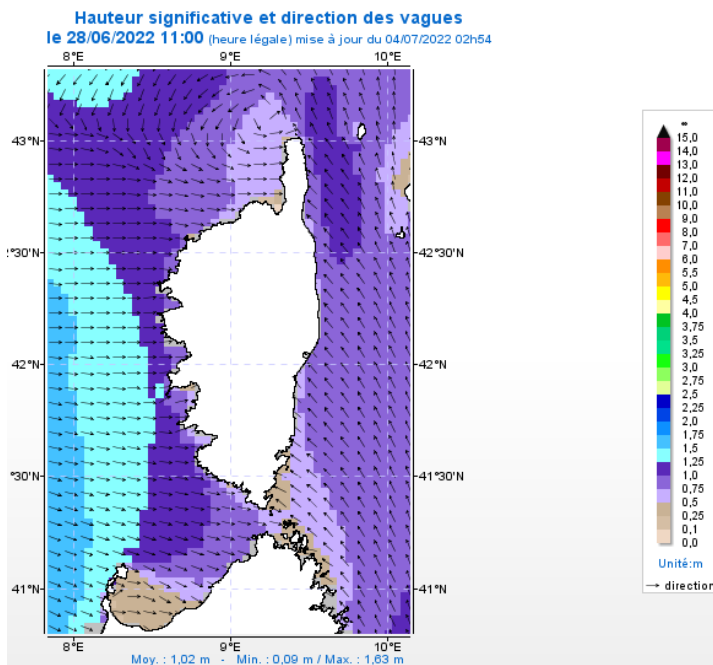


Figure 7 : Hauteur (à droite) et période (à gauche) des vagues le 28/06/2022 à 11H, heure locale. (MARC - Ifremer- Modèle de vagues: WW3).

L'état de mer du 28 juin 2022 est caractérisé à partir des données prévisionnelles issues du modèle WaveWatch III produites par l'Ifremer. **La hauteur des vagues au large de Bonifacio ne dépasse pas 0,75 m (avec une période associée inférieure à 7s) à 11 heures (Figure 7), au moment de la submersion.**

Les données mesurées au niveau de la bouée d'Alghero (Figure 8) en Sardaigne sont assez représentatives de la situation proche de Bonifacio pour les conditions d'Ouest. Elles indiquent des vagues d'une hauteur maximum de 2,2 m et 7 à 9 s de période durant la submersion.

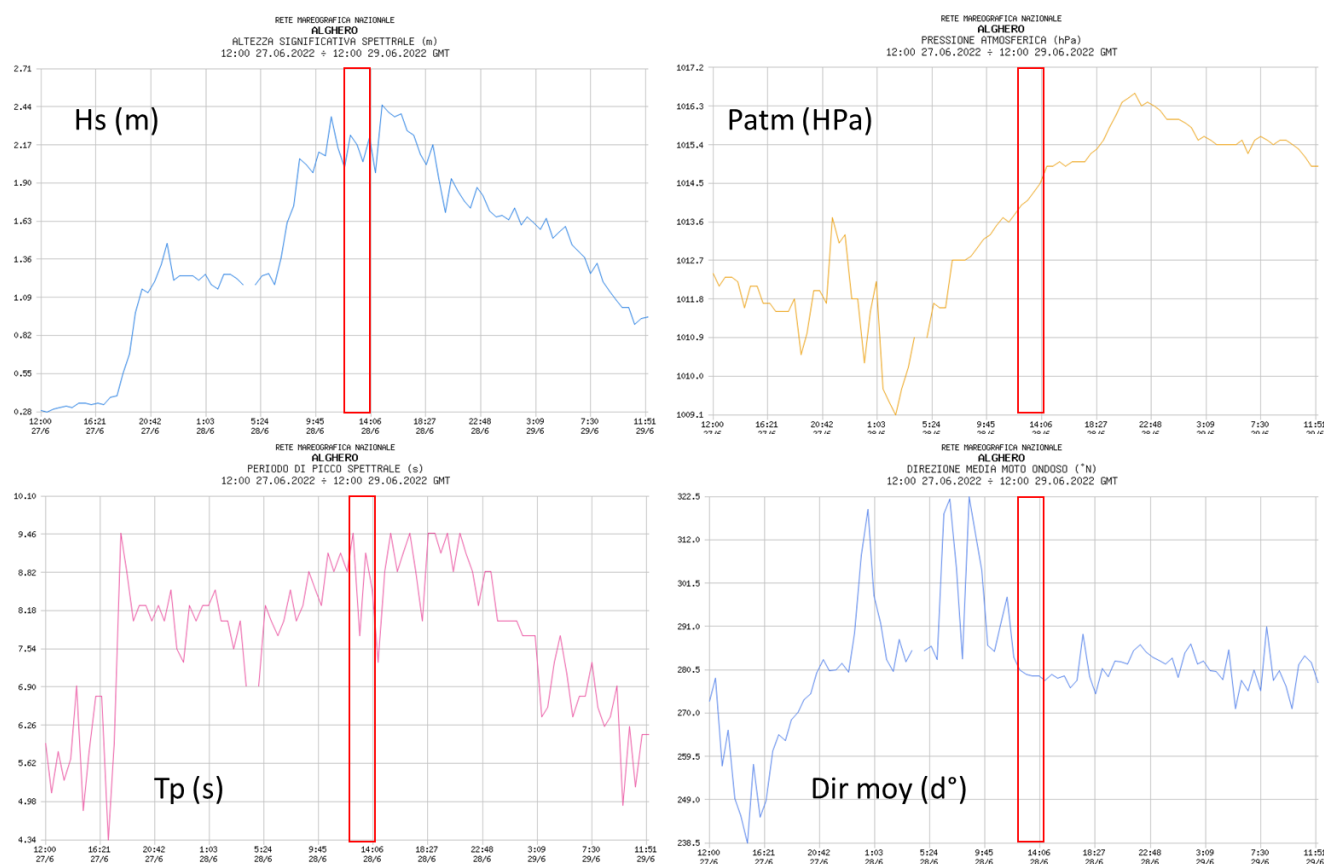


Figure 8 : Données mesurées à la bouée d'Alghero (RON-ISPRA) (hauteur significative, période de pic, direction moyenne et pression atmosphérique au niveau de la mer).

Conditions de vent

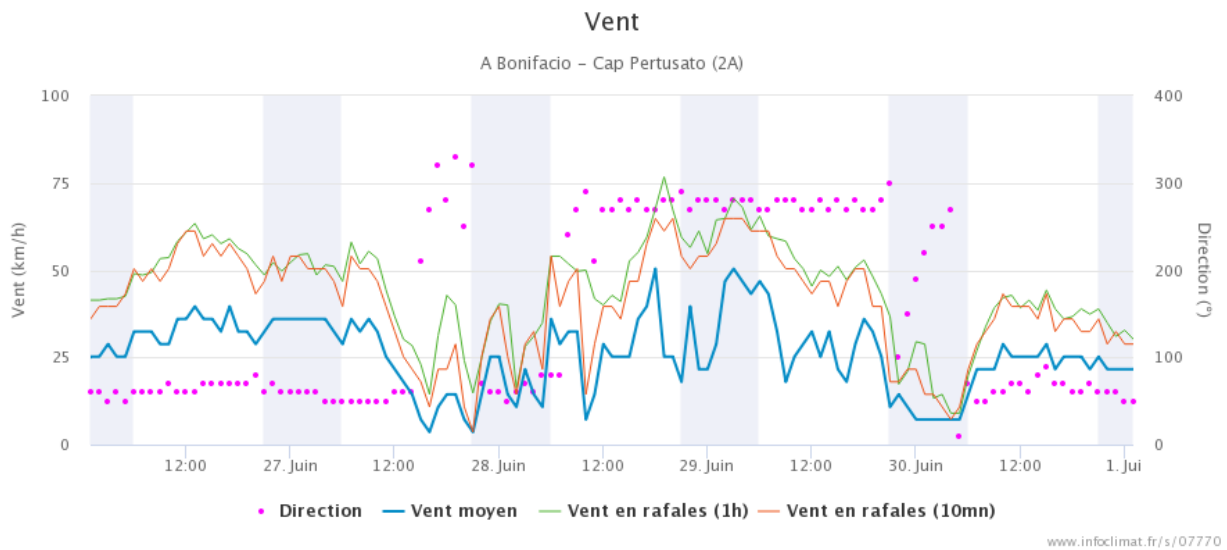


Figure 9 : Observations des conditions de vent au Cap Pertusato le 28 juin 2022 (données en heure locale) (www.infoclimat.fr).

Les mesures de vitesse et de direction de vent, localement à la station du Cap Pertusato (Figure 9), témoignent d'**un vent relativement faible à modéré pendant toute la journée du 28 juin 2022** (vent moyen <50 km/h). On observe cependant une bascule du vent d'ouest à est-nord-est au moment des submersions.

Pression atmosphérique

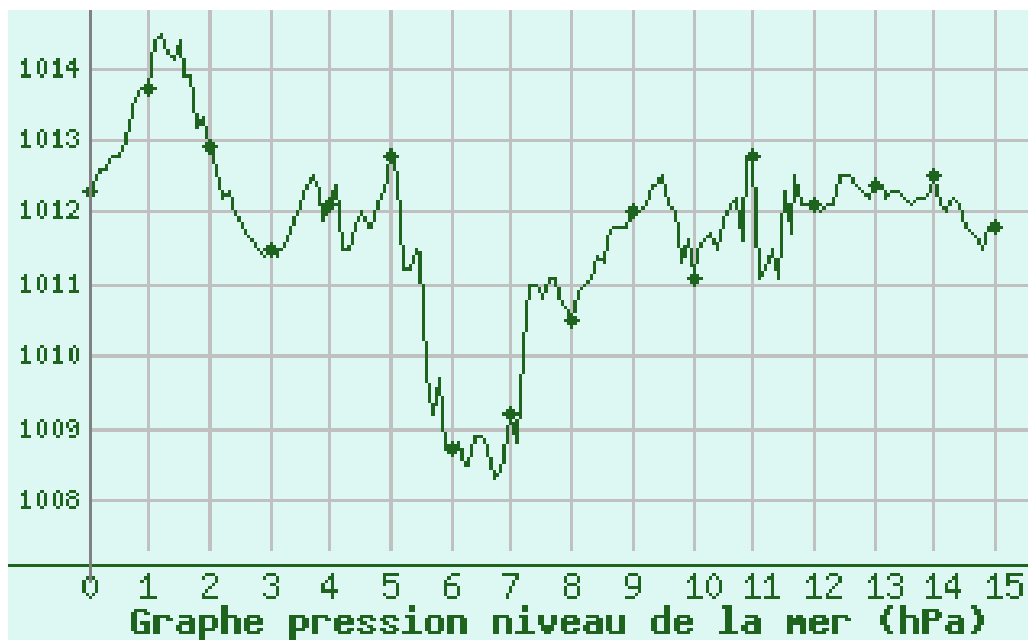


Figure 10 : Observation de la pression atmosphérique au Cap Pertusato le 28 juin 2022 en heure locale (www.meteociel.fr).

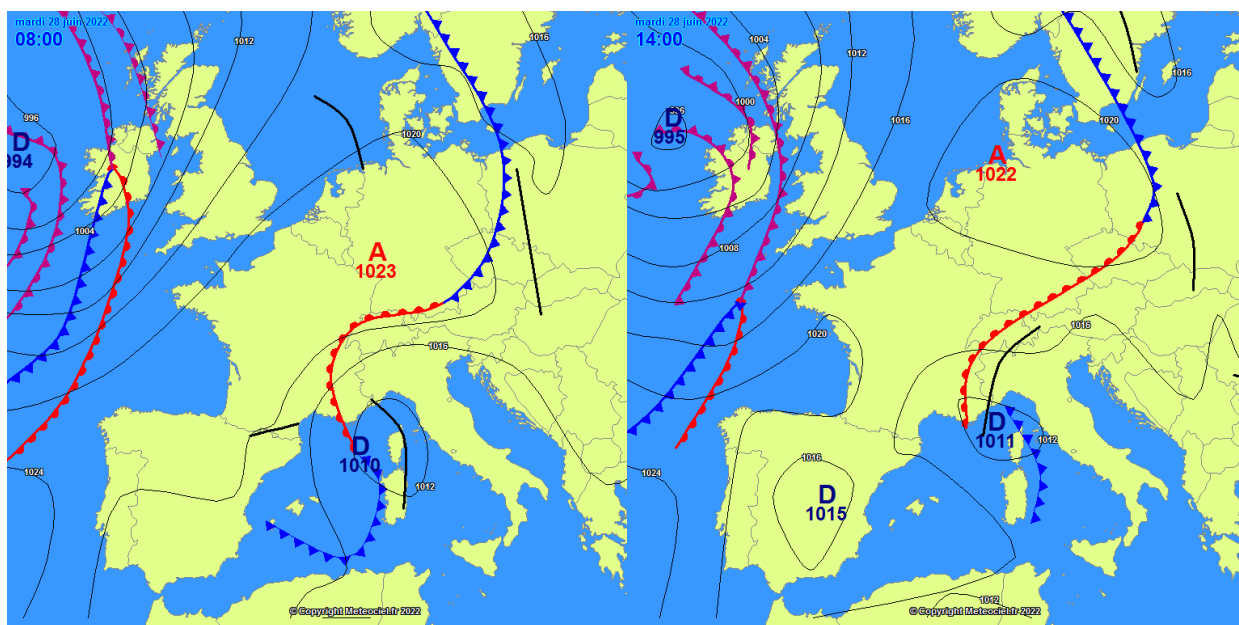


Figure 11 : Carte des fronts pour l'Europe de l'Ouest à 8h00 (à droite) et 14h00 (à gauche) le 28 juin 2022 en heure locale (www.meteociel.fr).

Un front de basse pression passe au-dessus de la Corse dans la matinée du 28 juin 2022 (Figure 11). De 5 à 6h du matin, **une chute de 4 hPa de pression a lieu. Une remontée rapide est observée de 7 à 8h (3-4 hPa). Puis, de 9h à midi, des oscillations plus faibles de la pression atmosphérique sont observées (1-2 hPa).** (Figure 10).

4.2. INTERPRÉTATION ET HYPOTHÈSES

Les conditions de vagues observées sont inférieures à celles de tempêtes hivernales et **ne sont pas susceptibles de générer une surcote (wave set-up) significative. La direction des vagues se propageant de l'Ouest vers l'Est ne semble pas présenter de caractère particulièrement défavorable par rapport à l'orientation du goulet de Bonifacio** dont l'entrée est orientée vers le Sud-Ouest et donc plus vulnérable aux vagues se propageant vers le Nord-Est.

Les conditions de vent observées au moment de la submersion ne sont pas particulièrement favorables à la génération d'une surcote atmosphérique (poussée des masses d'eau) dans la configuration géomorphologique du goulet de Bonifacio (orienté ouest-est et ouvert à l'ouest) et susceptible d'induire une submersion marine. Cependant, le changement de direction du vent au moment de la submersion doit être gardé en mémoire et un rôle du vent reste à considérer. Des mesures *in situ* permettraient de clarifier ce point.

4.2.1. Génération de l'onde de seiche

De 5 à 6h du matin, le 28 juin 2022, alors que la marée est haute, la pression atmosphérique chute de 4-5 hPa en 1h. Cette baisse de la pression atmosphérique réduit la pression de la colonne d'air sur la colonne d'eau. Mécaniquement, la colonne d'eau se dilate et le niveau d'eau remonte (de 4-5 cm).

Alors que la mer ouverte suit les cycles de marée mesurés tout autour de la Corse (Figure 5), le goulet de Bonifacio agit comme tout bassin fermé connecté à la mer ouverte et connaît donc certainement un temps de latence en remplissage et en vidange. Son marnage serait de ce fait réduit. Entre 5 et 6h du matin, alors que la marée commence à redescendre en mer, il se peut que le goulet soit encore à marée haute. La variation de pression atmosphérique générerait donc une vidange accélérée du goulet et un balancement du plan d'eau (niveau d'eau plus bas en entrée de goulet que dans le fond de celui-ci).

Dans un bassin semi-fermé comme celui-ci, d'autant plus lorsqu'il forme une cuvette comme le goulet de Bonifacio, ce type de phénomène peut générer des ondes longues dites ondes de seiches (voir références citées en page 8 section 2.1.2 Géomorphologie du goulet de). Une fois générées, en fonction de la morphologie de la zone et des caractéristiques de l'onde (notamment la direction), les seiches peuvent tendre à s'amplifier.

C'est certainement ce qu'il s'est produit entre 6 et 10h du matin. **Ainsi, cette première chute de pression atmosphérique combinée à la marée et à la géomorphologie du goulet peut expliquer la génération de l'onde observée avant l'événement de submersion (hauteur d'environ 1,5 m et période d'environ 2 minutes).**

4.2.2. Génération de la submersion

Durant les heures qui suivent, la marée redescend tandis que la pression atmosphérique remonte graduellement. Le niveau d'eau en mer descend donc.

Puis, des oscillations de pression atmosphérique ont lieu entre 9 heures et midi. La combinaison des oscillations de pression atmosphérique sont susceptibles d'entrer en résonance avec l'onde déjà générée, provoquant probablement une amplification de cette onde et entraînant la submersion au niveau du port et de ses points bas. En effet, le quai Banda del Ferro est situé à une cote comprise entre 0,7 et 0,9 m NGF par endroit. Ces points bas peuvent donc être plus facilement submergés que le reste du port de Bonifacio (> 1 m NGF).

Cette hypothèse reste théorique et nécessite de plus amples investigations pour valider l'existence de seiches dans le goulet de Bonifacio, quantifier le décalage de marée entre la mer ouverte et le goulet et, enfin, assurer la calibration des variations du niveau d'eau engendrées par les variations des conditions atmosphériques. Toutefois, au regard des autres données météo-marines collectées le jour de l'évènement de submersion, cette hypothèse semble la plus plausible pour expliquer l'origine de la submersion d'une partie des quais du port de Bonifacio à partir de l'état actuel des connaissances.

5. Risques résiduels

Le phénomène de seiche ayant pris fin en milieu de journée du 28 juin 2022, l'épisode est terminé, l'eau s'est retiré et aucun risque résiduel associé à cet épisode n'est identifié. Néanmoins, étant donné la récurrence de phénomène de seiche ayant causé une submersion (2021 et 2022), d'autres épisodes de ce type sont à prévoir, même s'il reste difficile de les anticiper en l'absence de mesures *in situ* et d'une compréhension plus fine des conditions météo-océanographiques à l'origine de ces phénomènes.

6. Conclusion et recommandations

6.1. COMPARAISON AVEC L'ÉVÈNEMENT DU 24 MAI 2021

À défaut de mesures précises, la comparaison des deux évènements est basée uniquement sur les observations et informations communiquées par les personnes présentes sur site auprès du BRGM dans le cadre de la présente expertise.

L'évènement du 28 juin 2022 a été rapporté comment étant différent de celui du 24 mai 2021. En effet, d'après les observations et témoignages recensés, le niveau d'eau atteint aurait été moindre tout comme les dégâts recensés.

Par ailleurs, l'évènement du 24 mai 2021 a été intense et soudain, tandis qu'une oscillation d'amplitude plus limitée a été observée durant les heures précédant la submersion du 28 juin 2022.

6.2. CONCLUSION

Une submersion d'une partie du quai Banda del Ferro de Bonifacio a eu lieu le 28 juin 2022 entre 11h30 et 12h30. Il semblerait que ce phénomène ce soit produit suite à la combinaison de la géomorphologie du goulet, de chutes soudaines puis d'oscillations de la pression atmosphérique et d'une onde de seiche d'approximativement 1,5 m de hauteur et 2 minutes de fréquence d'après le témoignage de la directrice des services techniques de la commune de Bonifacio. Les vagues et le vent ne semblent pas avoir eu d'influence spécifique sur cette submersion.

Il est désormais nécessaire de mener une étude plus approfondie pour comprendre les différents processus impliqués et leurs interactions. Cela pourra permettre de définir les processus de contrôle de ce type d'évènements et donc, de mieux pouvoir les anticiper.

6.3. RECOMMANDATIONS

Une étude *in situ* devra être menée afin de mieux comprendre ces phénomènes. L'amélioration de la connaissance des phénomènes de seiche dans le goulet de Bonifacio nécessite l'acquisition de données continues de hauteur de la colonne d'eau à une fréquence de 2 Hz minimum en entrée de goulet et au niveau du fond de port pour :

- (i) mesurer la hauteur de la colonne d'eau et évaluer ainsi les niveaux moyens du plan d'eau localement ;
- (ii) mesurer les variations de niveau du plan d'eau en entrée du goulet et rechercher les éventuelles ondes longues pouvant s'y propager ;
- (iii) mesurer ces mêmes données (variations du niveau du plan d'eau et ondes longues) en fond de goulet pour évaluer l'intensification ou la modification éventuelle des ondes propagées dans le goulet ;
- (iv) mesurer la hauteur des ondes propagées en fond de goulet pour évaluer les possibilités de débordement du port de Bonifacio ;
- (v) acquérir des données de pression atmosphérique et de vent en local (station spécifique installée dans le cadre du projet) afin de caractériser les conditions atmosphériques locales et de pouvoir évaluer le niveau d'eau à partir des données de pression de la colonne d'eau.

De telles mesures permettront l'analyse des variations de niveau d'eau à l'entrée et au fond du goulet. Ainsi, il sera possible de :

- mesurer les éventuelles ondes longues à l'origine des seiches et les conditions de vent, de pression atmosphérique et de vague en entrée du goulet susceptibles de les générer ;
- identifier les processus d'amplification ou de transfert d'énergie le long du goulet qui permettent le développement d'ondes longues ;
- évaluer un intervalle de valeurs de hauteurs d'eau générées par ce type d'onde (sur la base des données observées) ;
- établir les conditions permettant le débordement du port afin d'améliorer la connaissance du débordement du 24 mai 2021 et juin 2022 et de pouvoir fournir des éléments de caractérisation du phénomène (niveaux d'eau chiffrés, hauteur et période des ondes longues, etc.) ;
- établir des recommandations en fonction des résultats obtenus.

Dans l'attente de ce type de travaux, il est recommandé de relever un maximum d'informations après ce type d'événement (notamment les limites spatiales de l'inondation, les niveaux d'eau atteints, la présence d'oscillations préalables de la surface de l'eau) afin de pouvoir mieux les comprendre.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale du BRGM en Corse

Immeuble Agostini
ZI de Furiani
20600 BASTIA
Tél. : 04 95 58 04 45

www.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm