



HAL
open science

Outil d'aide à la gestion de crise pour la mission RDI33 : Atlas de scenarios de submersion sur le bassin d'Arcachon

Sophie Lecacheux, Andrea Gilberto Filippini, Rodrigo Pedreros, Jérémy Rohmer, Luca Arpaia, Jessie Louisor, Alexandre Nicolae Lerma, Déborah Idier, Robin Quique, Denis Paradis, et al.

► To cite this version:

Sophie Lecacheux, Andrea Gilberto Filippini, Rodrigo Pedreros, Jérémy Rohmer, Luca Arpaia, et al.. Outil d'aide à la gestion de crise pour la mission RDI33: Atlas de scenarios de submersion sur le bassin d'Arcachon. LHB Hydroscience Journal, 2024, pp.2325692. 10.1080/27678490.2024.2325692 . hal-04527015

HAL Id: hal-04527015

<https://brgm.hal.science/hal-04527015>

Submitted on 29 Mar 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Outil d'aide à la gestion de crise pour la mission RDI33 : Atlas de scénarios de submersion sur le bassin d'Arcachon

Sophie Lecacheux, Andrea G. Filippini, Rodrigo Pedreros, Jeremy Rohmer, Luca Arpaia, Jessie Louisor, Alexandre Nicolae Lerma, Déborah Idier, Robin Quique, Denis Paradis & Françoise Rose

To cite this article: Sophie Lecacheux, Andrea G. Filippini, Rodrigo Pedreros, Jeremy Rohmer, Luca Arpaia, Jessie Louisor, Alexandre Nicolae Lerma, Déborah Idier, Robin Quique, Denis Paradis & Françoise Rose (18 Mar 2024): Outil d'aide à la gestion de crise pour la mission RDI33 : Atlas de scénarios de submersion sur le bassin d'Arcachon, LHB, DOI: [10.1080/27678490.2024.2325692](https://doi.org/10.1080/27678490.2024.2325692)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/27678490.2024.2325692>



© 2024 The Author(s). Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group.



Published online: 18 Mar 2024.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 52



View related articles [↗](#)

Outil d'aide à la gestion de crise pour la mission RDI33 : Atlas de scenarios de submersion sur le bassin d'Arcachon

Sophie Lecacheux^a, Andrea G. Filippini^a, Rodrigo Pedreros^a, Jeremy Rohmer^a, Luca Arpaia^a, Jessie Louisor^a, Alexandre Nicolae Lerma^a, Déborah Idier^a, Robin Quique^a, Denis Paradis^b and Françoise Rose^c

^aGironde, BRGM, Pessac, France ; ^bHaute-Garonne, Météo-France, DIROP/MAR/DAS, Toulouse, France ; ^cGironde, DDTM Gironde, Cité Administrative de Bordeaux, Bordeaux, France

RÉSUMÉ

Cette communication présente l'outil d'aide à la décision développé par le BRGM sur le Bassin d'Arcachon pour la mission RDI 33. Il s'agit d'un atlas cartographique de scénarios de submersion marine sur les 10 communes littorales du bassin pour un ensemble de conditions météo-marines fictives mais réalistes. Les scénarios, construits à l'aide d'une analyse statistique des conditions de forçage (vent, vagues, surcote) et la modélisation numérique de la submersion à terre, représentent une large gamme d'événements, de l'annuel à l'exceptionnel. Grâce à une application numérique dédiée, cet atlas permet au cadre d'astreinte d'interpréter et traduire les prévisions côtières opérationnelles de Météo-France en zones potentiellement submergées à terre en fonctionnant par analogie avec les scénarios de la base de données. Au delà de l'atlas, la base de donnée produite pour la mission RDI33 sera exploitée dans le cadre du projet ANR ORACLES pour développer des modèles d'intelligence artificielle capables de produire des prévisions d'ensemble en (quasi)temps réel.

Maps of potential coastal flood zones on the Arcachon lagoon for crisis management support

ABSTRACT

This communication presents the decision support tool developed by the BRGM on the Arcachon Lagoon for the Departmental Flooding Referent of Gironde (RDI33). It is a cartographic atlas of marine flooding scenarios (on the 10 coastal municipalities of the lagoon) composed of a set of theoretical but realistic weather-sea conditions. The scenarios, built using a statistical analysis of forcing conditions (wind, waves, surge) and numerical modelling of onshore flooding, represent a wide range of events, from annual to exceptional. Thanks to a dedicated digital application, this atlas allows the duty manager of RDI33 to interpret and translate the operational coastal forecasts of Météo-France into potentially inundated areas on land by operating by analogy with the scenarios of the database. Beyond the atlas, the database produced for the RDI33 will be used as part of the ANR ORACLES project to develop artificial intelligence models capable of producing ensemble forecasts in (near) real time.

MOTS-CLÉS

Submersion marine ; bassin d'Arcachon ; atlas ; aide à la gestion de crise ; RDI

KEYWORDS

Marine flooding; Arcachon lagoon; atlas; decision support

1. Contexte et objectifs

Depuis 2011, les Directions Départementales des Territoires et de la Mer (DDTM) sont chargées d'apporter un appui technique aux préfetures sur la préparation et la gestion des crises "inondation" dans le cadre du dispositif d'Organisation de la Réponse Sécurité Civile (ORSEC) en tant que Référent Départemental Inondation ou RDI. Si cette mission concernait initialement les crues, elle a été étendue en 2018 aux submersions marines. Le RDI doit notamment être en mesure d'interpréter les données de prévision de Météo-France et de les traduire en termes de conséquences attendues sur les enjeux territoriaux. Ces dernières années, plusieurs initiatives locales ont émergé pour développer des outils d'aide à la décision spécifiques aux missions RDI

littorales ou aux collectivités de l'échelle d'un site, comme sur la grande plage de Biarritz (Projet MAREA, 2019) ou d'un département entier comme en Charente-Maritime (Outil Survey 17, 2021). Au niveau national, le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI) est chargé d'harmoniser progressivement les pratiques pour le développement des outils d'aide aux missions RDI littorales.

Cette communication présente l'outil développé par le BRGM sur le Bassin d'Arcachon à la demande de la DDTM 33. L'objectif est de constituer un atlas cartographique de Zones d'Inondation Potentielle (ZIP) sur les 10 communes du bassin pour un ensemble de conditions météo-marines de conjonctions et d'intensités variables. Cet atlas de plusieurs centaines de

scénarios fictifs mais réalistes permettra au cadre d'astreinte d'interpréter et traduire les prévisions côtières opérationnelles de Météo-France (vent, surcote et vagues) en zones submergées à terre en fonctionnant par analogie. Dans la suite, nous détaillons : (1) la construction des scénarios et le contenu de l'atlas ; (2) la méthode d'utilisation de l'atlas par analogie et l'interface numérique développée pour le cadre d'astreinte ; (3) les perspectives offertes par l'existence de ce type de base de données pour la préparation à la gestion de crise et la prévision des submersions.

2. Construction de l'atlas

2.1. Elaboration des scénarios

Les scénarios de l'atlas sont construits en croisant 50 conditions de tempête (vent, vagues, surcote) caractérisées au niveau du houlographe du Cap-Ferret avec 10 niveaux de marée prédite au marégraphe d'Arcachon-Eyrac (cf. Figure 1).

Les conditions de tempête sont construites sur la base d'une analyse statistique tri-variée des extrêmes (Heffernan & Tawn, 2004) sur les conditions de vent, de vagues et de surcotes au niveau du houlographe du Cap-Ferret situé à 50 m de fond à face à l'entrée du bassin. Cette localisation permet de décrire les

conditions de tempête sur un point de référence unique pour tout le bassin, et sur lequel les données de prévision météo-marines de Météo-France et du SHOM sont accessibles sur data.shom.fr. Les données de référence sont extraites sur la période 1979–2009 à partir des bases de données CFSR (Saha et al., 2010) pour le vent, ANEMOC 3 (Raoult et al., 2018) pour les vagues et MARS30 (Mugica et al., 2014) pour la surcote. Après avoir ajusté des lois de probabilités (dites « marginales ») pour les hauteurs significatives de vagues (H_s), les surcotes de pleine mer (SPM) et l'intensité du vent (U) à l'aide de la loi Pareto Généralisée, les modèles de dépendance (des valeurs extrêmes) sont ajustés selon une approche semi-paramétrique (Heffernan & Tawn, 2004) entre H_s et la période pic des vagues (T_p), puis selon les distributions conditionnelles empiriques entre H_s et la direction pic des vagues (D_p) et entre U et la direction du vent (D_u). Les simulations par méthode Monte-Carlo (à l'aide des lois marginales et des modèles de dépendance) permettent d'extrapoler un grand nombre de combinaisons extrêmes mais réalistes possédant les mêmes caractéristiques statistiques que les données d'entrée (cf. Figure 2a). Pour constituer les scénarios de l'atlas, la sélection des 50 conditions de tempêtes modérées à fortes ($H_s > 4$ m) est réalisée via un algorithme de « machine learning non supervisé » (Camus et al., 2011) visant à sélectionner un nombre

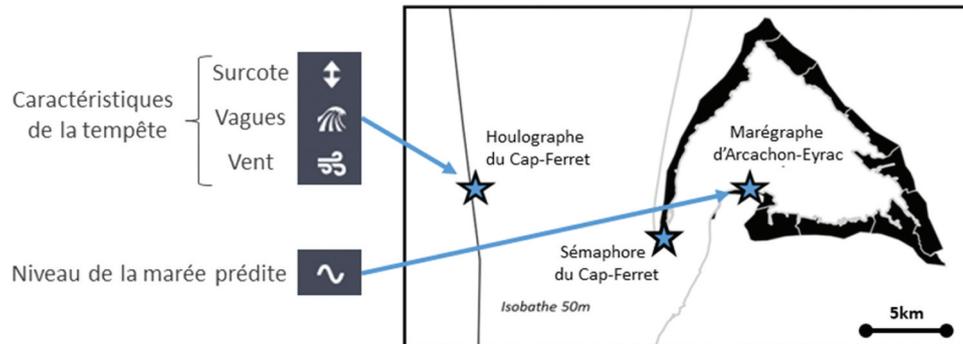


Figure 1. Localisation des points de référence pour construire les scénarios de l'atlas.

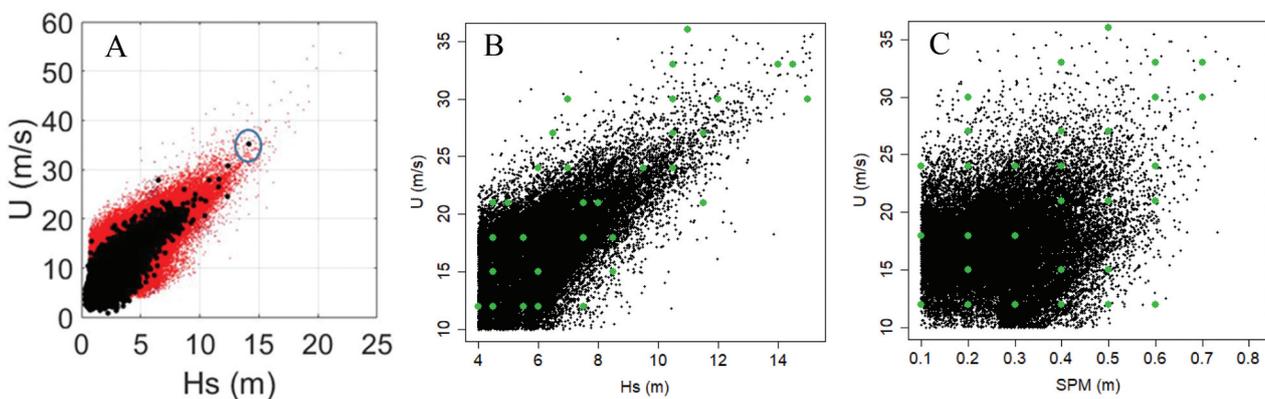


Figure 2. (a) Exemple de combinaisons (H_s ; U) observées (points noirs) et simulées (points rouges) par méthode Monte-Carlo à l'aide des lois marginales et des lois de dépendances. (B et C) Exemple des combinaisons sélectionnées en vert dans l'espace (H_s ; U) et (SPM ; U) pour les scénarios de l'atlas.

limité de combinaisons tout en décrivant la diversité des combinaisons possibles (cf. [Figure 2b, c](#)).

Ces 50 conditions de tempête sont croisées à 10 niveaux de marée (plus précisément : des séries temporelles de 12 h dont le niveau de pleine-mer au marégraphe d'Eyrac varie de 1 m à 2.8 m NGF par pas de 20 cm) portant le nombre total de scénarios à 500. Chaque scénario est donc décrit par un jeu de 6 paramètres de tempête (U, Du, Hs, Tp, Dp, SPM) associé à un niveau de pleine mer prédite.

2.2. Modélisation de la submersion pour chaque scénario

Le modèle de submersion comprend un chainage des modèles de vague WW3 (Tolman, 2014) et d'hydrodynamique UHAINA (Filippini et al., 2018) sur un maillage non structuré allant d'une résolution kilométrique au large à decamétrique à terre. Il permet de simuler la propagation des vagues et des niveaux du large jusqu'à l'intérieur du bassin, la génération de la surcote liée aux vagues (wave setup), la génération du clapot et de la surcote supplémentaire induits par le vent local, et enfin le débordement et la propagation de l'eau à terre. Ce type de modèle 2DH a montré son efficacité pour reproduire toutes les composantes du niveau marin statique total qui contrôle la submersion par débordement (Lavaud et al., 2020). En revanche, le modèle ne reproduit pas le niveau d'eau instantané et les submersions liées aux franchissements de paquets de mer (localisées sur le quartier du Mauret à Andernos) ou aux ondes infragravitaires (localisées au niveau de la Pointe du Cap-Ferret). Le caractère très localisé de ces phénomènes au regard de l'emprise du site à couvrir a conduit à négliger ces processus pour des raisons de temps de calcul (Brocchini, 2013).

Les données utilisées pour construire le Modèle Numérique de Terrain (MNT) et le maillage comprennent les levés les plus récents réalisés par le SIBA : sondes bathymétriques de 2019 et 2020 et LIDAR terrestre de 2016. Les lignes de contrainte permettant de représenter les structures et obstacles à l'écoulement (crêtes de digues, remblais, etc.) ont été définies à partir de la BD Topo de l'IGN, de l'examen du LIDAR et de levés terrain.

Le modèle est validé sur 4 tempêtes historiques : Klaus (2009), Xynthia (2010), Emma (2018) et Justine (2020). Ces quatre événements ont été choisis pour la variété des situations qu'ils représentent et pour la disponibilité des observations des zones submergées. Pour ces 4 tempêtes, les forçages sont constitués des séries temporelles d'observation ou de simulation grande échelle des niveaux d'eau et des vagues au houlgraphe (appliquées sur le bord ouest de la grille) ainsi que de vent au sémaphore (appliqué de manière homogène sur la grille). Pour les quatre tempêtes, les résultats des simulations présentent de faibles erreurs

sur les niveaux marins maximums à Eyrac, l'erreur étant inférieure à 5 cm au pic de marée haute (cf. [Figure 3](#)). Concernant les surfaces inondées, les résultats sont également très comparables. La [Figure 4](#) montre une bonne reproduction des submersions observées lors des levés post-tempête réalisés pour Xynthia (Mugica et al., 2014). Ces levés n'étant pas exhaustifs (notamment sur les secteurs comprenant peu d'enjeux), la simulation va au delà des observations sur certains secteurs. On constate toutefois une sous-estimation sur le quartier du Mauret et la réserve ornithologique due aux phénomènes locaux non représentés dans le modèle (resp. les franchissements de paquets de mer et la crue de la Leyre).

La modélisation de la submersion pour les scénarios de l'atlas est réalisée sur un cycle de marée de 12 h (de 8 h avant la pleine mer à 4 h après la pleine mer) en appliquant les conditions de surcote, de vent et de vagues de manière stationnaire sur toute la simulation. Cette approche est motivée par un souci de simplicité au moment de l'utilisation de l'atlas, la recherche d'analogues se faisant uniquement sur les conditions de tempête au moment de la pleine mer, sans considérer leur variation sur le cycle de marée.

Parmi les 500 scénarios décrits précédemment, tous ne sont pas débordant. En effet les points bas du Bassin d'Arcachon se situent aux alentours de 3 m NGF. Aussi, pour chacune des 50 tempêtes fictives, on modélise la submersion de manière séquentielle en partant du niveau de pleine mer le plus élevé vers le plus bas en s'arrêtant au dernier niveau débordant. Sur les 500 scénarios, seuls 235 ont donc fait l'objet de simulations numériques.

3. Description de l'atlas

La [Figure 5](#) (gauche) présente les scénarios de l'atlas triés en fonction du niveau marin maximum modélisé à Eyrac qui varie de 2.6 m à 4.4 m NGF. A titre de comparaison, dans les Plans de Prévention des Risques (PPR), le niveau marin de référence à Eyrac est de 3.5 m NGF pour l'évènement fréquent (correspondant à Xynthia) et de 3.7 m NGF pour l'évènement centennal. La base de donnée permet donc de balayer une gamme d'évènements de submersion très large depuis des évènements plutôt annuels (autour de 3 m NGF) jusqu'à des évènements très exceptionnels comme illustré sur la [Figure 5](#) (droite).

Afin de mieux comprendre l'importance de chaque paramètre de tempête et de fournir des éléments pour construire l'algorithme de recherche d'analogues, une analyse de sensibilité est réalisée grâce à un modèle de forêt aléatoire (RF ; Breiman, 2001 ; Gregorutti et al., 2015). Cette analyse, présentée sur la [Figure 6](#), met en évidence l'importance prépondérante du vent puis de la surcote de pleine mer et de la hauteur des vagues, en particulier en fond de bassin. En effet, si la surcote de

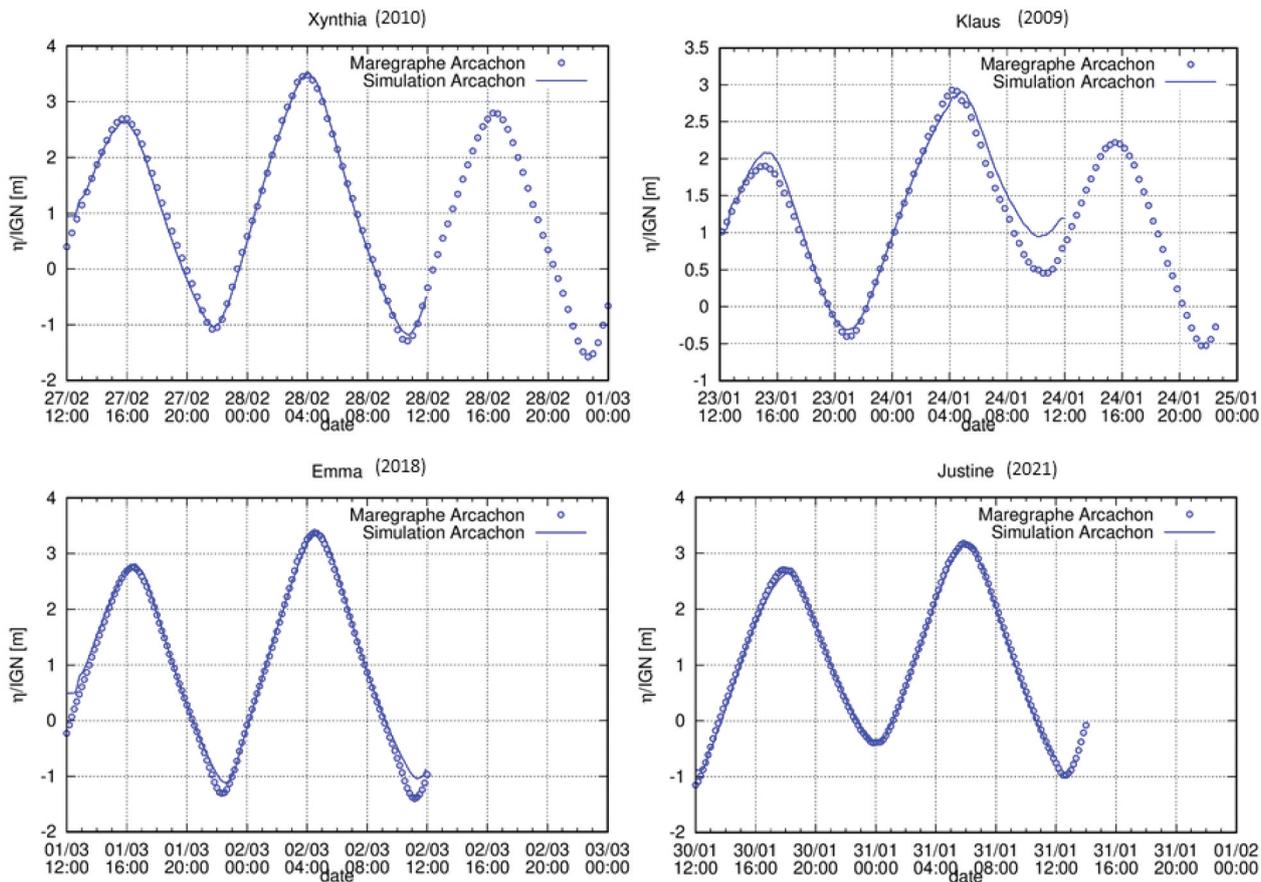


Figure 3. Comparaison des niveaux marins observés et simulés au marégraphe d’Arcachon Eyrac pour les quatre tempêtes.

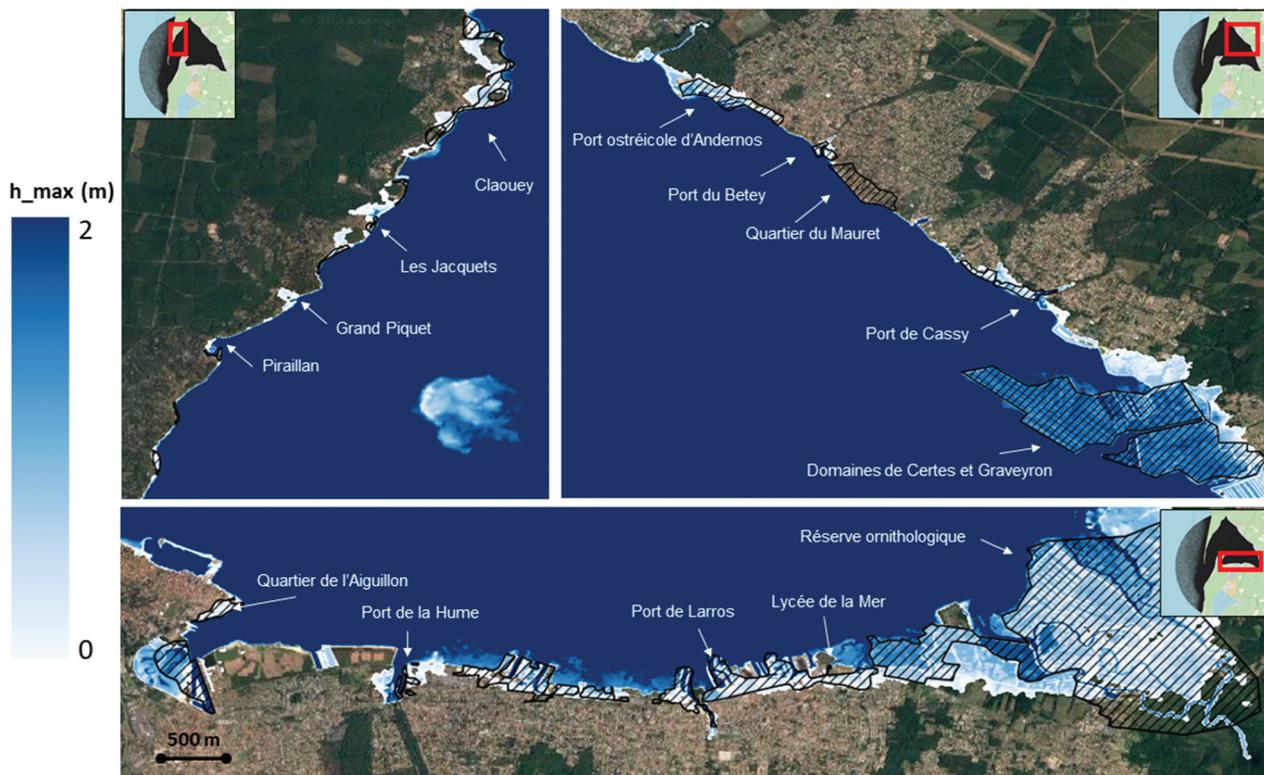


Figure 4. Comparaison des surfaces submergées observées et simulées pour Xynthia. Les levés réalisés suite à la tempête correspondent aux zones hachurées et les hauteurs d’eau maximales simulées (h_{max}) au dégradé de bleu.

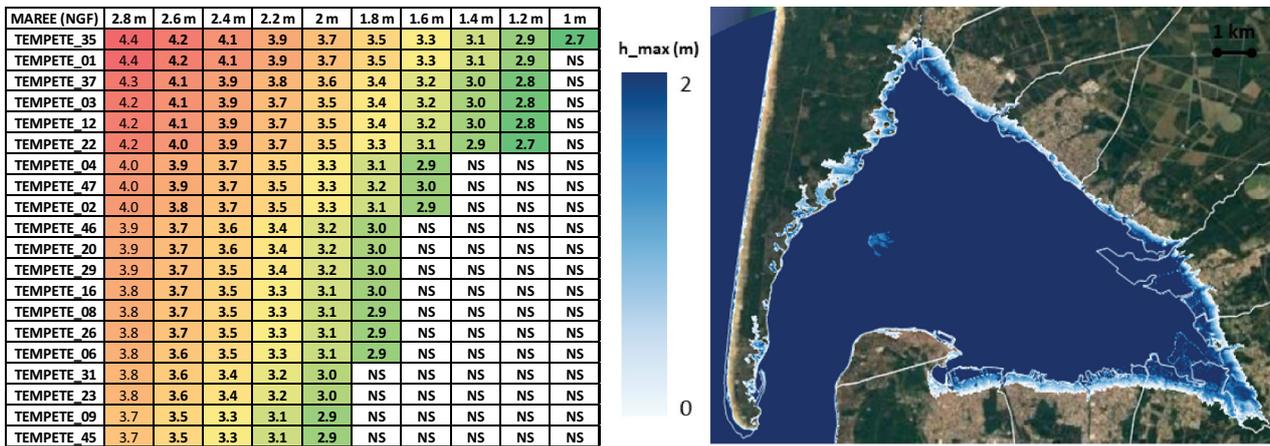


Figure 5. Illustration de la base de données : (Gauche) Niveaux marins (en m NGF) maximums modélisés au marégraphe d'Eyrac pour les 20 tempêtes les plus intenses sur la gamme de marée prédite considérée. Le terme NS indique les scénarios non simulés. (Droite) Carte des hauteurs d'eau atteintes à terre pour le scénario le plus extrême sur l'ensemble des 10 communes littorales du Bassin d'Arcachon.

pleine mer au houlographe et les conditions de vague agissent de manière homogène sur tout le bassin, le vent quant à lui contrôle la bascule du plan d'eau à l'intérieur du bassin qui peut générer une surcote supplémentaire sur certaines communes à l'extrême est en fond de bassin.

4. Utilisation de l'atlas

4.1. Modalités de consultation pour le cadre d'astreinte

L'exploitation de l'atlas repose sur la sélection d'un niveau de marée au marégraphe et la recherche d'un analogue de tempête dans la base de données par rapport aux conditions météo-marines prévues par Météo-France et le SHOM au niveau du houlographe

du Cap-Ferret. Cette recherche est réalisée via un algorithme de type look-up table sur les 6 paramètres de tempête au moment de la pleine mer (SPM, Hs, Tp, Dp, U, Du). L'analyse de sensibilité et des tests effectués sur de multiples possibilités ont permis de choisir cette combinaison comme la plus robuste : SPM = 1.5, Hs = 1, U = 1.5, Tp = 1, Dp = 0.5, Du = 1.5.

A partir de l'hiver 2023–2024, le cadre d'astreinte disposera d'une application numérique installable sur un PC et utilisable hors ligne (cf. Figure 7) :

- Un premier onglet de recherche permet de renseigner les prévisions du niveau de marée à Eyrac et des conditions de tempête au niveau du houlographe du Cap-Ferret (surcote de pleine mer et caractéristiques du vent et des vagues au moment de la pleine mer).

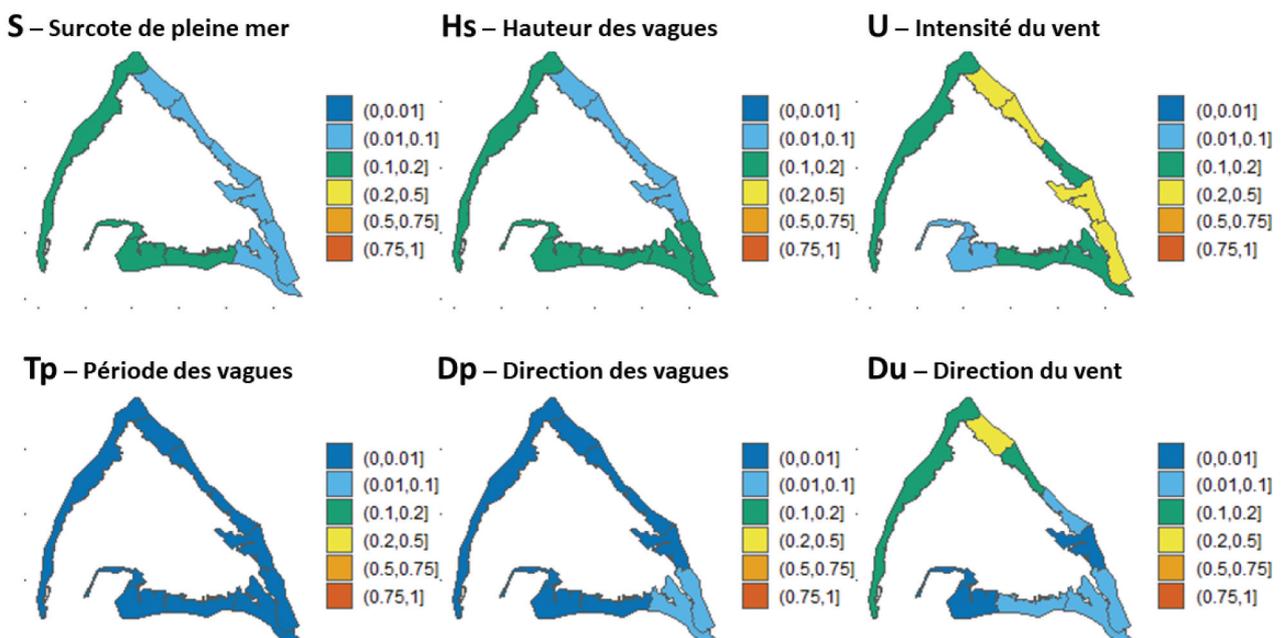


Figure 6. Influence de chaque paramètre de tempête sur l'étendue de la submersion en fonction des communes.

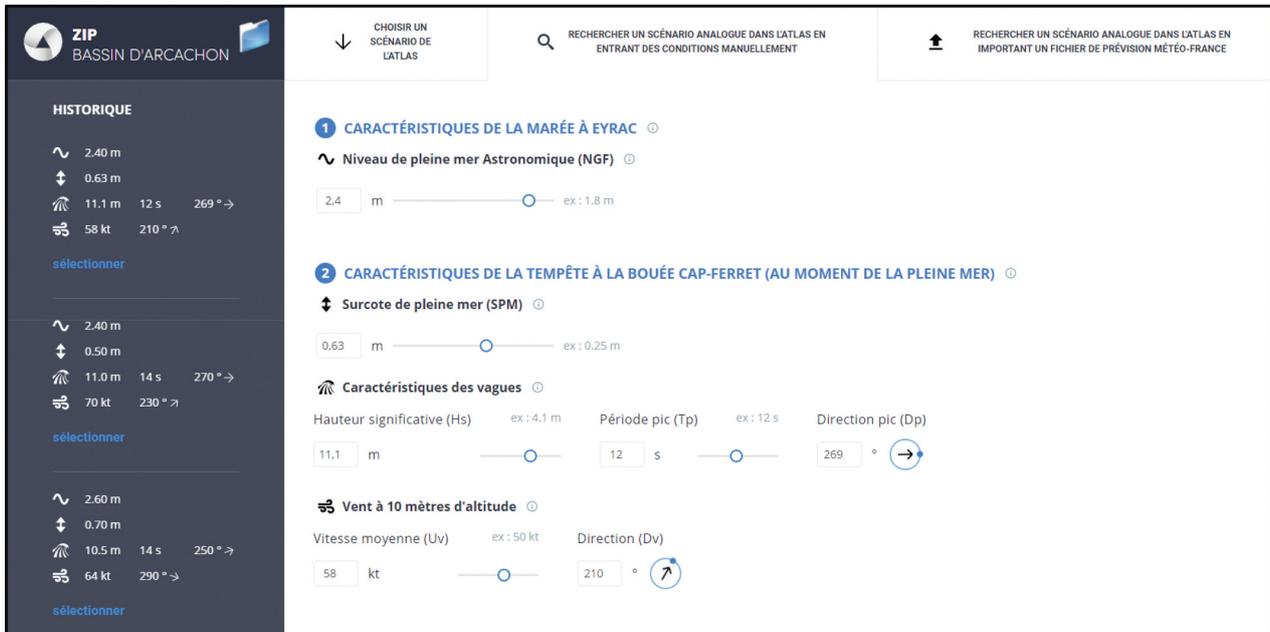


Figure 7. Visuels préliminaires de l'application numérique : onglet de recherche.

Les informations peuvent être saisies de manière manuelle en consultant l'océanogramme de la station Cap-Ferret sur DATA.SHOM.FR ou de manière automatique en chargeant un fichier de prévision produit spécifiquement par Météo-France et contenant les prévisions à 72 h pour les 4 modèles utilisés par les prévisionnistes de la VVS (Arpège, IFS, Arome, Arome-IFS). En consultant le bulletin RDI émi pour la vigilance en cours, le cadre d'astreinte pourra sélectionner le modèle préconisé par Météo-France.

- Un second onglet de restitution affiche les 3 scénario de l'atlas les plus proches du scénario recherché et permet de comparer les cartographies de submersion associées sur les 10 communes. L'extraction du ou des cartographies sélectionnées sous format pdf ou SIG offre la possibilité d'utiliser les données dans d'autres applications dédiées à la gestion de crise (SYNAPSE, etc.).

4.2. Démonstration de la recherche par analogue

A titre de démonstration, l'exercice de recherche d'analogue est réalisé sur la tempête Xynthia afin de comparer les cartes de submersion obtenues en rejoignant l'évènement tel que décrit au paragraphe 2.2 ou en cherchant l'analogue le plus proche dans la base de données grâce à l'algorithme "look-up table".

La Figure 8 compare les conditions de tempête et les cartes de submersion modélisées pour Xynthia (à la pleine mer débordante du 28/02/2010 à 5 h) avec la "tempête 25" de l'atlas associée à une pleine mer de 2.6 m NGF au marégraphe d'Eyrac. De manière générale les cartes de submersion sont très comparables tant sur l'emprise de la submersion que sur les hauteurs d'eau maximales atteintes à terre. Des différences ponctuelles sont toutefois visibles notamment sur les secteurs plus sensibles à des effets de seuil du niveau marin (par exemple les zones de cuvettes).

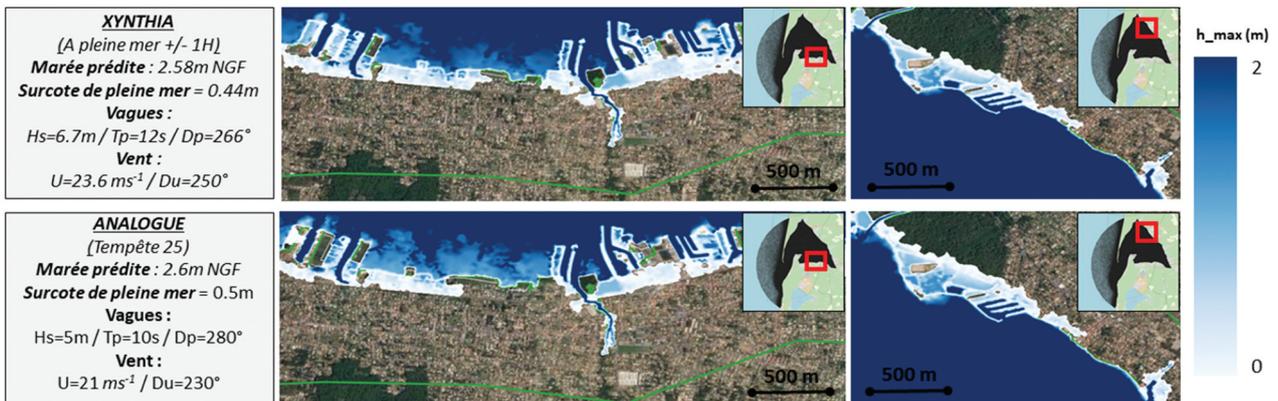


Figure 8. Comparaison des cartes de submersion de la tempête Xynthia avec son analogue le plus proche dans l'atlas de scénarios (tempête 25) pour un niveau de pleine mer au marégraphe d'Eyrac de 2.6 m NGF.

Cette démonstration montre l'intérêt d'une approche par analogie entre les scénarios de l'atlas et les conditions prévues quand la base de données dispose comme ici de nombreux scénarios. Même si cette approche ne fournit pas de prévisions précises concernant l'évènement en cours, elle permet de dégager des grandes tendances sur les secteurs les plus affectés et sur une estimation de l'emprise de la submersion à terre. En ce sens, elle fournit des informations très complémentaires à la Vigilance Vagues Submersion et la prévision de dépassement de seuils de niveaux marins dans le bassin.

5. Au delà de l'atlas : quel potentiel d'exploitation de la base de données

L'utilisation de l'atlas pour identifier des scénarios proches des conditions météo-marines prévues constitue un premier niveau d'exploitation de la base de données produite qui comprend des limites et des approximations inhérentes d'une part, à la méthode par analogie et d'autre part, au nombre de scénarios disponibles dans l'atlas. Ce nombre de scénarios est fortement contraint par les ressources de calcul nécessaires pour modéliser la submersion marine qui requiert des modèles à haute résolution.

Au-delà de l'atlas, l'existence de cette base de données offre de nombreuses autres perspectives d'utilisation pour : (1) améliorer la compréhension des processus de submersion, du rôle relatif des conditions de forçage et des effets de seuils ; (2) identifier des niveaux de gravité ou des typologies de submersion permettant de décliner des plans d'action pour la gestion de crise des évènements d'intensité modérée à extrême ; (3) faire de l'apprentissage avec des méthodes de type machine learning pour développer des modèles de prévision très rapides (ou métamodèles) capables de remplacer les modèles numériques pour réaliser des simulations en (quasi) temps réel (Idier et al., 2021).

Cette dernière approche permet de passer un cap méthodologique important pour la prévision des submersions et l'estimation des incertitudes. En effet, les avancées récentes, en particulier en matière de calcul haute performance, ont facilité la migration des systèmes de prévision météorologiques vers un mode probabiliste mais leur utilisation, bien que de plus en plus répandue pour le risque d'inondation fluviale, reste encore marginale pour la submersion marine en raison des problématiques de temps de calcul. Dans le cadre du projet ANR ORACLES, la base de scénarios simulés pour l'atlas servira à développer des métamodèles permettant de passer directement des prévisions d'ensemble de tempête au niveau du houlographe du Cap-Ferret à la cartographie probabiliste des hauteurs de submersion à terre sur l'ensemble du bassin selon différentes approches : (1) la première vise à prédire des

classes de sévérité d'inondation à l'aide d'indicateurs comme l'aire inondée ; (2) la deuxième vise à prédire toute la carte des hauteurs d'eau à terre. Ces travaux permettront de caractériser les incertitudes impactant les différentes étapes de la chaîne de traitement (prévision météo ensembliste, choix de modélisation et du type de méta-modèle, etc.) et de définir quelle approche répondra le mieux aux besoins opérationnels des acteurs locaux.

Quelle que soit l'approche utilisée (analogues ou machine learning), l'utilisation sur le long terme de la base de données produite pour des applications de prévision nécessitera des mises à jour pour prendre en compte les futurs aménagements côtiers et l'évolution de la topo-bathymétrie locale. Ces mises à jour pourront également être l'occasion d'intégrer d'autres processus de submersion (ondes infragravitaires et franchissements de paquets de mer).

6. Conclusion

La constitution de cet atlas de scénarios de submersion sur le Bassin d'Arcachon pour la mission RDI Gironde offre un outil opérationnel au cadre d'astreinte pour interpréter les prévisions côtières opérationnelles de Météo-France en zones submergées à terre. La méthode appliquée reprend et adapte le principe des Zones d'Inondation Potentielles (ZIP) déjà largement utilisé pour le risque d'inondation fluviale. En décrivant les évènements à partir des conditions météo-marines au niveau du houlographe du Cap-Ferret, l'approche mise en place permet de s'articuler au mieux avec les prévisions océanographiques opérationnelles diffusées par Météo-France et utilisées pour la Vigilance Vagues Submersion (VVS) et les bulletins RDI littoraux. L'utilisation de l'atlas au cours des prochains hivers permettra de tester sa pertinence dans un contexte opérationnel et d'adapter, dans une prochaine version, la quantité de scénarios, les processus pris en compte et la représentation des informations fournies dans l'application numérique de consultation.

Remerciements

Les auteurs remercient les membres du comité de suivi du projet, notamment Florence Garnier (DDTM Gironde), Florence Besson et Nathalie Bargerie (Météo-France), Hugues Bijoux (SIBA), Olivier Piotte (SPC Gironde), Didier Jourdan et Audrey Pasquet (SHOM).

Disponibilité des données

Les données qui étayent les résultats de cette étude sont disponibles auprès de l'auteur correspondant, sur demande raisonnable.

ORCIDSophie Lecacheux  <http://orcid.org/0000-0001-8229-4601>**Références**

- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Brocchini, M. (2013). A reasoned overview on boussinesq-type models: The interplay between physics, mathematics and numerics. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 469(2160), 20130496. <https://doi.org/10.1098/rspa.2013.0496>
- Camus, P., Mendez, F. J., Medina, R., & Cofiño, A. S. (2011). Analysis of clustering and selection algorithms for the study of multivariate wave climate. *Coastal Engineering*, 58(6), 453–462. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2011.02.003>
- Filippini, A. G., De Brye, S., Perrier, V., Marche, F., Ricchiuto, M., Lannes, D., & Bonneton, P. (2018, May). UHAINA: A parallel high performance unstructured near-shore wave model. *Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil*, 15, 47–56. <https://doi.org/10.5150/jngcgc.2018.006>
- Gregorutti, B., Michel, B., & Saint-Pierre, P. (2015, October). Grouped variable importance with random forests and application to multiple functional data analysis. *Computational Statistics and Data Analysis*, 90, 15–35. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2015.04.002>
- Heffernan, J. E., & Tawn, J. A. (2004). A conditional approach for multivariate extreme values (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 66, 497–546. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2004.02050.x>
- Idier, D., Aurouet, A., Bachoc, F., Baills, A., Betancourt, J., Gamboa, F., Klein, T., López-Lopera, A. F., Pedreros, R., Rohmer, J., & Thibault, A. (2021). A user-oriented local coastal flooding early warning system using metamodelling techniques. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(11), 1191. <https://doi.org/10.3390/jmse9111191>
- Lavaud, L., Bertin, X., Martins, K., Arnaud, G., & Bouin, M. (2020). The contribution of short-wave breaking to storm surges: The case Klaus in the southern Vay of Viscay. *Ocean Modelling*, 156, 101710. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2020.101710>
- Mugica, J., Bulteau, T., Paris, F., & et Pedreros, R. (2014). *Caractérisation de l'aléa submersion marine dans le cadre des PPRL du Bassin d'Arcachon, (Gironde)*. BRGM/RP-61408-FR.
- Outil Survey 17. (2021). <https://unima.fr/index.php/missions/survey-17>
- Projet MAREA. (2019, décembre). *Rapport de synthèse rivières pro tech*.
- Raoult, C., Joly, A., Andreevsky, M., & Joly-Laugel, A. (2018). ANEMOC-3 : Amélioration de la base de données d'états de mer ANEMOC-2 par prise en compte des effets de la marée. *Acte de conférence des 16èmes Journées de l'Hydrodynamique – Marseille*, 2018.
- Saha, S., Moorthi, S., Pan, H.-L., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Kistler, R., Woollen, J., Behringer, D., Liu, H., Stokes, D., Grumbine, R., Gayno, G., Wang, J., Hou, Y.-T., Chuang, H.-Y., Juang, H. M. H., Sela, J., ... Goldberg, M. (2010). The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(8), 1015–1057. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1>
- Tolman. (2014). *User manual and system documentation of WAVEWATCH- III version 4.18*.