



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès immédiat

Banc d'Arguin : expertise suite à la tempête de fin octobre-début novembre 2023

Rapport final

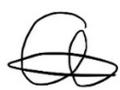
BRGM/RP-73634-FR

Version 1 du 3 mai 2024

Expertise réalisée dans le cadre des missions d'Appui aux Administrations

Longueville F., Antajan E., Nicolae Lerma A. et Ganthy F.

Vérificateur :	
Nom :	BERNON Nicolas
Fonction :	Ingénieur risques naturels-littoral
Date :	14/05/2024
Signature :	 1.89 3740.46

Approbateur :	
Nom :	LE GALL Cécile
Fonction :	Directrice régionale Nouvelle-Aquitaine du BRGM
Date :	15/05/2024
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



Ifremer

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. Les conditions d'accès, de diffusion et de réutilisation du document sont régies par les dispositions en vigueur prévues dans le CRPA et le code de l'environnement.

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, mouvement de terrain, La Teste-de-Buch, Gironde, Nouvelle-Aquitaine

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

Longueville F., Antajan E., Nicolae Lerma A. et Ganthly F. (2024) - Banc d'Arguin : expertise suite à la tempête de fin octobre-début novembre 2023. Rapport final V1. BRGM/RP-73634-FR, 28 p.

Synthèse

Contexte :

Date de la formulation de la demande d'expertise au BRGM : 05/01/2024

Demandeur : DDTM33

Site d'étude : Banc d'Arguin (33)

Nature de l'intervention du BRGM et de l'IFREMER : visite de site, examen de documents

Phénomènes ayant motivé l'intervention du BRGM et de l'IFREMER : Demande d'appui dans le cadre d'une mission d'enquête de la DDTM33 ? pour la reconnaissance des pertes ostréicoles sur le banc d'Arguin ? au titre des calamités agricoles (tempêtes de fin octobre 2023) ;

Nature de l'expertise : Production d'un rapport d'expertise appuyée par la réalisation d'une visite de terrain permettant (1) de recueillir des informations relatives aux mouvements sédimentaires survenus sur le banc d'Arguin lors des tempêtes de fin 2023, (2) d'exposer les évolutions historiques du banc d'Arguin et (3) d'exposer les conditions météo-marines relatives à ces tempêtes.

Sources d'informations :

Les bases de données suivantes ont été consultées :

- les données de la DDTM 33
- les données issues des modèles WWIII et du réseau Candhis
- les données SHOM
- les images satellites Sentinel-2
- les levés au DGPS réalisés lors de la campagne d'acquisition du 15 janvier 2024.

Les documents suivants, ainsi que leurs annexes, ont été examinés :

- le plan de situation au niveau de la conche sud du banc d'Arguin du 14 décembre 2023, relevé et fourni par la DDTM33
- les documents répertoriés dans la bibliographie à la fin du présent rapport.

Conclusion :

La morphologie du banc d'Arguin évolue de manière continue au cours du temps. Ces dernières années, les évolutions pluriannuelles de la morphologie de la conche sud du banc ont engendré un déplacement du cordon sableux vers l'est et une diminution de sa largeur et hauteur. La succession des tempêtes Aline et Céline, entre le 20 et le 29 octobre 2023, sont venues s'abattre sur une portion réduite du cordon dunaire bordant le flanc ouest de la conche sud, favorisant la surverse et l'arasement de la crête du cordon. À la suite des tempêtes Ciaran et Domingos, entre

le 2 et le 6 novembre 2023, une brèche au sein de ce cordon s'est créée, entraînant des déplacements massifs de sables sur les concessions ostréicoles au sein de la conche.

Les observations effectuées lors de l'expertise témoignent de l'ensevelissement de plusieurs parcs ostréicoles sous plus de 2 m de sable localement, engendrant la mort des huîtres par suffocation et des pertes importantes dans les concessions ostréicoles de la conche sud.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Contexte général	10
2.1. Situation géographique	10
2.2. Contexte historique	11
3. Constat	14
3.1. Conditions hydrodynamiques	14
3.1.1. Niveau d'eau	14
3.1.2. Etats de mer	14
3.1.3. Détails des tempêtes de fin 2023	16
3.2. Evolution sédimentaire de la conche sud	18
3.2.1. Définition d'un profil topographique « type » du banc d'Arguin	18
3.2.2. Évolution à l'échelle du banc d'Arguin	18
3.2.3. Évolution à l'échelle de la conche sud	20
4. Diagnostic, risques résiduels et recommandations	24
4.1. Liens entre les évolutions sédimentaires et les conditions hydrodynamiques d'octobre/novembre 2023	24
4.2. Risques résiduels	25
4.3. Recommandations	25
4.4. Impacts biologiques sur les huîtres	25
5. Bibliographie	27

Liste des figures

Figure 1 - Localisation du site d'intérêt (orthophotographie de septembre 2023, ©OCNA) et des concessions ostréicoles (DDTM, 2023)	11
Figure 2 - Évolution du banc d'Arguin de 1984 à 2023 (a) (données issues des images satellites Landsat et Sentinel-2) ; modèle conceptuel de la dynamique sédimentaire de l'embouchure du bassin d'Arcachon (b) proposé par Capo et al. (2014) (zones bleues = deltas de flot et de jusant, zones grises = déplacements du sable, CFS = Cap Ferret Spit, FD = delta de flot, UED = delta de jusant supérieur, LED = delta du jusant inférieur)	13
Figure 3 - Graphes bivariés des données observées à la bouée Candhis vs celles issues du modèle de Marc-WWIII pour a) les hauteurs significatives des vagues et b) la période des vagues	15
Figure 4 - Paramètres hydrodynamiques au large de l'embouchure du bassin d'Arcachon issus du modèle MARC WWIII Global (Ifremer) au point (45°N ; 1.5°W) et du marégraphe à Arcachon-Eyrac (44.66°N ; 1.16°W) entre le 15 octobre 2023 et le 15 novembre 2023 : (a) hauteur significative [m] ; b) période moyenne [s] ; c) Theta ou direction de la houle [°] ; d) potentiel énergétique de vague [Kw/m] et e) niveau d'eau à Eyrac [en mètre par rapport au zéro hydrographique]	16
Figure 5 - Profil type ouest/est du banc d'Arguin, issu du Lidar 2023 (OCNA)	18
Figure 6 - Évolution du banc d'Arguin à partir des images satellites Sentinel-2, entre le 10 octobre 2023 et le 7 novembre 2024 ; le z correspond au niveau d'eau, à l'heure de prise de vue, issu de la station marégraphe d'Arcachon-Eyrac donné par rapport au zéro hydrographique	19

Figure 7 - Évolution morphologique du banc d'Arguin entre le 10 octobre 2023 et le 7 février 2024	20
Figure 8 - Évolution du profil topographique au droit de la brèche, entre le MNT de septembre 2022 et celui de septembre 2023 ; dans l'encart, la ligne orange représente la limite du banc du 7 février 2024 et la noire celle de septembre 2023 (données topographiques issues des données lidar acquises dans le cadre de l'OCNA).....	21
Figure 9 - Plan de situation "Arguin Conche Sud" du 14 décembre 2023 : le trait de côte correspond à la limite du jet de rive levé à marée basse sur la face océanique, la limite d'ensablement correspond à la limite du jet de rive sur la face est du banc d'Arguin et la limite de la butte de sable correspond à la rupture de pente entre le cordon sableux et la plage (©DDTM33).....	22
Figure 10 - Épaisseurs de sable au droit de la conche sud, avec les chiffres indiquant la différence entre les valeurs mesurées au DGPS le 15 janvier 2024 et les valeurs du levé lidar de septembre 2023 (les lignes noires correspondent aux isocontours en m NGF en septembre 2023) ; ensablement des parcs ostréicoles illustré par la photo (15/01/2024 ©BRGM).....	23
Figure 11 - Synthèse de l'évolution du banc d'Arguin suite aux tempêtes d'octobre et novembre 2023 ...	24

1. Introduction

La DDTM33 a sollicité le BRGM et l'IFREMER, le 05/01/2024, pour émettre un avis technique relatif à l'ensablement des parcs ostréicoles du banc d'Arguin, à la suite des tempêtes de fin octobre et début novembre 2023. Le site d'étude est le banc d'Arguin, situé à l'embouchure du bassin d'Arcachon dans la commune de La Teste-de-Buch. Ce diagnostic a été établi conjointement par un intervenant de l'Ifremer et un intervenant du BRGM.

Le point traité dans la présente expertise conjointement par le BRGM et l'Ifremer est le suivant : l'analyse des conditions météo-marines lors des tempêtes Aline (20-21 octobre 2023), Céline (27-29 octobre 2023), Ciaran (1-2 novembre 2023) et Domingos (5-6 novembre 2023) (cf. § 3.1).

Les points traités par le BRGM sont les suivants :

- l'analyse des évolutions morphologiques passées du banc d'Arguin à partir des données disponibles (cf. § 3.2) ;
- la comparaison des conditions météo-marines relatives aux tempêtes d'octobre/novembre 2023 au regard des évolutions morphologiques constatées lors de ces événements (cf. § 4.1).

Le point traité par l'Ifremer est le suivant : l'impact biologique des tempêtes d'octobre/novembre 2023 sur les huîtres (cf. § 4.2).

Ce diagnostic s'appuie entre autres sur des observations visuelles, effectuées lors d'une visite de terrain, réalisée le 15/01/2024 dans le cadre de la mission d'enquête au titre des calamités agricoles. Cette visite a été réalisée en présence notamment de représentants de la Direction départementale des territoires et de la mer de Gironde (DDTM33), du Comité régional de la conchyliculture Arcachon Aquitaine (CRCAA) et d'ostréiculteurs non sinistrés. En complément, l'expertise s'est également appuyée sur la consultation des documents suivants :

- le plan de situation au niveau de la conche sud du banc d'Arguin, du 14 décembre 2023, relevé et fourni par la DDTM 33 ;
- les images satellites Landsat 8 et Sentinel 2 ;
- les données de marées provenant du Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) et les états de mer issus du réseau Candhis et du modèle WWIII ;
- les données Lidar de l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine (OCNA), de septembre 2023, pré-tempêtes ;
- les bilans du Réseau "tempêtes" de l'OCNA ;
- les documents répertoriés dans la bibliographie à la fin du présent rapport.

L'expertise s'inscrit dans le cadre des missions d'appui aux administrations, menées par le BRGM, au titre de l'année 2024, et dans le cadre des missions d'appui à la puissance publique menées par l'Ifremer.

2. Contexte général

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le banc d'Arguin est situé sur la commune de La Teste-de-Buch, à l'embouchure du bassin d'Arcachon, au droit de la Dune du Pilat et de la Pointe de Lège Cap-Ferret. Ce banc sableux est une Réserve naturelle nationale (RNN), gérée par l'association environnementale SEPANSO. Haut site de nidification d'oiseaux marins, le banc d'Arguin attire également des plaisanciers en période estivale et accueille plusieurs concessions ostréicoles.

A la fin des années 1980, début des années 1990, la diminution de la croissance des huîtres à l'intérieur du bassin d'Arcachon a conduit les ostréiculteurs à occuper des superficies importantes du banc d'Arguin. Cette installation dans la RNN du banc d'Arguin fait aujourd'hui l'objet d'un arrêté préfectoral, pris en application du décret ministériel de 2017 (décret 2017-945, article 15), fixant la surface totale exploitable à 45 hectares, passages compris. En 2020, 90 exploitants se partagent près de 225 concessions réparties dans trois zones abritées (conches) distinctes du banc d'Arguin (situées au nord, au centre et au sud du banc) couvrant une surface totale d'environ 45 hectares (Vieira, 2020). En 2021, un nouvel arrêté préfectoral portant modification des Zones d'Implantations Ostréicoles (ZIO) a été pris, avec une réduction de 10 hectares de la surface totale précédemment occupée afin de tenir compte des très grandes variations hydro-morphologiques annuelles et de la présence d'herbiers à zostères dans les conches.

Long d'environ 4 km et large au maximum de 900 m, le banc concentre donc des enjeux environnementaux, économiques et balnéaires sur une surface évolutive au cours du temps. Le périmètre de la présente expertise concerne le banc d'Arguin et plus particulièrement les 85 concessions situées dans la conche sud du banc (Figure 1).

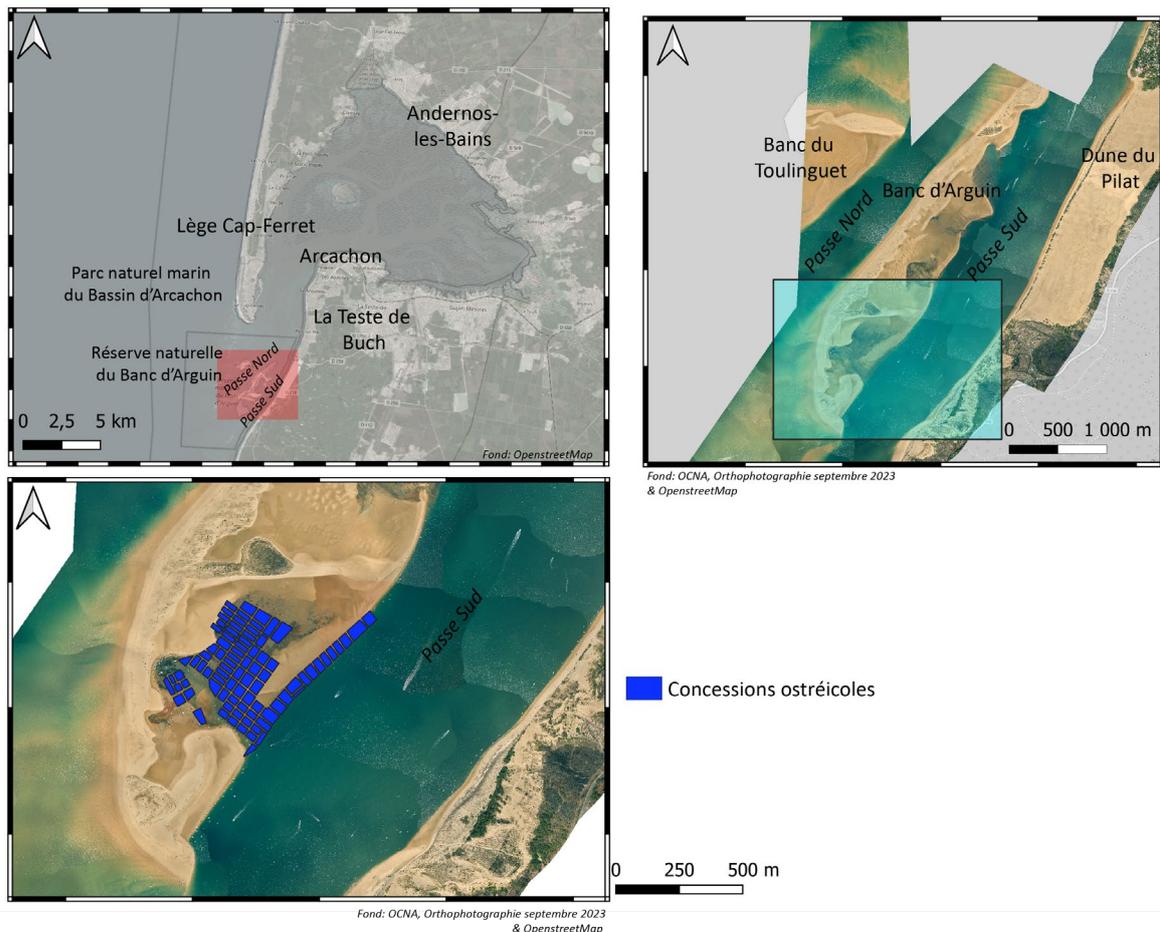


Figure 1 - Localisation du site d'intérêt (orthophotographie de septembre 2023, ©OCNA) et des concessions ostréicoles (DDTM, 2023)

2.2. CONTEXTE HISTORIQUE

L'évolution morphologique du banc d'Arguin est complexe et peut-être caractérisée par des changements massifs et rapides. Elle est soumise à plusieurs paramètres physiques, qui agissent à différentes échelles spatiales et temporelles.

De nombreuses études de différentes natures (recherche ou projet appliqué) ont permis d'analyser les mécanismes spécifiques de l'évolution de l'embouchure du bassin d'Arcachon. Les travaux de l'Ifremer (Bouchet et al., 1977), d'Artelia&GEO-Transfert (2015) et du BRGM (Bernon et Lecacheux, 2020) proposent une synthèse de ces études.

Le fonctionnement hydro-sédimentaire du banc d'Arguin s'inscrit dans la dynamique globale de l'embouchure du bassin d'Arcachon. Plusieurs facteurs influencent la dynamique des passes du bassin : la géologie, la variation en disponibilité sédimentaire, les influences anthropiques, les conditions hydrodynamiques, etc. Prédire avec précision les évolutions à court terme et long terme des bancs de sables (dont le banc d'Arguin), au sein de l'embouchure, s'avère complexe, voire impossible, du fait des multiples interactions entre les facteurs de prédisposition et d'évolution précités. La complexité est accrue du fait de l'influence potentielle des perturbations humaines dans un environnement où la disponibilité sédimentaire évolue, le tout dans un contexte de changement climatique et de variabilité interannuelle des états de mer.

A l'échelle de l'embouchure du bassin d'Arcachon, les évolutions morphologiques sont variables dans le temps (Bouchet et al., 1977 ; Artelia&Geotransfert 2015 ; Bernon et Lecacheux, 2020) :

- à l'échelle *pluri-séculaire* : à partir de reconstitutions historiques, sur les 300 dernières années, la forme générale du bassin d'Arcachon est restée stable, avec une modification importante des largeurs et des profondeurs de l'embouchure, associées à des reculs et des avancées de la Pointe du Cap Ferret et de la Pointe d'Arcachon. Les passes et les bancs de sable ont ainsi migré progressivement vers le sud ;
- à l'échelle *séculaire* : les observations historiques ont conduit à définir une relative cyclicité d'ouverture et de fermeture des passes, avec le passage d'une embouchure, d'un système à deux passes à un système à une passe. À partir des vitesses de migration des bancs observées, un modèle théorique a été élaboré, basé sur un changement d'état tous les 70 à 100 ans environ. Ce modèle présente des limites, car il est défini uniquement sur deux cycles complets, où plusieurs paramètres anthropiques (ouvrages de défense, dragage...) ne sont pas pris en compte et il peut potentiellement être perturbé par l'augmentation du niveau marin, lié au changement climatique ;
- de l'échelle *pluriannuelle à pluri-décennale* : à partir d'images satellites qui permettent un suivi en haute fréquence (Figure 2 a), il est possible d'observer régulièrement l'évolution des passes et des bancs de sable de l'embouchure du bassin d'Arcachon. Ainsi le banc du Toulinguet s'accroît depuis les années 1990, par captage des sédiments provenant du sud de la Pointe du Cap Ferret. Sous l'action des courants de marée et de l'action des vagues, une partie des stocks de sable du banc du Toulinguet migre vers la passe nord et le banc d'Arguin, expliquant, en partie, les variations interannuelles de la superficie du banc. Sur la partie émergée du banc d'Arguin, le transport éolien contribue également aux évolutions morphologiques. Les crochons, situés au sud-ouest du banc, migrent rapidement de plusieurs centaines de mètres par an vers le sud. Ces sédiments alimentent alors progressivement le secteur de la Pointe d'Arcachon par *by-pass* de la passe sud (Figure 2 b). Cependant lors de la traversée du chenal sud, une partie du sable aura tendance à être repris et charrié vers le nord, par le courant de flot, venant alimenter le delta de flot (banc de Bernet). Par ailleurs, du fait de l'orientation générale de la côte et de la propagation complexe des vagues dans ce secteur (interactions avec les courants de marée, diffraction et réfraction autour du banc d'Arguin...), la dérive littorale, localement orientée du sud vers le nord pourra également occasionner la migration de sédiments vers le nord et le delta de flot.

A l'échelle du banc d'Arguin, le sable migre donc principalement vers le sud, avec une dynamique du banc qui se décompose en différentes phases de régression et d'allongement de sa superficie. A partir des images satellites, entre 1984 et 1999, le banc a été principalement en phase régressive, avec en 1999 un banc d'Arguin partagé en plusieurs petits îlots (Figure 2 a). Entre les années 2010 et 2020, la tendance d'évolution de la superficie du banc était à l'allongement de son linéaire émergé pour arriver à un maximum vers les années 2020. Depuis 2020, la surface du banc est de nouveau en phase régressive avec une diminution de sa superficie (Figure 2 a).

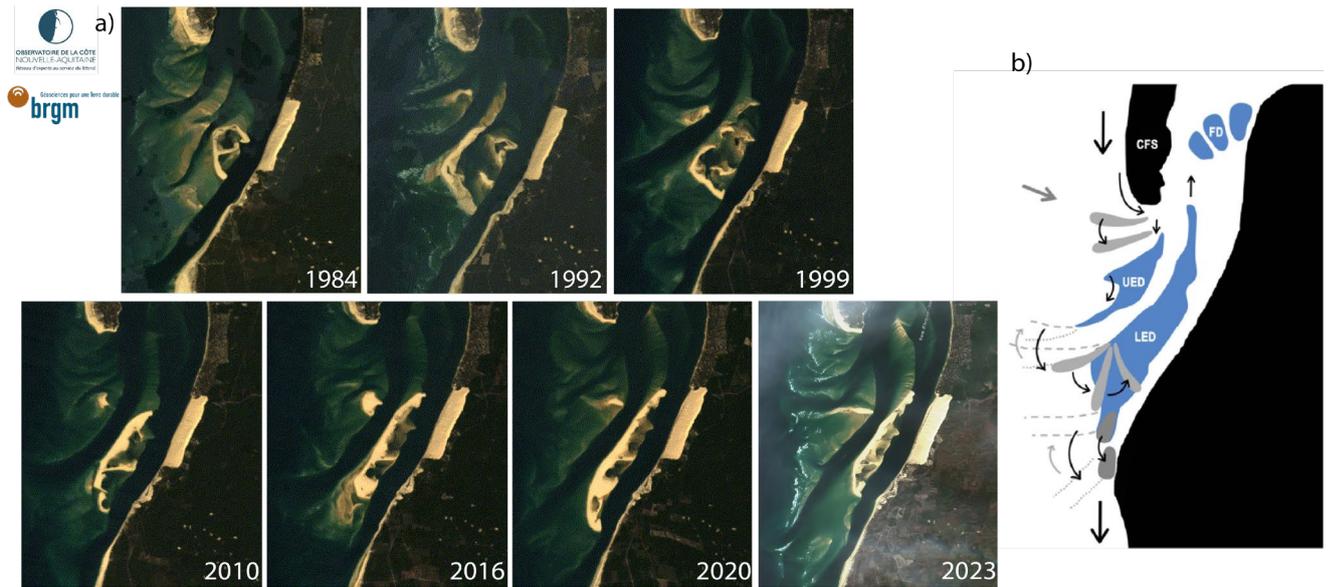


Figure 2 - Évolution du banc d'Arguin de 1984 à 2023 (a) (données issues des images satellites Landsat et Sentinel-2) ; modèle conceptuel de la dynamique sédimentaire de l'embouchure du bassin d'Arcachon (b) proposé par Capo et al. (2014) (zones bleues = deltas de flot et de jusant, zones grises = déplacements du sable, CFS = Cap Ferret Spit, FD = delta de flot, UED = delta de jusant supérieur, LED = delta du jusant inférieur)

3. Constat

3.1. CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES

3.1.1. Niveau d'eau

Le niveau d'eau varie selon deux paramètres principaux : la marée et la surcote atmosphérique.

La surcote atmosphérique correspond à l'excédent du signal de niveau d'eau par rapport à la marée prédite. Les surcotes sont dues à l'effet barométrique inverse, l'accumulation d'eau près des côtes par le vent et le déferlement des vagues proche de la côte.

Sur la côte aquitaine, la marée est de type semi-diurne avec une période de 12h25. En période de vives eaux, l'amplitude au marégraphe d'Arcachon-Eyrac est de 4,35 m et le niveau moyen est de 2,48 m (RAM, 2022).

Les variations du niveau d'eau, détaillées par la suite, ont été obtenues au niveau du marégraphe du réseau REFMAR, de la station Arcachon-Eyrac (44.40°N, 1.10°W). Ces données sont mises à disposition sur le site du SHOM (<http://data.shom.fr/>). Elles sont disponibles toutes les minutes dans le fuseau horaire UTC universel et sont exprimées par rapport au zéro hydrographique (Zh).

3.1.2. Etats de mer

En Aquitaine et plus largement au niveau du golfe de Gascogne, les vagues qui atteignent la côte sont principalement générées par des flux dépressionnaires de l'Atlantique Nord et sont de direction ouest à nord-ouest (Castelle et al., 2017). Il existe une grande variabilité saisonnière et interannuelle avec (Bulteau et al., 2014) :

- un régime hivernal, d'octobre à avril, caractérisé par une forte proportion de houle de grande amplitude (45% d'entre elles dépassent 2 m) et de période longue (75% sont supérieures à 10 s) très énergétiques ;
- un régime estival de mai à septembre, durant lequel les houles sont de faible amplitude (75% sont inférieures à 2 m) et de courte période (80% sont inférieures à 10 s).

Pour caractériser un état de mer, 3 paramètres physiques sont généralement utilisés (Figure 4) :

- la hauteur significative (H_s), qui correspond à la valeur-seuil du tiers supérieur de la distribution des vagues, exprimée en mètre ;
- la période pic, qui correspond à la période associée au pic d'énergie spectrale des vagues, exprimée en seconde ;
- la direction pic, qui correspond au secteur de provenance associé à ce même pic d'énergie, exprimée en degré par rapport au nord.

A partir de ces informations, un indicateur d'énergie potentielle des vagues ou encore dit énergie houlomotrice, peut être calculé, exprimé en Kw/m.

Les données sont issues du modèle MARC-WWIII Global mis à disposition sur le site internet de l'Ifremer (<https://marc.ifremer.fr/>). Le point d'extraction est situé à (45°N, 1.5°W) au large du bassin d'Arcachon. Ces données permettent de renseigner sur les caractéristiques de l'état de la mer au large au moment des tempêtes, mais ne tiennent pas compte des particularités locales

des vagues qui sont considérablement modifiées à la côte, en particulier dans le secteur des passes du bassin d'Arcachon. En complément des données du modèle MARC-WWIII, les données issues de l'houlographe au large du Cap Ferret ont été téléchargées via le site Candhis du CEREMA (Bouée 03302).

Comme le montre la comparaison entre les données observées et celles modélisées, les deux jeux de données sont cohérents entre eux, avec un RMSE inférieur 0,3 m pour les hauteurs significatives des vagues et un RMSE de 0,92 s pour la période (Figure 3). Dans la suite, compte tenu des lacunes, lors des tempêtes, dans les données issues de l'houlographe, les données issues du modèle MARC-WWIII seront privilégiées.

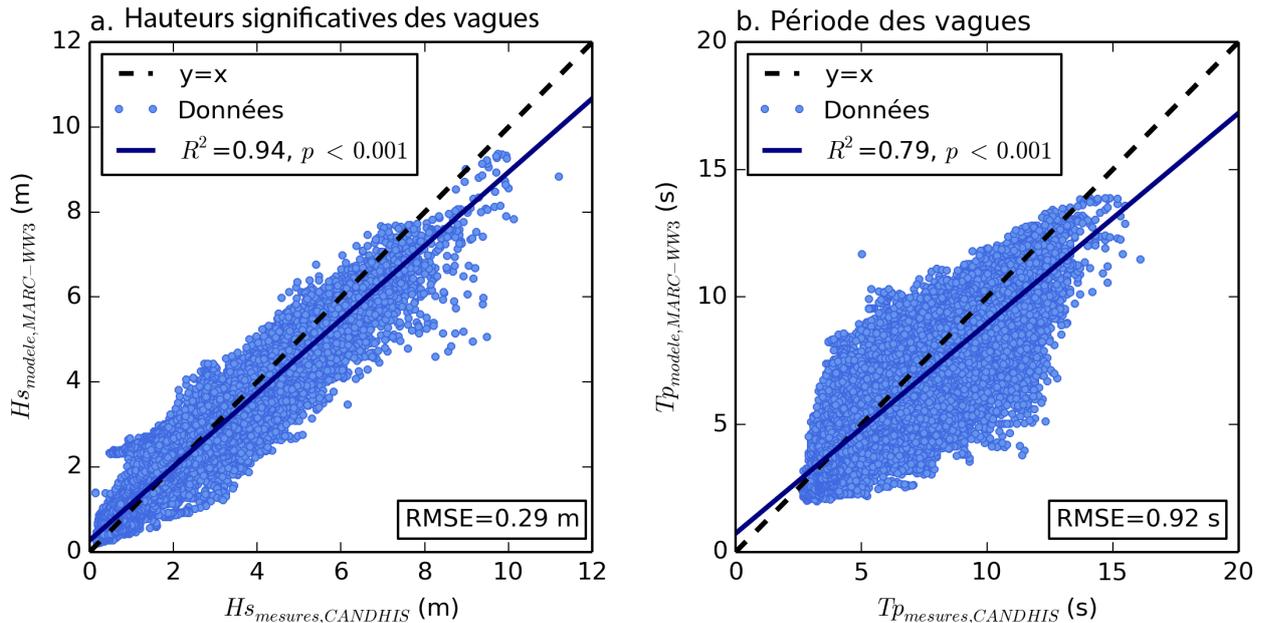


Figure 3 - Graphes bivariés des données observées à la bouée Candhis vs celles issues du modèle de Marc-WWIII pour a) les hauteurs significatives des vagues et b) la période des vagues

Entre le 20 octobre et le 5 novembre 2023, le littoral aquitain a été touché par quatre tempêtes, qui ont fait l'objet de trois notes bilan par l'Observatoire de la côte de Nouvelle Aquitaine : Tempête Aline du 20 au 21 octobre 2023 (NT_BDX-2023-003), Tempête Céline du 27 au 29 octobre 2023 (NT_BDX-2023-004), Tempête Ciaran-Domingos respectivement du 2-3 novembre 2023 et du 4-6 novembre 2023 (NT_BDX_2023-005). Elles précisent les conditions hydrodynamiques lors de ces différents événements (états de mer et niveaux d'eau, Figure 4). Les descriptions des conditions météo-océaniques sont également exposées dans ces notes et rapportées dans les prochains chapitres.

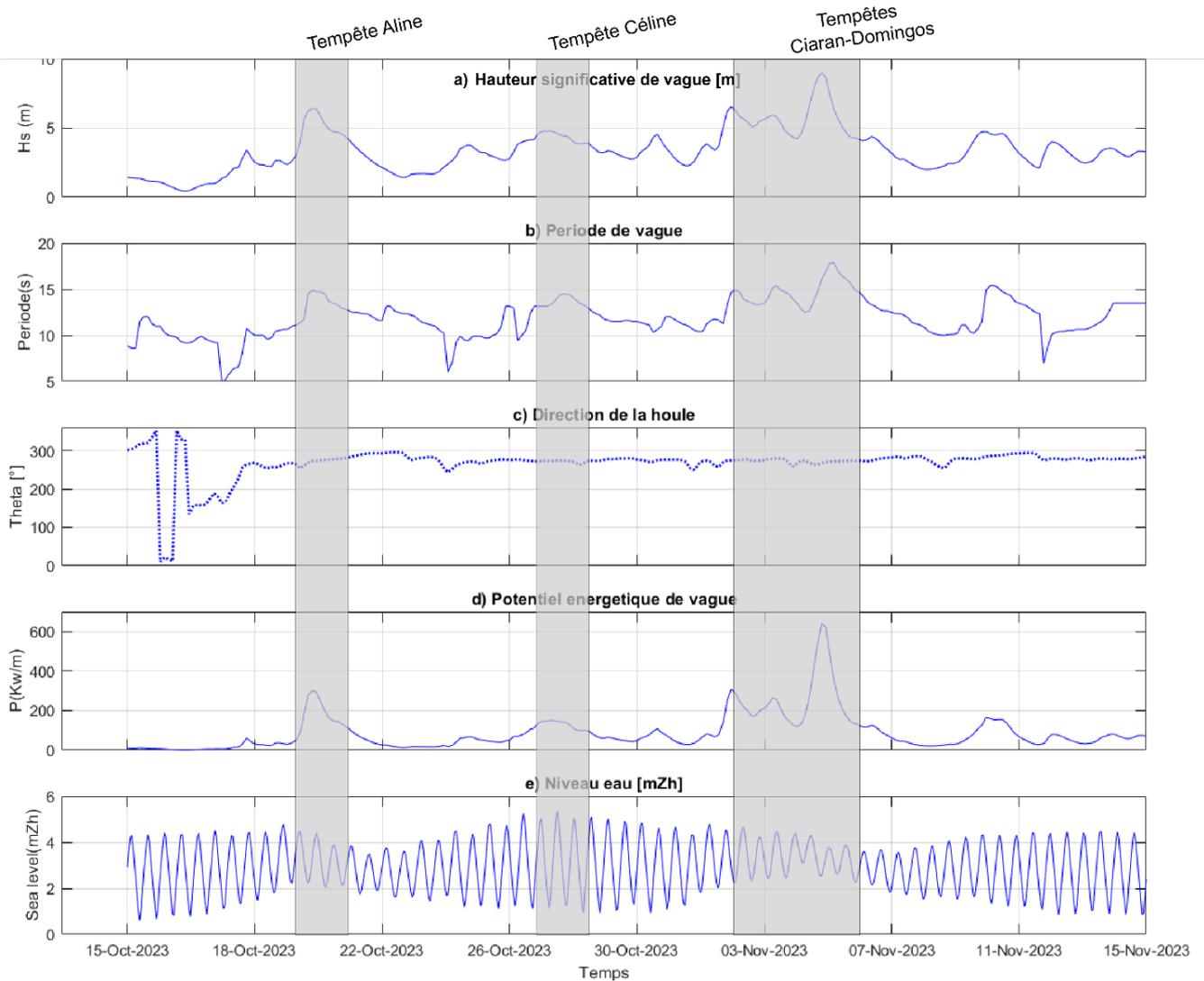


Figure 4 - Paramètres hydrodynamiques au large de l'embouchure du bassin d'Arcachon issus du modèle MARC WWIII Global (Ifremer) au point (45°N ; 1.5°W) et du marégraphe à Arcachon-Eyrac (44.66°N ; 1.16°W) entre le 15 octobre 2023 et le 15 novembre 2023 : (a) hauteur significative [m] ; b) période moyenne [s] ; c) Theta ou direction de la houle [°] ; d) potentiel énergétique de vague [Kw/m] et e) niveau d'eau à Eyrac [en mètre par rapport au zéro hydrographique]

3.1.3. Détails des tempêtes de fin 2023

Tempête Aline (NT_BDX-2023-003)

La tempête Aline a été caractérisée par des conditions de fort vent au cours des journées du 20 et 21 octobre 2023. D'abord à tendance sud-ouest le 20 au matin, le vent est ensuite passé plein ouest dans l'après-midi. Le 20 en fin de journée, le vent a atteint une vitesse moyenne supérieure à 60 km/h au niveau du Cap Ferret.

De fortes vagues ont également touché l'ensemble du littoral régional au cours de ces 2 journées. Le pic de vague a été atteint dans l'après-midi du 20 octobre, où des hauteurs significatives de 6,4 m ont été mesurées, ainsi qu'une période avoisinant les 14 s.

Ces conditions ont engendré des surcotes comprises autour de 90 cm dans le secteur d'Arcachon, dans un contexte de coefficient de marée relativement faible (coefficient de 56 le 20 octobre après-midi). Les niveaux marins mesurés lors de la pleine mer du 20 octobre après-midi n'étaient donc pas particulièrement élevés : 4,48 m Zh (surcote de pleine mer proche de 90 cm) à Arcachon-Eyrac.

Tempête Céline (NT_BDX-2023-004)

La tempête Céline s'est traduite par des conditions de fort vent d'ouest, les 27, 28 et 29 octobre 2023, avec des vitesses moyennes comprises entre 40 et 60 km/h, de la Charente-Maritime jusqu'au nord des Landes.

Elle s'est également traduite par des vagues énergétiques dans l'ensemble du golfe de Gascogne, caractérisées par des périodes comprises entre 12 et 13 s et des hauteurs significatives avoisinant les 5 m, mesurées au niveau des bouées Cap-Ferret et Anglet. Les hauteurs maximales de vagues ont atteint des valeurs supérieures à 9 et 7 m au niveau de ces bouées respectives.

Ces conditions ont engendré des surcotes d'environ 70 cm dans le secteur d'Arcachon, dans un contexte de forts coefficients de marée (103 le 28 octobre après-midi), élevant ainsi le plan d'eau à des niveaux très élevés. Lors de la pleine mer du 28 octobre après-midi, le niveau marin a été mesuré à 5,35 m Zh (surcote de pleine mer proche de 70 cm) à Arcachon-Eyrac. À titre de comparaison le niveau atteint à ce marégraphe lors de la tempête Xynthia était de 5,53 m Zh.

Tempête Ciaran-Domingos (NT_BDX_2023-005)

La première tempête Ciaran a atteint la moitié nord de la France à partir du 1^{er} novembre au soir, avec une intensité maximale dans la matinée du 2 novembre. Des vents violents se sont abattus de la Gironde à la Charente-Maritime avec des vents moyens entre 70 et 80 km/h et des rafales pouvant atteindre 100 à 110 km/h enregistrées à la station du Cap-Ferret.

Ces conditions ont engendré des vagues particulièrement énergétiques le jeudi 2 novembre au matin, avec un pic de houle d'environ 6-7 m à la bouée de Cap-Ferret. Ces conditions, bien que très énergétiques, étaient associées à un coefficient de marée de 70. En conséquence, les niveaux marins mesurés ont été élevés sans toutefois atteindre des valeurs remarquables. Les niveaux marins maximums (et les surcotes maximales) mesurés ont été de 4,78 m Zh (1 m) au marégraphe d'Arcachon-Eyrac.

La seconde tempête, Domingos, a atteint la Nouvelle-Aquitaine deux jours plus tard avec un pic d'intensité dans la nuit du 4 au 5 novembre. Les vents forts, localisés sur la Gironde et la Charente-Maritime, ont atteint, dans ces secteurs, des pics supérieurs à Ciaran, avec des valeurs moyennes mesurées de 90 km/h et des rafales dépassant les 130 km/h au Cap-Ferret.

Lors de Domingos, les vagues mesurées en Gironde ont été particulièrement énergétiques avec un pic de hauteur significative mesuré à la bouée du Cap-Ferret de près de 9,5 m et des hauteurs maximales dépassant les 15 m. Malgré ces conditions, le coefficient de marée étant à la baisse (coefficient 40 le 4 novembre et 30 le 5 novembre), les niveaux marins atteints ont été très modérés, bien en dessous des valeurs atteintes pour Céline et Ciaran. Les marégraphe ont enregistré des valeurs maximales de 4,42 m Zh à Arcachon-Eyrac.

Toutefois, la surcote maximale mesurée au marégraphe d'Arcachon-Eyrac, de 1,5 m, témoigne du caractère exceptionnel de l'évènement dans ce secteur de la Gironde. En effet, il s'agit de la

seconde valeur de surcote la plus forte enregistrée depuis l'installation du marégraphe, après la tempête Klaus en 2009.

Pour caractériser la période de retour des tempêtes, les hauteurs significatives des vagues extraites des données MARC-WIII ont été comparées avec les résultats issus des travaux de Bulteau et al. (2013)¹, au point d'extraction Gascogne_10 (44,7N ; 1,6°W). Ainsi, les vagues des tempêtes Aline, Céline et Ciaran ont une période de retour annuel et celle de Domingos ont une période de retour décennal.

3.2. EVOLUTION SEDIMENTAIRE DE LA CONCHE SUD

3.2.1. Définition d'un profil topographique « type » du banc d'Arguin

D'ouest en est, le profil morphologique transversal typique du banc d'Arguin est représenté en Figure 5. L'extrémité ouest, exposée à la façade océanique atlantique ouverte, présente une pente forte, qui correspond à un cordon sableux érigé par le vent et les forçages marins. Après la crête, le profil redescend en pente douce jusqu'à la rive « est », non exposée aux houles en formant une plage. Au fil du temps et particulièrement lors des tempêtes, les morphologies du cordon sableux et de la plage peuvent varier (abaissement de la crête du cordon sableux, amincissement de la largeur de la plage, déplacement vers l'est...), sous l'action du vent et des vagues.

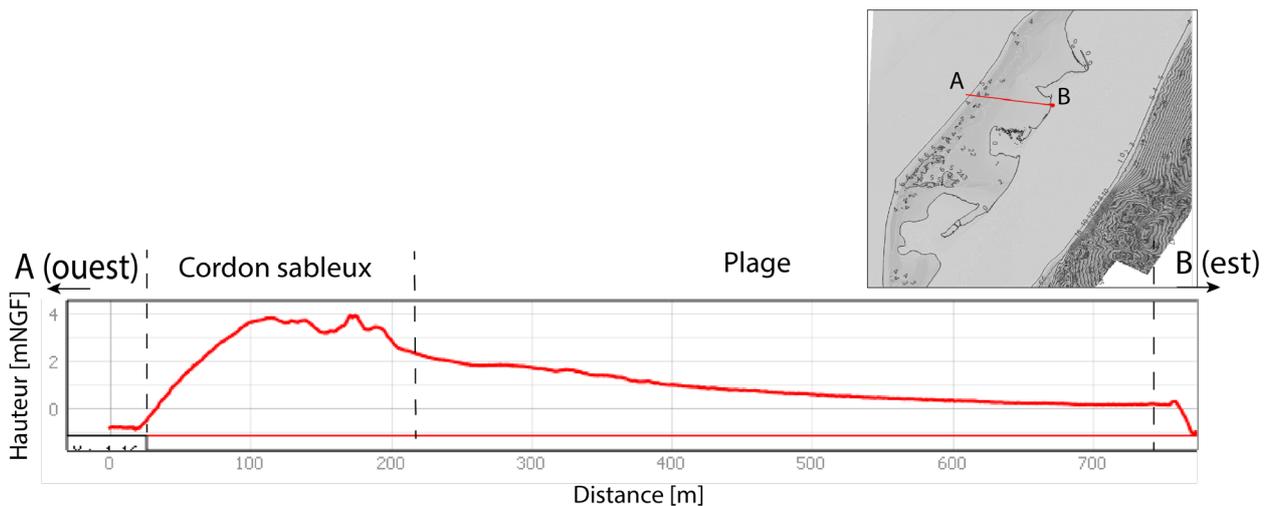


Figure 5 - Profil type ouest/est du banc d'Arguin, issu du Lidar 2023 (OCNA)

3.2.2. Évolution à l'échelle du banc d'Arguin

L'analyse des images satellites Sentinel-2, d'une résolution spatiale de 10 m, renseigne sur l'évolution morphologique du banc d'Arguin au cours de la période étudiée. La sélection des images dépend de la nébulosité, ainsi seules quelques images autour de la période des tempêtes d'octobre/novembre 2023 sont exploitables. Par ailleurs, il est nécessaire de prendre en compte que le niveau d'eau est variable d'une image à l'autre, susceptible d'influencer la superficie

¹ Bulteau et al. (2013) ont analysé les valeurs extrêmes de vague le long de la côte atlantique et en Manche. Dans leur étude, les données de vague proviennent de la base de données BoBWA-10kH issues de simulations effectuées avec le modèle de vagues de 3^e génération WaveWatch III.

émergée du banc visible sur les différentes images (Figure 6). Toutefois, ces images restent pertinentes pour témoigner d'évolutions marquantes de la morphologie du banc.

Ainsi, qualitativement on observe qu'entre le 30 octobre et le 9 novembre, le sud du banc a connu une importante évolution avec l'apparition d'une brèche, qui a scindé le banc en deux entités (Figure 6). Le cumul des tempêtes et des coups de mer a entraîné un amincissement de l'extrémité sud favorisant la mise en place de cette brèche lors des tempêtes Ciaran-Domingos.



Figure 6 - Évolution du banc d'Arguin à partir des images satellites Sentinel-2, entre le 10 octobre 2023 et le 7 novembre 2024 ; le z correspond au niveau d'eau, à l'heure de prise de vue, issu de la station marégraphique d'Arcachon-Eyrac donné par rapport au zéro hydrographique

Quantitativement, la comparaison entre l'image pré-tempête du 10 octobre 2023 (niveau d'eau de 2,6 m Zh) et celle post-tempête du 7 février 2024 (niveau d'eau 2,33 m Zh) montre un déplacement de la pointe sud du banc émergé comprise entre 200 m et 240 m vers le nord. En parallèle, le nord du banc est resté relativement stable sur sa longueur alors que sa largeur a diminué d'environ 50 m (Figure 7).



Figure 7 - Évolution morphologique du banc d'Arguin entre le 10 octobre 2023 et le 7 février 2024

3.2.3. Évolution à l'échelle de la conche sud

a) Données topographiques disponibles

Levé Lidar

Dans le cadre de l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine (OCNA), un levé lidar aéroporté et une orthophotographie ont été réalisés par l'entreprise Sintegra en septembre 2023 et en septembre 2022. La technologie lidar permet d'obtenir un modèle numérique de terrain (MNT) de très haute résolution et précision. La comparaison des données de Sintegra avec des points au sol ont permis de déterminer une incertitude d'environ 10 cm en altimétrie et d'environ 20 cm en planimétrie (Ayache et Billère, 2023).

Levé au DGPS

Le 15 janvier 2023, lors du déplacement sur le terrain, des mesures topographiques ont été effectuées à l'aide d'un DGPS (*Differential Global Positioning System*) Trimble R10 en levé RTK (*Real Time Kinematic*). La mesure obtenue au niveau du DGPS est de précision centimétrique en planimétrie et de l'ordre de 5 cm en vertical. Les points ont été levés sur l'ensemble du site d'intérêt.

Ces jeux de données topographiques ont été comparés, permettant d'avoir une information sur les épaisseurs de sédiments mobilisés entre les différentes acquisitions, soit entre septembre 2022, septembre 2023 et janvier 2024.

La DDTM33 a par ailleurs effectué des levés des limites morphologiques du banc les 30 octobre, 13 novembre, 28 novembre et 14 décembre 2023. Ils sont reportés sur certaines figures et utiles à la compréhension du phénomène.

b) Analyse des évolutions

À l'échelle de la conche sud, l'analyse des MNT, avant la saison hivernale de 2023, montre une fragilisation du cordon sableux entre 2022 et 2023. Ainsi le long d'un profil situé dans l'axe de la brèche, entre septembre 2022 et septembre 2023, le sommet du cordon sableux s'est déplacé d'environ 150 m vers l'est, s'est abaissé d'environ 1 m et la largeur du cordon a diminué, passant de 200 m de large à environ 107 m (Figure 8). Cette évolution pluriannuelle illustre la phase régressive dans laquelle se trouve le banc, qui se traduit par un recul chronique et continu de la morphologie de la conche sud, au droit des parcs ostréicoles et ceci en absence de tempête ou de conditions hydrodynamiques énergétiques.

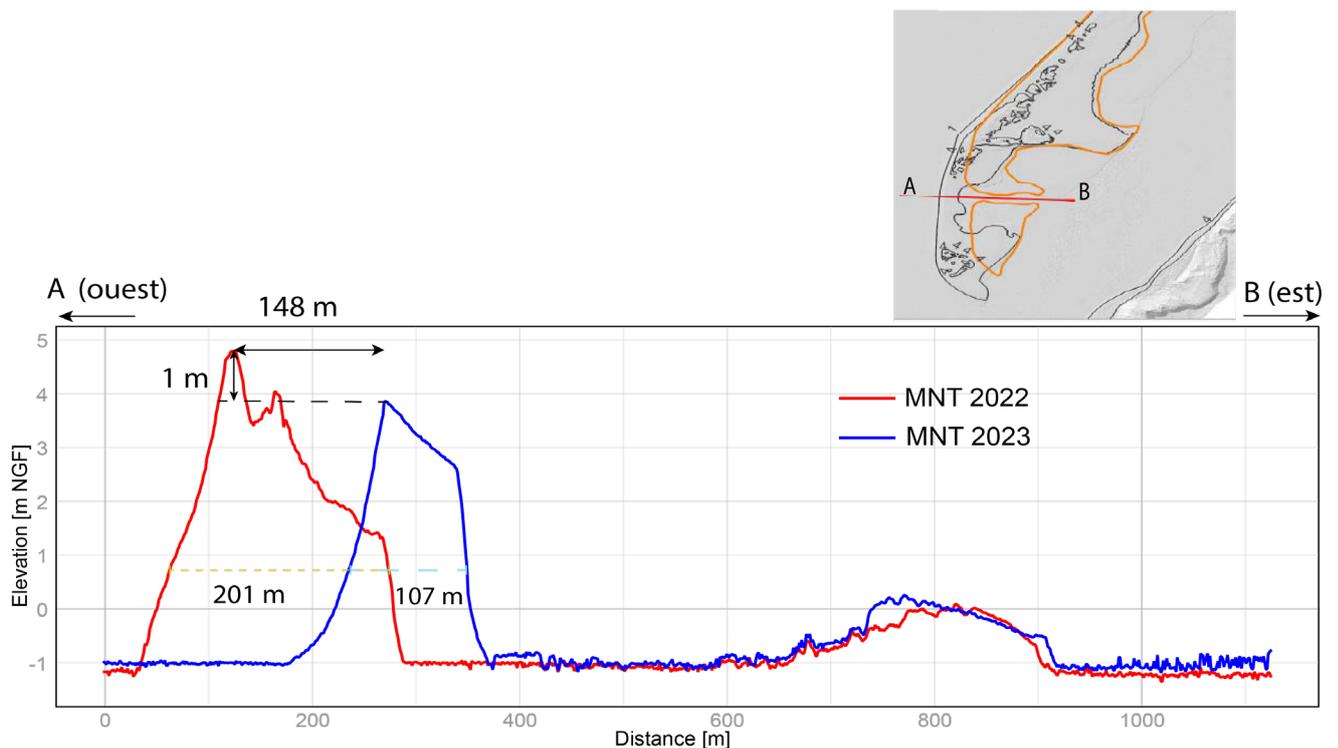


Figure 8 - Évolution du profil topographique au droit de la brèche, entre le MNT de septembre 2022 et celui de septembre 2023 ; dans l'encart, la ligne orange représente la limite du banc du 7 février 2024 et la noire celle de septembre 2023 (données topographiques issues des données lidar acquises dans le cadre de l'OCNA)

Fin 2023, les vagues des tempêtes d'Aline et Céline ont déferlé sur un cordon sableux réduit en terme de hauteur et de largeur, engendrant un déplacement de la limite d'ensablement de plus de 136 m vers l'est entre le 10 et le 30 octobre 2023. Lors de la tempête Ciaran-Domingos, la brèche s'est formée au droit des enjeux conchylicoles, engendrant un déplacement de plus de 100 m entre le 30 octobre et le 13 novembre, ensevelissant les parcs ostréicoles. Ainsi la grande partie des concessions ostréicoles de la conche sud s'est retrouvée recouverte par le sable entre le 30 octobre et le 14 décembre (Figure 9 & Figure 10).

Dès la brèche ouverte, sans spécialement d'autres événements énergétiques, le sable a continué de se déplacer, sous l'action des courants de marées et de vagues, jusqu'à ce que le cordon sableux atteigne l'avant-dernière rangée des concessions ostréicoles (limite orange de la Figure 9). Une fois que le sable a atteint la rive est du banc, une partie de celui-ci a été mobilisée par le flot et transportée vers le nord.



Figure 9 - Plan de situation "Arguin Conche Sud" du 14 décembre 2023 : le trait de côte correspond à la limite du jet de rive levé à marée basse sur la face océanique, la limite d'ensablement correspond à la limite du jet de rive sur la face est du banc d'Arguin et la limite de la butte de sable correspond à la rupture de pente entre le cordon sableux et la plage (©DDTM33)

En parallèle, la partie sud du banc scindé a diminué de taille et s'est déplacée vers le nord-ouest. En effet, une partie du sable s'est déplacée sous l'action de différents facteurs : le flot et la dérive littorale qui, du fait de la réfraction de la houle, peut être orientée du sud vers le nord. Une autre partie du sable a été remobilisée vers le sud pour alimenter la plateforme sédimentaire sur laquelle repose le banc. Il est difficile de quantifier les volumes de sable mobilisés vers le nord-ouest et ceux vers le sud. Néanmoins ces déplacements sédimentaires ont conduit à ensevelir les parcs ostréicoles et à isoler, à marée basse, la dépression dans laquelle ils sont situés.

Concernant les épaisseurs de sable déplacés, le différentiel, entre les points au DGPS acquis le 15/01/2024 et ceux aux lidar de septembre 2023, met en évidence des épaisseurs comprises entre environ 0 et 3 m. Ainsi les parcs ostréicoles sont en moyenne sous environ 1,5 m de sable, avec des valeurs maximales pouvant atteindre 2,81 m pour la concession n°71002648 (Figure 10).

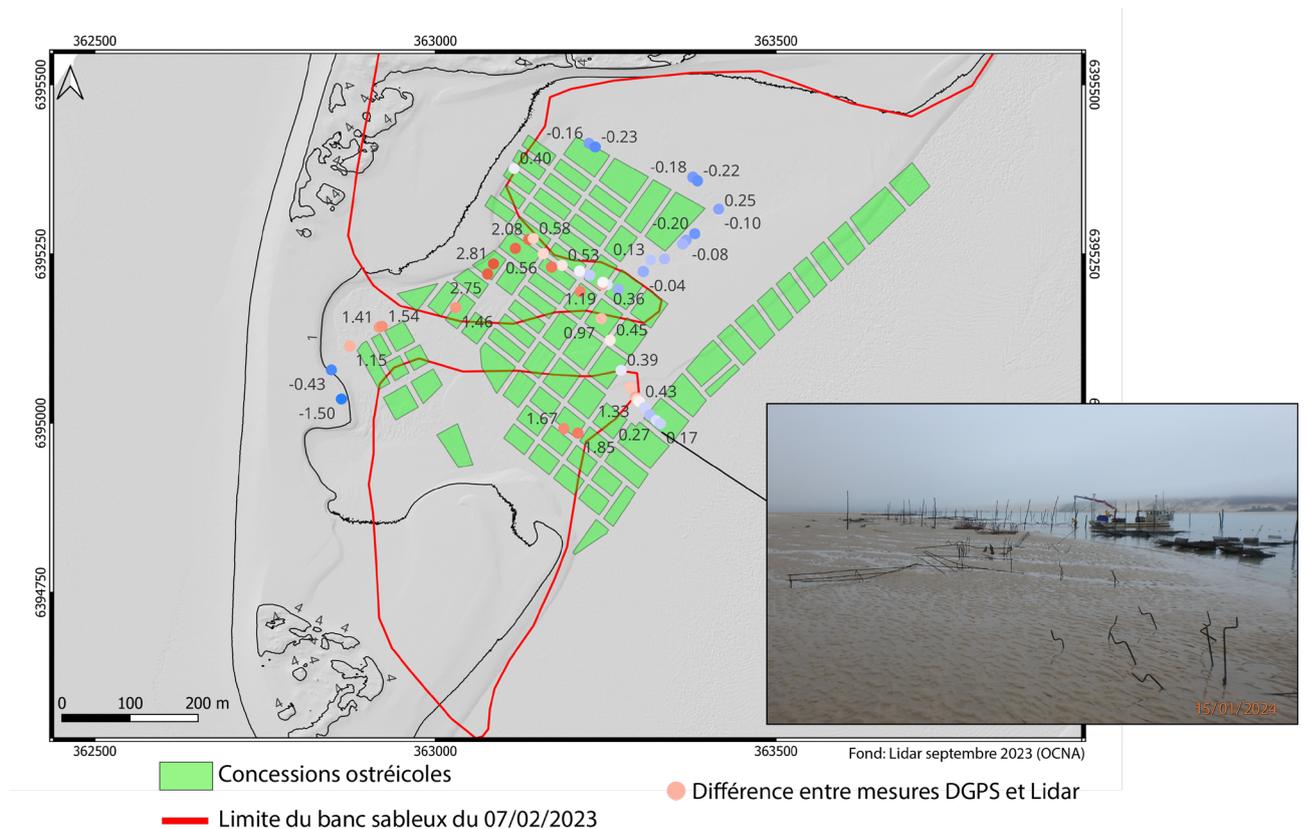


Figure 10 - Épaisseurs de sable au droit de la conche sud, avec les chiffres indiquant la différence entre les valeurs mesurées au DGPS le 15 janvier 2024 et les valeurs du levé lidar de septembre 2023 (les lignes noires correspondent aux isocontours en m NGF en septembre 2023) ; ensablement des parcs ostréicoles illustré par la photo (15/01/2024 ©BRGM)

4. Diagnostic, risques résiduels et recommandations

4.1. LIENS ENTRE LES EVOLUTIONS SEDIMENTAIRES ET LES CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES D'OCTOBRE/NOVEMBRE 2023

Les tempêtes Aline, Céline et Ciaran ont été caractérisées pour les hauteurs significatives de vague au large de périodes de retour annuelles, et la tempête Domingos de période de retour décennale.

Bien que les tempêtes Céline, Ciaran et Domingos aient été d'intensités croissantes, elles sont à l'inverse intervenues lors de coefficients de marée décroissants.

Ainsi, la conche sud dont la superficie est en régression depuis 2020 a connu une succession d'évènements énergétiques depuis le début de l'hiver. Cette succession de tempêtes a progressivement dégradé l'état du cordon sableux sur sa face ouest, exposée aux houles, conduisant lors des évènements Ciaran-Domingos à l'apparition d'une brèche au droit des concessions ostréicoles. Une fois la brèche ouverte, sous l'action des courants de marée, une circulation d'eau s'est mise en place agrandissant la taille de la brèche à chaque marée et favorisant le déplacement du sable vers la dépression plus à l'est, ensevelissant une grande partie des parcs ostréicoles. En parallèle, l'extrémité sud du banc scindé s'est déplacée vers le nord. Une partie des sédiments le constituant a également pu être redistribuée par le chenal de flot et sur la plateforme au sud-ouest du banc d'Arguin (Figure 11).

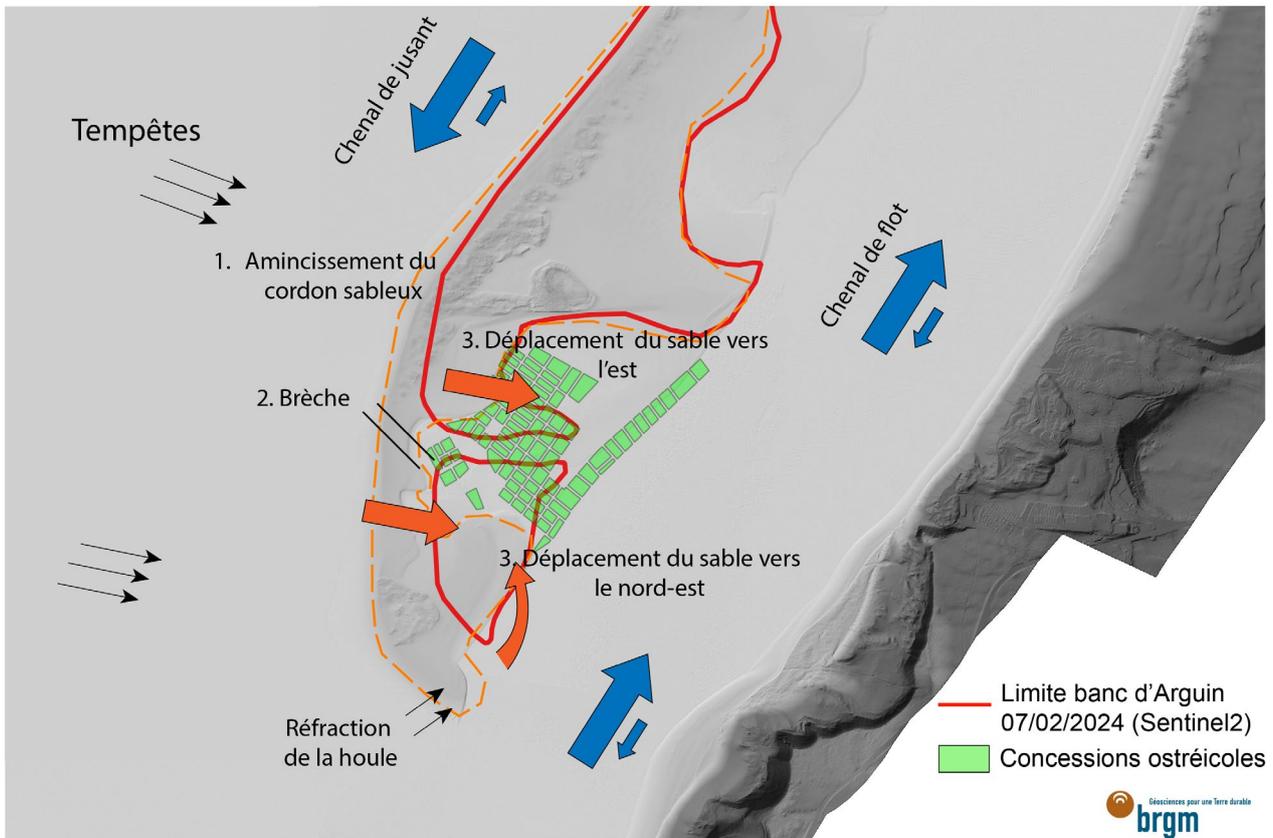


Figure 11 - Synthèse de l'évolution du banc d'Arguin suite aux tempêtes d'octobre et novembre 2023

4.2. RISQUES RESIDUELS

La période hivernale n'étant pas terminée, d'autres tempêtes peuvent arriver sur les côtes aquitaines. Même si elles peuvent être moins énergétiques que Ciaran-Domingos, en cas de cumuls de conditions de hauts niveaux d'eau associés à de forts coefficients de marée et de fortes vagues, elles pourront entraîner d'importants phénomènes de redistribution des sédiments dans ce secteur déjà exposé.

4.3. RECOMMANDATIONS

Dans l'objectif d'améliorer la prévention des impacts des tempêtes sur le site du banc d'Arguin, et en complément des données déjà acquises par les acteurs locaux (DDTM, OCNA, SEPANSO), il est recommandé de structurer les actions en :

- un suivi semestriel morphologique du banc dans l'objectif d'améliorer la connaissance sur son évolution dans le contexte global de l'embouchure du bassin d'Arcachon ;
- un suivi renforcé du banc en période hivernale, de fréquence hebdomadaire ou bimensuelle, à l'aide de données topographiques, de relevés morphologiques sur le terrain et de photographies (satellite, images drones), visant à identifier les zones de vulnérabilité de ce corps sableux, ses potentielles évolutions, et les éventuels impacts sur les enjeux ;
- un suivi quotidien des conditions météo-marines en période hivernale, associé à un protocole d'urgence de gestion des risques liés à l'occurrence de tempêtes au droit de l'embouchure du bassin d'Arcachon.

L'ensemble de ces moyens mis en œuvre pourraient améliorer la connaissance sur les processus physiques qui influencent l'évolution morphologique d'un environnement complexe, à savoir le banc d'Arguin. Ces connaissances pourraient favoriser l'anticipation des évolutions prochaines et futures du banc d'Arguin, constituant ainsi la prévention et la gestion des enjeux qui s'y trouvent (agricoles, économiques, environnementaux).

4.4. IMPACTS BIOLOGIQUES SUR LES HUITRES

Les tempêtes annuelles provoquent l'érosion et le transport massif de sable dont le dépôt peut ensevelir les tables ostréicoles et entraîner des mortalités massives d'huîtres par suffocation. Des expérimentations, menées pour évaluer la mortalité des huîtres liée à l'enfouissement, montrent que de faibles profondeurs suffisent à entraîner la mort des huîtres : les profondeurs d'enfouissement létales des huîtres adultes se situent entre 10 et 20 mm sous la surface des sédiments (Colden et Lipcius, 2015). La mortalité augmente généralement avec l'augmentation de la profondeur d'enfouissement et l'allongement du temps d'enfouissement. Un taux de mortalité de 100% est atteint en 7 jours d'enfouissement à 76 mm au-dessous de la surface du sédiment. Ce temps peut être réduit à 2 jours si la température de l'eau est supérieure à 18°C (Dunnington, 1968). Les huîtres diploïdes et triploïdes réagissent de la même manière à l'enfouissement.

Lors des tempêtes qui ont frappé le banc d'Arguin à l'automne 2023, les huîtres ont été enfouies sous plusieurs décimètres et jusqu'à un peu moins de trois mètres de sable par endroit. A ces profondeurs, le poids du sable sur les valves exclut toutes possibilités d'échanges gazeux avec le milieu empêchant l'huître de respirer et de filtrer l'eau pour se nourrir. Du fait des conditions météo-marines suivant la tempête Domingos, les professionnels n'ont pu se rendre sur le banc d'Arguin que 3 jours après, pour tenter de désensabler les poches d'huîtres et ramener dans leurs

viviers ou dans d'autres parcs ce qui pouvaient encore l'être. Le 15 janvier 2023, lors du déplacement sur le terrain, un ostréiculteur était présent sur sa concession, située en bordure du chenal de flot, pour tenter de désensabler les poches atteignables à l'aide d'une pompe à eau (Figure 12). Dans les poches totalement enfouies sous le sable et rendues noires par la décomposition de la matière organique, toutes les huîtres étaient mortes. Dans les poches partiellement enfouies, quelques huîtres étaient encore vivantes.



Figure 12 - Désensablement des poches d'huîtres situées dans la conche sud du banc d'Arguin en bordure du chenal du flot (passe sud), le 13 janvier 2023

Pour ces huîtres survivantes qui n'ont été que partiellement ensablées ou qui ont pu être récupérées rapidement, la question se pose de leur survie à plus long terme. Beaucoup d'huîtres récupérées présentaient des bords de valves ébréchées, ou ont pu être affaiblies par l'énergie consommée pour évacuer le sable obstruant leurs branchies, ce qui pourrait les rendre plus vulnérables à la prédation et aux maladies ou, a minima, ralentir leur croissance.

5. Bibliographie

Artelia&GeoTransfert (2015) – Érosion au niveau des passes du Bassin d'Arcachon Phases 1 et 2 : Diagnostic Risque. Rapport provisoire. Réf : 87133409 / V1

Ayache B., Billère M. (2023) - Avis technique relatif à la qualité du Lidar et de l'orthophotographie 2022, acquis dans le cadre de l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine. Rapport final version1 du 05/09/2023. BRGM/RP-73015-FR, 133 p., 8 Ill., 5 tab., 3 ann.

Bernon N., Lecacheux S. (2020) – Etat des connaissances sur la dynamique hydrosédimentaire à l'embouchure du Bassin d'Arcachon, en lien avec la stratégie locale de gestion de la bande côtière de la Teste-de-Buch. Rapport final. BRGM/RP-69920-FR, 48 p., 29 fig., 1 tab., 1ann.

Bouchet J.M, Deltreil J.P, Manaud F., Maurer D., Trust G. (1997) – Etude intégrée du Bassin d'Arcachon – Synthèse 129 p. et Tome 1349 p.

Bulteau T., Nicolae Lerma A., Lecacheux S., (2013) - Projets Climats de houle – Phase 2 : Analyse des valeurs extrêmes de vagues le long de la côte Atlantique et en Manche. Rapport final. BRGM/RP-62730-FR, 49p., 26fig., 3 ann.

Bulteau T., Mugica J., Mallet C., Garnier C., Rosebery d., Maugard F., Nicolae Lerma A., Nahon A, avec la collaboration de Millescamps B. (2014) – Évaluation de l'impact des tempêtes de l'hiver 2013/2014 sur la morphologie de la Côte Aquitaine. Rapport final. BRGM/RP-63797-FR, 68p., 138 fig., 8 tab., 2 ann.

Castelle, B., Bujan, S., Ferreira, S., Dodet, G. 2017. Foredune morphological changes and beach recovery from the extreme 2013/2014 winter at a high-energy sandy coast. *Marine Geology* 385, 41–55. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2016.12.006>

Capo S., Lubac B., Marieu V., Robinet A., Bru D., Bonneton P. (2014) – Assessment of the decadal morphodynamic evolution of a mixed energy inlet using ocean color remote sensing. *Ocean Dynamics* 64, 1517-1530.

Colden A. M., Lipcius R. N. (2015). Lethal and sublethal effects of sediment burial on the eastern oyster *Crassostrea virginica*. *Marine Ecology Progress Series*, 527, 105-117.

Deburghgraeve A., Robinet A, Lecacheux S, Destribats B., (2023) - Note de l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine bilan de la tempête Aline (20-21 octobre 2023). Note. **NT_BDX-2023-003**, 19p.

Deburghgraeve A., Robinet A, Lecacheux S, Destribats B., (2023) - Note de l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine bilan de la tempête Céline (27-29 octobre 2023). Note. **NT_BDX-2023-004**, 27 p.

Deburghgraeve A., Robinet A, Lecacheux S, Destribats B., (2024) - Note de l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine bilan des tempêtes Ciaran (2-3 nov. 2023) et Domingos (4-6 nov. 2023). Note. **NT_BDX-2023-005**, 32p.

Dunnington E. A. (1968). Survival time of oysters after burial at various temperatures. National Shellfisheries Association.

Vieira J. (2020), L'ostréiculture du banc d'Arguin : Enquête et rapport bibliographique – CAPENA, 27p.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale : BRGM Nouvelle-Aquitaine Pessac

24 avenue Léonard de Vinci

33600 Pessac - France

Tél. : 05 57 26 52 70

www.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm