



MINISTÈRE DES ARMÉES

Description sommaire de l'état de la connaissance et des caractéristiques physiques de la façade maritime Sud Atlantique

Référence – Lot 7

Auteurs : Marie Laurent, Julie Bignon, Méril Mérindol, Loïc Moutoussamy, Edith Leborgne, Yann Le Faou, Thierry Garlan, Laure Avisse, Thierry Philippe, Régis Noël, Stéphanie Desmare, Thibault Delahaye, Claire Fraboul, Laurent Leballeur

Référence : Convention Shom/MTES [DGEC], SHOM n°79/2019, relative à la réalisation des études de reconnaissance environnementale de site en vue des appels d'offres pour l'implantation d'éoliennes en mer au large des côtes françaises.

TABLE DES MATIERES

Introduction	3
1. Terminologies	3
2. Description de la macrozone	5
3. Bathymétrie	6
4. Sédimentologie.....	7
5. Hydrologie	11
6. Courantologie	13
7. Marée et niveaux extrêmes.....	17
8. États de mer	20
Annexes	22
1. Glossaire	22
2. Cartes houle.....	24

Introduction

En vue de préparer le débat public sur les projets d'Énergies Marines Renouvelables (EMR) de la façade Sud Atlantique, la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) relevant du Ministère de la Transition Ecologique (MTE) a chargé le Shom d'évaluer la connaissance actuelle des caractéristiques physiques des différentes façades maritimes du territoire français. En effet, à la suite des modifications législatives issues de la loi ESSOC du 10 août 2018, le public est amené à se prononcer sur les projets éoliens en mer en amont du lancement des procédures de mise en concurrence. La synthèse des connaissances des caractéristiques physiques de la zone d'étude vise à fournir des informations essentielles pour éclairer le grand public et l'ensemble des acteurs impliqués au débat public. Ces données aideront à mieux comprendre les paramètres qui pourraient influencer la sélection de zones privilégiées pour les projets éoliens sur les façades maritimes.

Dans une première partie, les terminologies utilisées dans la présente étude seront présentées (Section 1). Une deuxième partie présentera la façade Sud Atlantique dans sa globalité (Section 2). Les sections suivantes présenteront une synthèse des connaissances actuelles des principales caractéristiques physiques de la zone d'étude. Ces caractéristiques comprennent la bathymétrie (Section 3), la sédimentologie (Section 4), l'hydrologie marine (Section 5), les courants (Section 6), la marée et les niveaux extrêmes (Section 7), et la houle et vagues (Section 8).

1. Terminologies

1.1 *La bathymétrie*

La bathymétrie consiste à évaluer les profondeurs et les reliefs du fond marin afin de déterminer la topographie des fonds océaniques. Les mesures bathymétriques modernes sont réalisées au moyen d'instruments acoustiques appelés sondeurs bathymétriques, pouvant être de type mono-faisceau ou multifaisceaux. Toutefois, dans de nombreuses régions à travers le monde, la bathymétrie est principalement basée sur d'anciennes mesures effectuées à l'aide d'un plomb de sonde.

1.2 *La sédimentologie*

En milieu marin, la sédimentologie englobe l'étude des sédiments marins, qui sont formés par des particules solides transportées et déposées par des processus marins tels que les courants, les vagues et les marées. Ces sédiments, composés d'un mélange de particules anciennes et récentes, biologiques et lithiques, terrestres, fluviatiles et marines, s'accumulent au-dessus de substrats rocheux plus anciens constituant les plateformes continentales. Les couvertures sédimentaires varient en fonction de leurs caractéristiques sédimentologiques (i.e., granularité, nature du sédiment), de la quantité de matériel disponible, de la profondeur, de la géomorphologie du substrat rocheux et des variations eustatiques au cours des temps géologiques qui peuvent faire varier l'épaisseur sédimentaire de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres. Il en résulte des structures sédimentaires de natures variées tels que des paléo-vallées (lits d'anciennes rivières partiellement ou totalement remblayées par des sédiments), des dunes ou des bancs sableux qui créent des reliefs. En fonction de leur orientation et de leur vitesse, les courants marins, qu'ils soient dus aux marées ou à la houle, peuvent mettre en mouvement ces structures sédimentaires.

L'objectif principal d'une étude sédimentologique d'une zone est de déterminer la nature des fonds marins, les processus en jeu dans la dynamique sédimentaire ainsi que l'épaisseur de sédiments concernés.

1.3 *La marée*

Les marées représentent les variations du niveau de la mer dues à l'action gravitationnelle des astres, en particulier la lune et le soleil. L'objectif principal de l'étude des marées est de comprendre la manière dont les océans réagissent à ces forces gravitationnelles afin de prédire avec précision les variations du niveau de la mer sur des échelles de temps allant de quelques jours à plusieurs années.

1.4 Les courants marins

Les courants marins correspondent au déplacement continu d'eau dans une direction spécifique en domaine marin. Deux origines distinctes peuvent être à leur origine :

- Les courants de marée, également connus sous le nom de courants gravitationnels, qui sont engendrés par l'attraction newtonienne qui génère les marées.
- Les courants radiationnels, quant à eux, trouvent leur origine dans le rayonnement solaire, responsable de phénomènes tels que les vents, les saisons, les perturbations météorologiques, ainsi que les variations spatiales de densité des océans qui peuvent entraîner des mouvements au sein des masses d'eau.

1.5 L'hydrologie marine

L'hydrologie marine comprend l'étude des propriétés physiques et chimiques de l'eau de mer, telle que la densité qui est étroitement liée à la salinité et à la température. La température, exprimée en degrés Celsius (°C) joue un rôle essentiel dans la variabilité des cycles biologiques, ce qui en fait une mesure cruciale pour la caractérisation des masses d'eau. De plus, elle permet le calcul d'autres paramètres tels que la salinité, la densité, la vitesse des ondes acoustiques nécessaires à la correction des mesures acoustiques de bathymétrie et la concentration en oxygène dissous. La salinité, exprimée en psu (*practical salinity units*) représente la concentration totale en sels dissous. Sa valeur moyenne est d'environ 35 psu dans les océans contre 0 psu dans l'eau douce. Par son influence sur la densité de l'eau de mer, la mesure de la salinité permet de mieux comprendre la circulation océanique (cf. circulation thermohaline), d'identifier les différentes masses et leurs origines, et de suivre les processus de mélange qui s'y produisent.

1.6 La houle, les vagues et l'état de mer

La **mer de vent** désigne les vagues qui se forment localement en réponse à l'effet du vent. La hauteur des vagues augmente en fonction de l'intensité et de la durée du vent. En revanche, la houle correspond à des vagues générées à distance et qui se propagent. La formation de la houle est influencée par l'étendue de la zone maritime où le vent exerce son action, ce que l'on appelle le *fetch*.

L'**état de mer** résulte de divers facteurs, notamment l'influence du vent, la bathymétrie qui peut altérer la distribution des hauteurs des vagues dans les zones peu profondes, la géomorphologie côtière ainsi que les courants générés par le vent et les marées. Généralement, il comprend les vagues dues à la mer de vent et celles liées à la houle. Les paramètres pour décrire l'état de mer sont les suivants :

- La **hauteur significative**, notée H_s et exprimée en mètres, représente la hauteur moyenne du tiers le plus élevé de toutes les vagues (mer du vent et houle) enregistrées sur une période de temps donnée.
- La **période pic**, notée T_p et exprimée en secondes, correspond à la période des pics d'énergie des vagues.

Les **roses de vagues** fournissent une représentation de la distribution des hauteurs significatives en fonction de la direction de provenance des vagues. Les **corrélogrammes**, quant à eux, fournissent une représentation graphique mettant en évidence la corrélation entre la hauteur significative et la période des vagues pour l'état de mer total, la mer de vent ou la houle.

Sources

[1] Instructions nautiques – D21 – France (Côte Sud) de la frontière espagnole au cap de l'Aigle : www.diffusion.shom.fr

[2] Projet HOMONIM – financement MTE, Shom et Météo-France

[3] Projet national Litto3D Shom-IGN pour la constitution du Référentiel Géographique du Littoral (RGL)

[4] Projet MARC (Ifremer) « Modélisation et Analyse pour la Recherche Côtière »

2. Description de la macrozone

La façade Sud Atlantique comprend plus de 720 km de côtes, allant du nord de la commune de Charron en Charente-Maritime, dans la baie de l'Aiguillon, jusqu'à la commune d'Hendaye au sud, dans les Pyrénées-Atlantiques (**Figure 1**). Cette zone côtière s'étend le long de la région Nouvelle-Aquitaine, englobe les quatre départements littoraux de la Charente-Maritime, de la Gironde, des Landes et des Pyrénées-Atlantiques qui comprennent 140 communes littorales¹. La superficie totale de la façade maritime Sud Atlantique près de 81 000 000 km² ce qui couvre un peu moins d'un quart de l'ensemble des eaux métropolitaines. Cette façade dite "Sud-Atlantique" dispose en mer d'espaces naturels marins protégés, de riches écosystèmes, d'un patrimoine culturel à l'identité marquée, de filières professionnelles dynamiques et en pointe ouvertes aux mutations : pêche, industrie navale et nautique, sports nautiques, tourisme². Cet espace maritime offre ainsi des atouts considérables pour développer une économie bleue, compétitive, performante et source d'emplois, en misant sur la connaissance et la formation, et en valorisant le potentiel d'innovation et de croissance qu'offre l'océan².

Le projet éolien dans cette façade est le suivant (**Figure 1**) :

- Sud-Atlantique (1 GW).

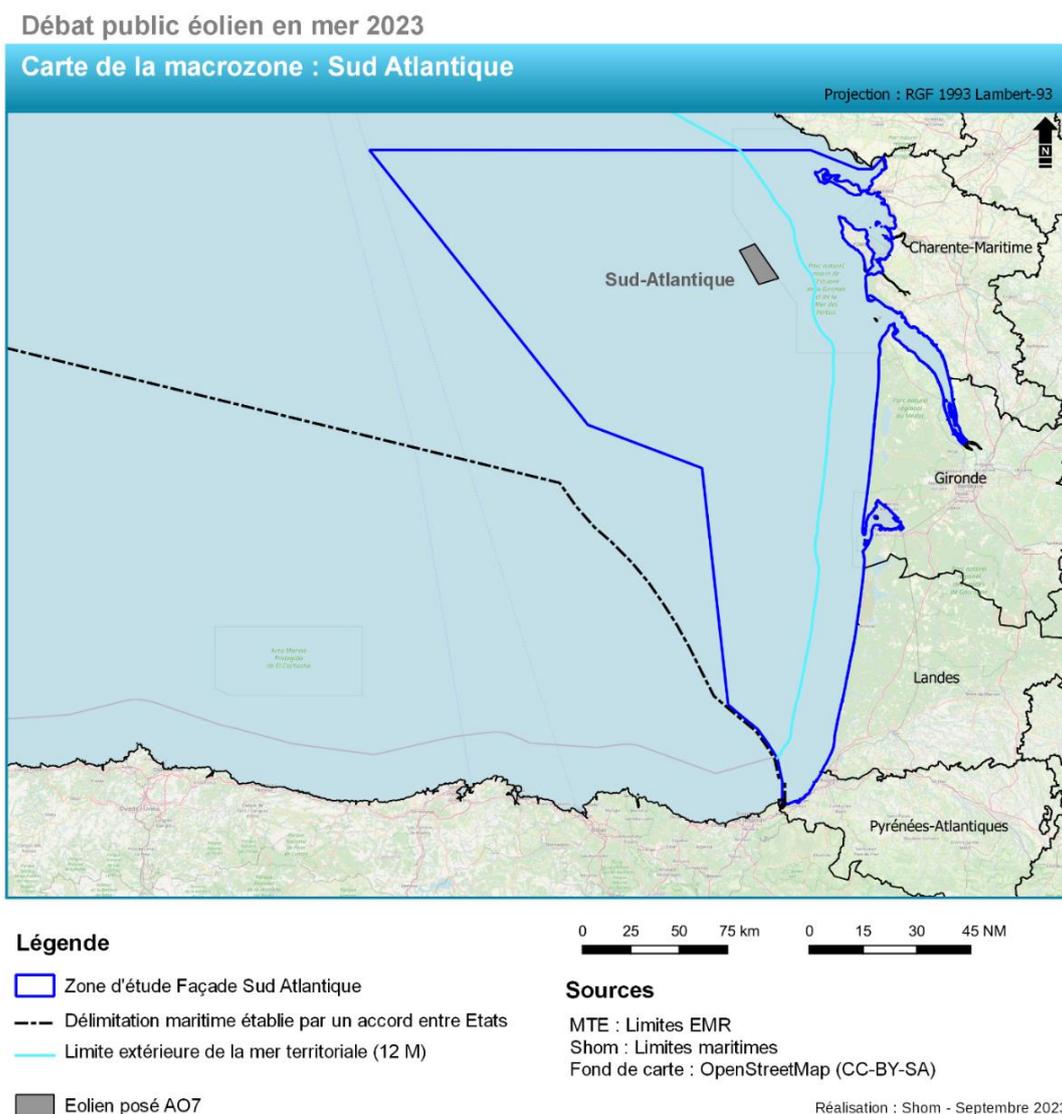


Figure 1. Description de la macrozone de la façade Sud Atlantique (Shom, 2023).

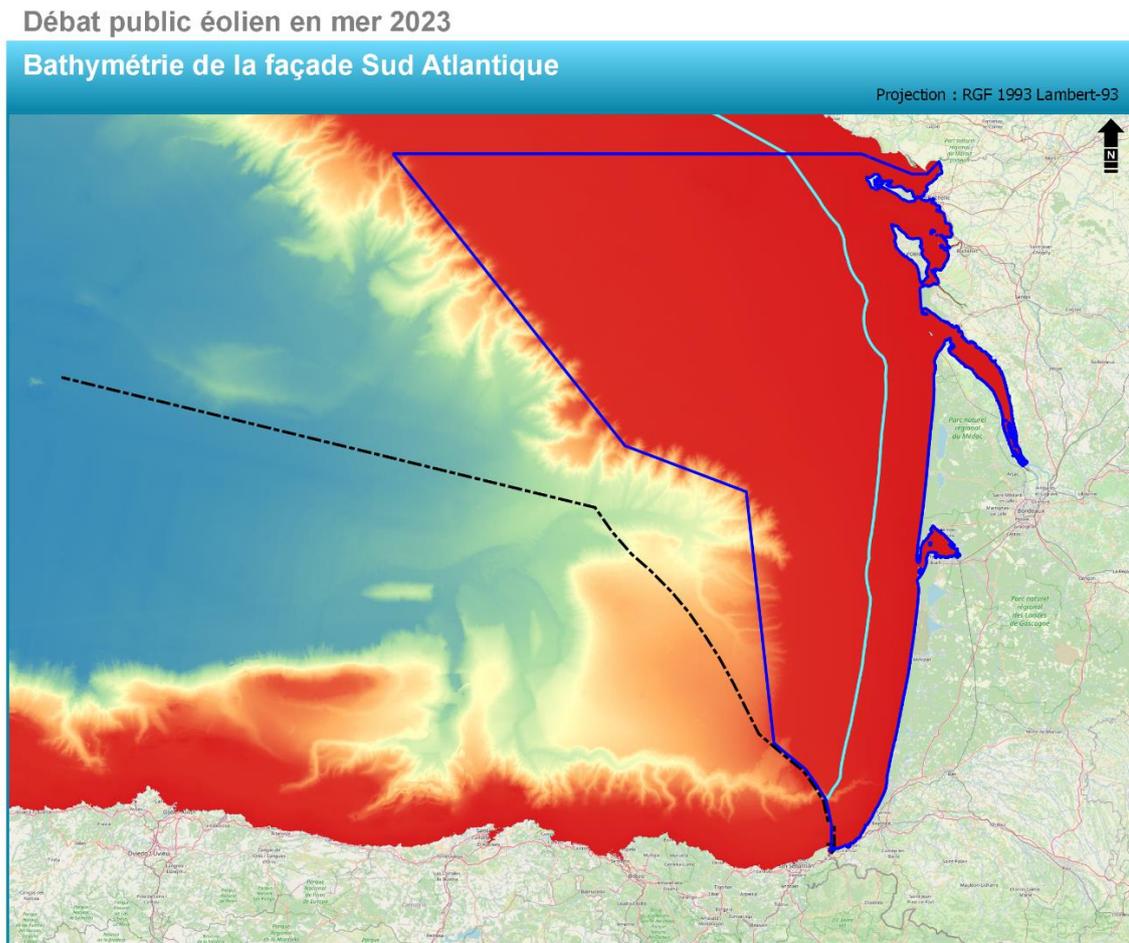
Sources

[1] <https://www.eoliennesenmer.fr/facades-maritimes-en-france/facade-sud-atlantique>

[2] Direction Interrégionale de la mer Sud-Atlantique (2022) : Brochure stratégie de façade Sud-Atlantique.

3. Bathymétrie

Le golfe de Gascogne s'est formé par l'éloignement des plaques tectoniques européenne et africaine il y a environ 100 millions d'années (Crétacé Supérieur), formant un bassin océanique caractérisé. Le golfe de Gascogne présente des variations bathymétriques significatives comprenant un plateau continental, un talus et une plaine abyssale (**Figure 2**). Le plateau continental est caractérisé par une faible pente (< 0,5 %), avec une largeur de 150 km au nord à moins de 5 km près de la frontière espagnole, et des profondeurs variant entre 0 et ~180 m. Le talus affiche une pente entre 10 et 12 % et est incisé par des canyons, dont le célèbre canyon de Capbreton, situé au large de la ville du même nom. Encore plus au large, la plaine abyssale atteint des profondeurs de près de 5000 m.



Légende

- Zone d'étude Façade Sud Atlantique
- Délimitation maritime établie par un accord entre Etats
- Limite extérieure de la mer territoriale (12 M)



Profondeur par rapport aux plus basses mers astronomiques (m)

- 5000
- 3750
- 2500
- 1250
- 0

Sources

- MTE : Limites EMR
- Shom : Limites maritimes
- EMODnet : MNT bathymétrie
- Fond de carte : OpenStreetMap (CC-BY-SA)

Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 2. Carte bathymétrique de la façade Sud Atlantique (Shom, 2023).

4. Sédimentologie

4.1 Nature des fonds

Une analyse exhaustive des cartes de la composition des fonds marins et des données relatives aux échantillonnages sédimentaires a été entreprise dans la région Sud Atlantique. Plusieurs cartes ont été créées en utilisant à la fois des données anciennes et plus récentes, couvrant la période de 1960 à 2010. En 2021, la carte de nature des fonds présentée **Figure 3** a été élaborée par le Shom en compilant les informations issues de divers organismes tels qu'EMODnet et l'Ifremer. Ces levés récents ont permis d'affiner cette cartographie sans réellement remettre en question les principales tendances déjà identifiées dans les cartes précédentes.

Au nord de la façade, les pertuis d'Antioche et de Breton, étant relativement protégés de l'hydrodynamisme régional, sont composés de vase et de vase sableuse (**Figure 3**). Cette répartition sédimentaire se retrouve également en eaux profondes, en particulier au large de l'estuaire de la Gironde, où l'on trouve la Grande Vasière, située à l'embouchure des principaux cours d'eau¹. Les côtes sud-ouest de l'île de Ré et d'Oléron sont constituées de roches affleurantes et immergées (**Figure 3**).

Les côtes les plus au nord présentent gradient de granularité de la côte vers le large, en passant progressivement de sédiments composés de vases vers des sables et graviers. Le littoral s'étire de l'estuaire de la Gironde jusqu'à l'Espagne. Il est essentiellement composé de sables fin avec des incursions de sables et graviers, orientées nord-sud, à une distance d'environ 5 km vers le large (**Figure 3**).

Bien que le large soit moins bien documenté, de grandes tendances ont pu être observées². En effet, le plateau continental est caractérisé par un mélange de sables vaseux, sables fins, sables et sables graviers provenant des canyons qui transportent les sédiments de la côte vers les grands fonds². Des zones de vases sableuses et deux grandes formations sont présentes au centre du plateau continental (**Figure 3**). La partie nord de la zone semble mieux différenciée avec la présence de plusieurs classes granulométriques moyennes, tandis que la partie sud est principalement constituée de sables fins.

En résumé, bien que la répartition granulométrique de cette zone soit homogène (**Figure 3**), on peut néanmoins identifier des tendances importantes avec :

- Des sédiments vaseux aux embouchures des cours d'eau ;
- Des ensembles rocheux autour des presqu'îles et à ~50 km au large ;
- Une zone au nord principalement sableuse avec un gradient granulométrique qui tend vers des sables fins vers le sud.

Cette dynamique sédimentaire est influencée par la morphologie du fond à faible pente, l'action des vagues et les importantes contributions continentales^{3,4}. Si la nature des fonds en zones côtières est relativement bien connue, au large les connaissances sédimentologiques reposent essentiellement sur d'anciennes données⁵. Il est donc essentiel d'adopter une échelle plus locale afin de mieux définir la variabilité spatiale des fonds marins et d'observer leur évolution au fil du temps. Une attention particulière pourra être portée à l'analyse de la variation saisonnière et pluriannuelle de l'envasement, ainsi qu'à l'étude de la dynamique et de la localisation des ensembles sableux⁵.

Sources

[1] Castaing P., 1981. Le transfert à l'Océan des suspensions estuariennes. Cas de la Gironde. Thèse d'Etat de l'Université de Bordeaux I, n°701 : 530 p.

[2] Lesueur P. et Klingebiel A., 1986. Carte des sédiments superficiels du Golfe de Gascogne - Partie septentrionale à 1/500 000. Carte géologique de la marge continentale. Coédition BRGM – IFREMER Ed., réf. AMAR 27, notice explicative : 22 pp.

[3] Lesueur P., 2001. Dynamique et archivage des flux continentaux de particules fines dans le domaine côtier : exemples de modèles actuels. Mémoire d'HDR de l'Université de Caen-Tome 1 : 148 p.

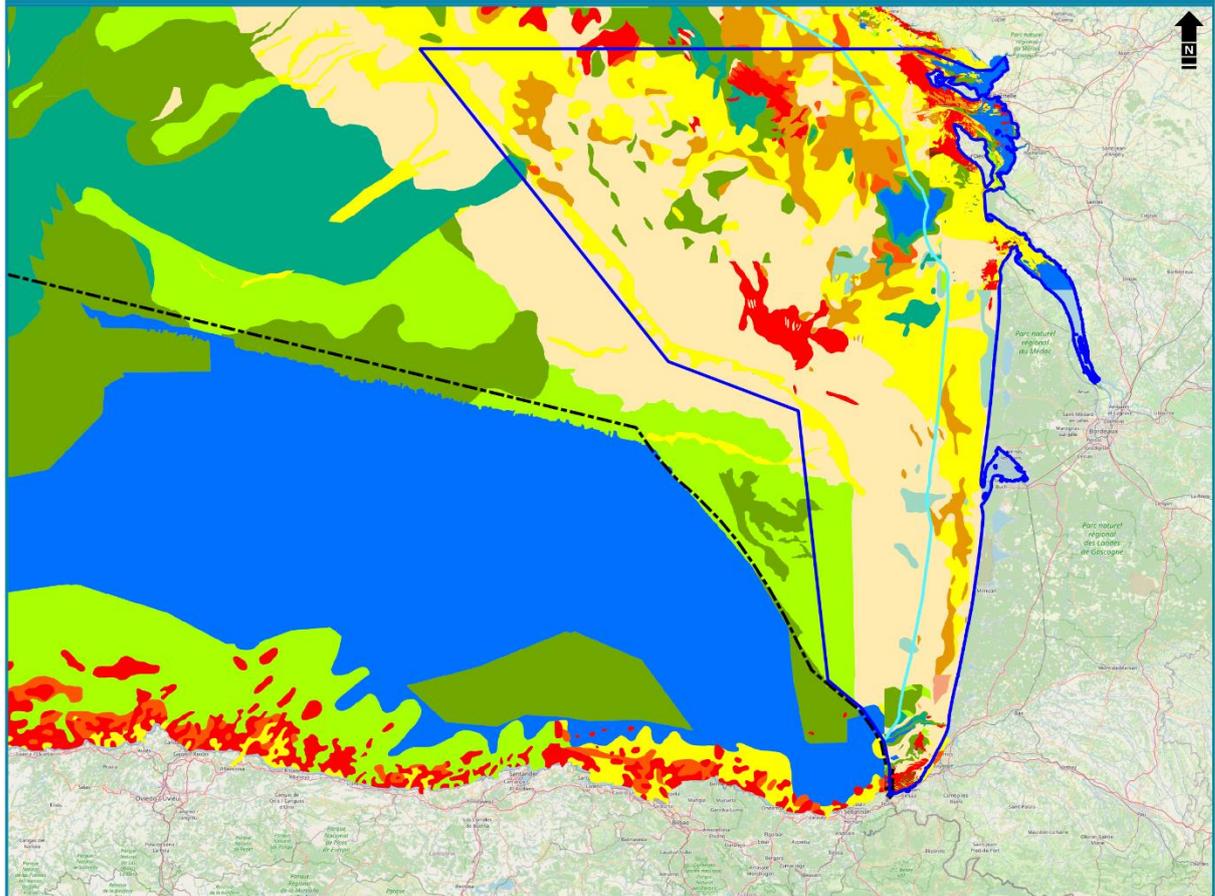
[4] Parra M., Trouky H., Jouanneau J.-M., Grousset F., Latouche C. et Castaing P., 1998. Étude isotopique (Sr-Nd) de l'origine des dépôts fins holocènes du littoral atlantique (S-O France). *Oceanologica Acta* 21 (5) : 631-644

[5] Garlan T., Marchès E., 2012. Caractéristiques et état écologique – Golfe de Gascogne

Débat public éolien en mer 2023

Nature des fonds de la façade Sud Atlantique

Projection : RGF 1993 Lambert-93



0 25 50 75 km 0 15 30 45 NM

Légende

- Zone d'étude Façade Sud Atlantique
- Délimitation maritime établie par un accord entre Etats
- Limite extérieure de la mer territoriale (12 M)

Sources

MTE : Limites EMR
 Shom : Limites maritimes, cartographie des fonds marins
 Fond de carte : OpenStreetMap (CC-BY-SA)

Faciès sédimentaires

 Roche	 Gravier et sables	 Sables et silts	 Vases et graviers
 Cailloutis	 Gravier et vases	 Sables fins	 Vases et sables
 Cailloutis et graviers	 Sables	 Sables fins et cailloutis	 Vases et sables fins
 Cailloutis et sables	 Sables et cailloutis	 Sables fins et vases	 Silts
 Cailloutis et vases	 Sables et graviers	 Sables fins et silts	 Silts argileux
 Gravier	 Sables, graviers et vases	 Vases	 Argiles silteuses
 Gravier et cailloutis	 Sables et vases	 Vases et cailloutis	 Argiles

Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 3. Carte de nature des fonds de la façade Sud Atlantique (Shom, 2023).

4.2 Épaisseur de sédiments de la façade Sud Atlantique

La façade Sud Atlantique a été le sujet d'études scientifiques portant sur la cartographie du socle géologique et la distribution des paléo-vallées. Notamment, les travaux de Weber¹ en 2004 et de Chaumillon *et al.* en 2008² permis d'établir plusieurs cartes d'épaisseur sédimentaire de la région qui ont pu être complétée par les travaux pour les EMR en 2018 et 2023. Ces cartes ont par la suite été complétées par des travaux liés aux EMR en 2017 et 2023.

Autour de l'île d'Oléron et de l'île de Ré, les paléo-vallées amènent à une variabilité importante de l'épaisseur de la couverture sédimentaires, tout comme les vasières mais dans une moindre mesure. En effet, les vasières présentes dans la région ne dépassent pas une épaisseur maximale de 4 m, tandis que les paléo-vallées de cette zone sont comblées par des sédiments pouvant atteindre localement une épaisseur de 25 m.

Dans le cadre des travaux EMR en 2017, la carte d'épaisseur sédimentaire révèle une diminution des épaisseurs de sédiment d'est en ouest, avec des épaisseurs pouvant atteindre 15 m à l'est contre 0,5 m à l'ouest.

L'extrémité de la zone d'étude marque la fin d'une paléo-vallée provenant de la côte et décrite *et al.* en 2008². De plus, des levés sismiques effectués en 2022 montrent une augmentation de l'épaisseur sédimentaire en direction de l'ouest, au large de l'île d'Oléron, où les épaisseurs peuvent atteindre 30 m.

Sur le reste de la façade sud-atlantique, l'inventaire des ressources en matériaux marins réalisé par l'Ifremer^{3, 4, 5} montre que les isopaques définies relèvent des épaisseurs sédimentaires de plus en plus faibles depuis le littoral jusqu'à la bordure du plateau continental de Gascogne. Au-delà de la bordure du plateau, les valeurs d'épaisseurs sédimentaires augmentent brusquement, passant de 20 m à plus de 45 mètres d'épaisseurs.

L'absence de travaux au nord et à l'extrémité sud de la zone d'étude ne permet pas de caractériser de manière exhaustive l'architecture sédimentaire de cette région. De plus, la **Figure 4** résulte de la combinaison de cartes d'épaisseur sédimentaire à différentes échelles (allant de 1/10 000 à 1/250 000), ce qui souligne la nécessité de réaliser des levés supplémentaires pour éclairer les décisions concernant l'implantation d'éoliennes offshore.

Sources

[1] Weber, N. (2004). Morphologie, architecture des dépôts, évolution séculaire et millénaire du littoral charentais : apports de la sismique réflexion combinée à des suivis bathymétriques et validée par des vibrocarottages (Thèse de doctorat, Université de La Rochelle)

[2] Chaumillon, E., Proust, J. N., Menier, D., & Weber, N. (2008). Incised-valley morphologies and sedimentary-fills within the inner shelf of the Bay of Biscay (France): a synthesis. *Journal of Marine systems*, 72(1-4), 383-396.

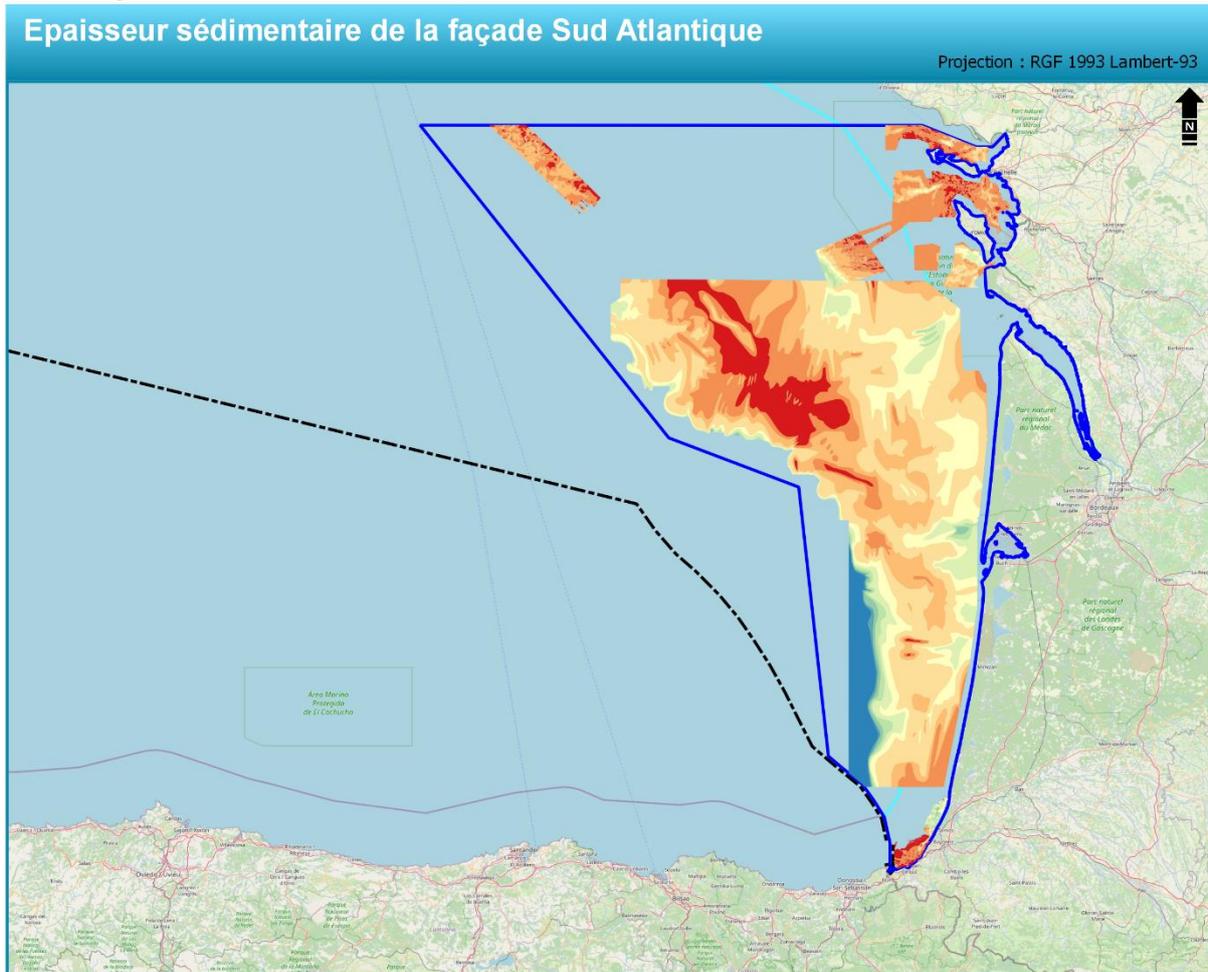
[3] Augris Claude, Simplet Laure, Maze Jean-Pierre, Morvan Laetitia, Satra Le Bris Catherine, Fitamant Nadege, Bourillet Jean-Francois, Stephan Michele (2006). Inventaire des ressources en matériaux marins : Façades « Manche-Est » et « Loire-Gironde ».

[4] Gautier Emeric, Augris Claude, Simplet Laure, Prevot Jehanne, Drussel Benjamin, Abrieux Emilie, Morvan Laetitia, de Chambure Laurent, Maze Jean-Pierre (2012). Inventaire des ressources en matériaux marins. Façades Bretagne et Sud-Gascogne.

[5] Produit numérique "Granulats marins" Ifremer 2013

Débat public éolien en mer 2023

Epaisseur sédimentaire de la façade Sud Atlantique



Légende

- Zone d'étude Façade Sud Atlantique
- Délimitation maritime établie par un accord entre Etats
- Limite extérieure de la mer territoriale (12 M)

0 25 50 75 km 0 15 30 45 NM

Epaisseurs sédimentaires

- | | |
|---|---|
| 0 m | 20 - 25 m |
| 0 - 0.5 m | 25 - 30 m |
| 0.5 - 5 m | 30 - 35 m |
| 5 - 10 m | 35 - 40 m |
| 10 - 15 m | 40 - 45 m |
| 15 - 20 m | |

Sources

MTE : Limites EMR
 Shom : Limites maritimes, épaisseurs sédimentaires
 Université de la Rochelle : épaisseurs sédimentaires dans les pertuis charentais (Chaumillon E., Weber N.)
 Ifremer : Produit numérique "Granulats marins" (2013)
 Fond de carte : OpenStreetMap (CC-BY-SA)

Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 4. Carte des épaisseurs sédimentaires de la zone d'étude EMR (Shom, 2023).

5. Hydrologie

La connaissance de l'hydrologie marine de la région repose sur l'analyse des données de température et de salinité de l'eau de mer, de la surface jusqu'au fond marin, collectées *in situ* par des navires océanographiques. Pour cette étude, les statistiques hydrologiques mondiales du GDEM (*Generalized Digital Environmental Model*) du NAVOCEANO (*Naval Oceanographic Office - USA*), ont été sélectionnées. Ces données font partie de la base de données NSODB V7.0 (NSODB : NATO Standard Oceanographic Data Base), une base de données de l'OTAN. Ces données sont présentées sous la forme de cartes montrant les isolignes de température et/ou de salinité pour les mois de février, mai, août et novembre, qui sont considérés comme représentatifs des saisons d'hiver, de printemps, d'été et d'automne. La carte présentée en **Figure 5**, fournit un exemple des isolignes de température en surface pour le mois de février à partir des données GDEM.

Le tableau ci-dessous (**Tableau 1**) synthétise les gammes de variations de la température et salinité, observées aux immersions caractéristiques 0, 30 et 80 m dans la zone d'étude pour les saisons d'hiver, de printemps, d'été et d'automne.

Tableau 1. Variations saisonnières de la température et de la salinité à la surface, 30 m et 80 m de profondeur.

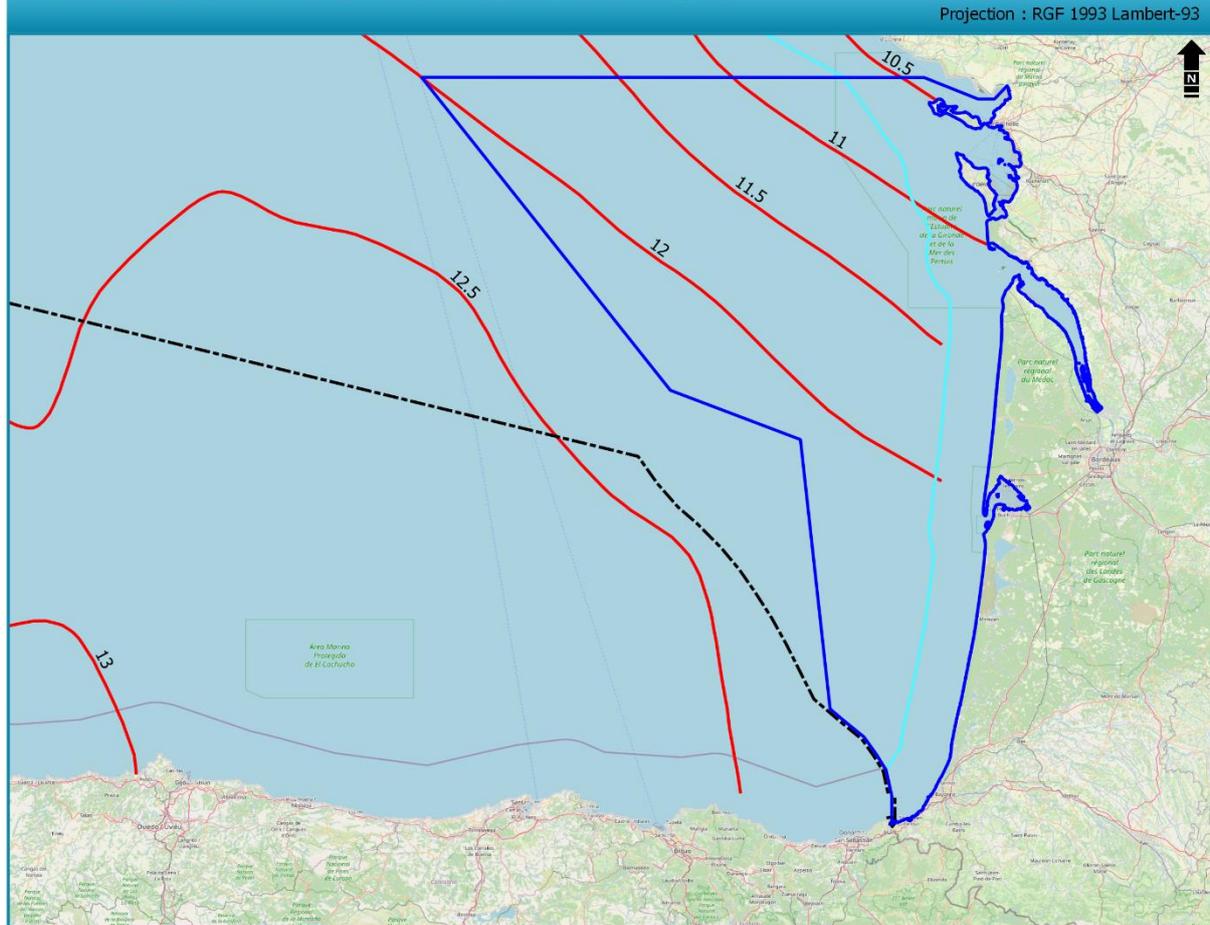
	Hiver - Février -	Printemps - Mai -	Été - Août -	Automne - Novembre -
Température de surface (°C)	11,11 – 11,93	14,47 – 14,84	18,90 – 20,08	14,91 – 15,38
Température à - 30 m (°C)	11,31 – 12,10	13,26 – 13,88	17,88 – 18,02	14,92 – 15,36
Température à - 80 m (°C)	11,54 – 12,29	11,53 – 12,07	11,85 – 12,26	12,47 – 12,89
Salinité de surface (psu)	34,90 – 35,10	34,08 – 34,80	34,60 – 34,79	35,25 – 35,32
Salinité à - 30 m (psu)	35,23 – 35,33	35,04 – 35,06	34,94 – 34,96	35,36 – 35,59
Salinité à - 80 m (psu)	35,40 – 35,42	35,49	35,51 – 35,55	35,49 – 35,55

De manière générale, les températures affichent des variations horizontales dans la zone d'étude, allant de 0,14 à 1,18°C, traduisant une homogénéité sur la colonne d'eau quelle que soit la saison. Toutefois, les températures atteignent leurs valeurs minimales pendant la saison hivernale, avec des niveaux minimums de 11,11 °C en surface, tandis qu'elles atteignent leurs valeurs maximales en été, avec des niveaux maximums de 20,08 °C en surface (**Tableau 1**).

Les niveaux de salinité présentent des variations horizontales allant de 0 à 0,72 psu et affichent une légère augmentation en profondeur le long de la colonne d'eau, avec une différence d'environ 1,4 psu au printemps entre la surface et une profondeur de -80 mètres (**Tableau 1**). En outre, il semble que la salinité soit légèrement plus élevée pendant l'été et l'automne par rapport à l'hiver et le printemps (**Tableau 1**).

Débat public éolien en mer 2023

Carte de température de surface - Sud Atlantique



Légende

Zone d'étude Façade Sud Atlantique

- Délimitation maritime établie par un accord entre Etats
- Limite extérieure de la mer territoriale (12 M)
- Température de surface (°C)

Sources

- MTE : Limites EMR
- Shom : Limites maritimes, isolignes des température des surface
- Fond de carte : OpenStreetMap (CC-BY-SA)



Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 5. Carte des isolignes de température de surface pour le mois de février issues des données GDEM (Shom, 2023).

6. Courantologie

6.1 Circulation générale et variabilité saisonnière

Dans l'Atlantique Nord-Est, Gulf Stream est le courant le principal. Il se divise en deux branches distinctes : le courant Nord-Atlantique, qui circule en direction du nord au nord du parallèle 50°N, et le courant des Açores, qui s'écoule vers l'est le long du parallèle 33°N. Entre ces branches, les courants à macro-échelles sont faibles ($\sim 0,3$ nd) et semblent former une recirculation vers le sud. Une branche mal définie transporte les eaux centrales (première centaine de mètres) vers les côtes européennes à la latitude du Golfe de Gascogne. Le **Tableau 2** et la **Figure 6** présentent les variabilités saisonnières de la circulation océanique générale dans le golfe de Gascogne

Le courant résiduel se forme à la suite de la dérive de Stokes induite par la propagation de l'onde de marée. Bien qu'il soit peu prononcé dans la région, c'est néanmoins grâce à lui que la circulation s'oriente du nord vers le sud dans le bassin de Marennes-Oléron. Le courant des Landes, un jet côtier très puissant, se forme dans la partie méridionale du Golfe à la suite d'un coup de vent d'ouest. Il circule vers le nord et peut atteindre des vitesses jusqu'à 0,6 nd le long de la côte à 60 m de profondeur. Le déferlement de la houle près de la côte peut engendrer des courants sagittaux puissants, en particulier dans les Landes, où l'on observe des systèmes de barres-bâines. De plus, un courant connu sous le nom de "dérive littorale" se forme en fonction de l'angle entre la direction de la houle et la ligne côtière. Ce phénomène de dérive littorale joue un rôle essentiel dans le transport sédimentaire à l'échelle régionale.

A la côte, le déferlement de la houle peut donner naissance à des courants sagittaux puissants, notamment dans les Landes avec les systèmes barres-bâines, ainsi qu'à un courant appelé « dérive littorale », qui est lié à l'angle entre la direction de la houle et le trait de côte. Cette dérive littorale joue un rôle capital dans le transport sédimentaire régional.

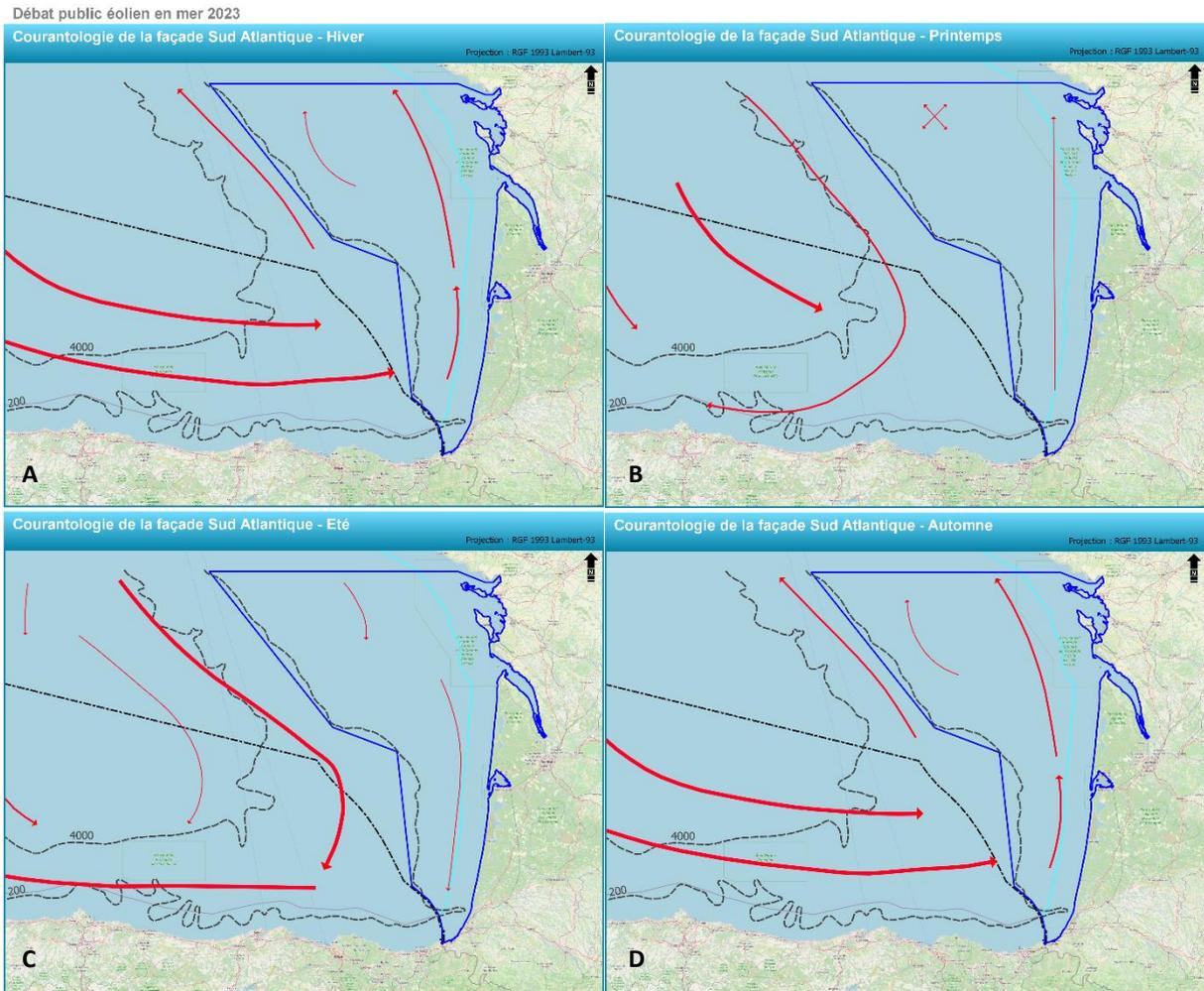
6.2 Les courants de marée

Dans la région, la marée est semi-diurne avec une période d'environ 12h25. Les courants sont très faibles par grands fonds mais se renforcent sur le plateau continental. Le courant de marée suit un mouvement giratoire, avec un flot orienté du nord-est au sud-est et un jusant allant du sud-ouest au nord-ouest. Ces courants connaissent des variations d'intensité et de direction tout au long du cycle de marée. Les atlas de courants de marées du SHOM de la région (n° 565, 566, 559) permettent de visualiser les courants à chaque heure du cycle de marée.

La **Figure 7** présente la carte des amplitudes des courants de marées pour un cycle en conditions de vives eaux moyennes (coefficient de 95). En mortes eaux, les courants perdent 20 à 30 % de leur vitesse. Dans le golfe, ils agissent sur l'ensemble de la colonne d'eau. Leur vitesse est faible dans la plaine abyssale ($\sim 0,02$ nd) et augmente à mesure que la hauteur d'eau diminue (0,4 à 0,6 nd) jusqu'à atteindre son maximal vers les côtes nord (1,5 nd). Près de la côte, les courants de marée peuvent être renforcés par différents facteurs tels que les passes/chenaux, les estuaires (comme la Gironde et l'Adour), les coureux (comme à Oléron), et les processus de remplissage/vidange. Ainsi, ils peuvent atteindre des vitesses de 3 à 5 nds, notamment dans les passes de la baie d'Arcachon (**Figure 7**).

Tableau 2. Descriptif des variabilités saisonnières de la circulation océanique générale dans le golfe de Gascogne.

Courants Saison	Plaine abyssale	Talus continental	Plateau continental
Automne (Octobre à décembre)	Vaste tourbillon cyclonique		
	Le courant est dirigé vers le NO (circulation cyclonique, vitesse jusqu'à 0,1 nd). Il existe également un contre-courant plus faible dirigé vers le SO entre le talus et l'isobathe 100 m au Nord de 47°N.		Apparition d'un courant NO jusqu'en décembre pouvant atteindre une vitesse de 0,6 nd. Il transporte vers le nord des eaux chaudes du coin SE du golfe (accumulées par les vents d'afflux de secteur NO) et correspond à une langue chaude qui s'étend du Pays basque à la Bretagne.
Hiver (Janvier à mars)	Les courants restent dirigés majoritairement vers le nord mais ils s'affaiblissent.		
	Les courants sont dirigés vers le sud-est et sont plus forts dans la partie Sud du golfe (vitesse de 0.1 à 0.2 nd).		Courants faibles, voire très faibles, orientés 46-47°N Près des côtes, au nord de l'estuaire de la Gironde, les eaux douces provenant des grands fleuves (Gironde, Loire, Vilaine) se mélangent avec les eaux marines en surface, en se déplaçant le long de la côte vers le nord sous l'effet des gradients de salinité et de force de Coriolis générés par ces déplacements.
Printemps (Avril à juin)	Les eaux sont toujours entraînées vers le SE et évacuées vers l'ouest le long des côtes espagnoles (vitesses de 0.1 à 0.2 nd).	La circulation est peu décrite : elle s'inverserait à priori vers le sud du golfe mais ne se produit au-delà de la latitude 46°N où il persiste vers le nord.	Courants moyens faibles. Les vents passent de secteur SO à NO et génèrent un courant de dérive vers le sud en surface. Le long de la côte des Landes, ils restent cependant dirigés vers le nord (vitesse inférieure à 0.1 nd)
Été (Juillet à septembre)	Inversion de la circulation : sur les grands fonds, les eaux s'écoulent dans le sens des aiguilles d'une montre à des vitesses comprises entre 0.1 et 0.2 nd.		Inversion de la circulation : les courants en surface sont désormais dirigés vers le sud



Légende

- Zone d'étude Façade Sud Atlantique
- Délimitation maritime établie par un accord entre Etats
- Limite extérieure de la mer territoriale (12 M)
- Isobathes (limites du talus continental)

Courants de surface

- ➔ Vitesse > 0,1 nd
- ➔ Vitesse entre 0,04 et 0,1 nd
- ➔ Vitesse entre 0,02 et 0,06 nd
- ↔ Vitesse ≈ 0 nd, pas de direction prédominante



Sources

MTE : Limites EMR
 Shom : Limites maritimes, isobathes, courants
 Fond de carte : OpenStreetMap (CC-BY-SA)

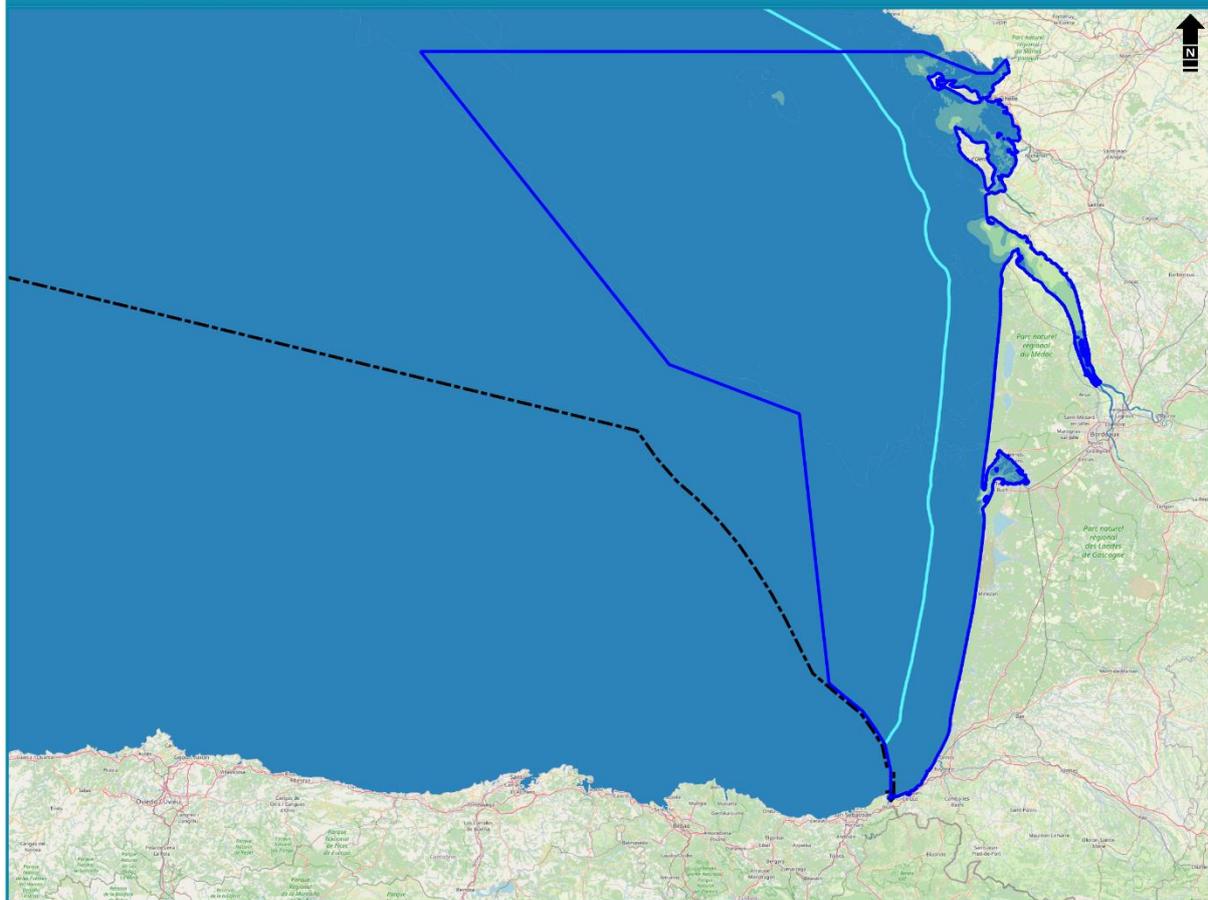
Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 6. Courantologie de la façade Sud Atlantique en hiver (A), au printemps (B), en été (C) et en Automne (D) (Shom, 2023).

Débat public éolien en mer 2023

Carte d'amplitude des courants de marée en condition de vives-eaux moyennes (coef. 95)

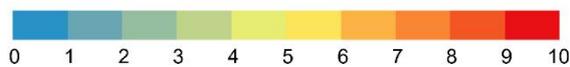
Projection : RGF 1993 Lambert-93



Légende

- Zone d'étude Façade Sud Atlantique
- Délimitation maritime établie par un accord entre Etats
- Limite extérieure de la mer territoriale (12 M)

Vitesses maximales (nd)



Sources

MTE : Limites EMR
 Shom : Limites maritimes, courants
 Fond de carte : OpenStreetMap (CC-BY-SA)

Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 7. Carte des vitesses maximales des courants de marée en condition de vives-eaux-moyennes, i.e. coefficient de 95 (Shom, 2023).

Les prévisions de courants générées par le modèle HYCOM3D (Hybrid Coordinate Ocean Model), développé par le Shom, sont disponibles quotidiennement via le site www.data.shom.fr.

7. Marée et niveaux extrêmes

La marée est causée par l'attraction gravitationnelle de la lune et du soleil sur les océans. Dans l'Atlantique Nord, elle commence à un point appelé amphidromique, à l'est de Terre-Neuve, et se propage dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Aux abords de l'Europe occidentale, cette onde progresse du Sud vers le Nord. Lorsqu'elle atteint le plateau continental, elle est réfractée et sa direction suit aux isobathes. Les marées sur les côtes françaises sont principalement semi-diurnes, avec deux hautes et deux basses mers par jour, espacées d'environ 6 heures et 13 minutes. Bien que principalement semi-diurnes, elles peuvent parfois présenter de légères variations diurnes, provoquant de petites différences (0,1-0,2 m) de hauteur entre les deux hautes mers et les deux basses mers d'une même journée.

L'onde de marée, provenant du sud-ouest, atteint presque simultanément tous les points de la côte du golfe de Gascogne. Les marnages augmentent du large vers la côte et du sud vers le nord le long de la côte. Cette augmentation est corrélée avec l'éloignement des grandes profondeurs de la côte. Le marnage moyen dans la zone d'étude est de 4 - 5 m.

Au cours de la progression de l'onde de marée sur le plateau continental, le marnage peut également être amplifié par les coefficients de marée :

- Pour un coefficient de 120, le marnage augmente de 5 m à proximité du talus et de 6 m à La Rochelle ;
- Pour un coefficient de 95, le marnage augmente de 4 m à proximité du talus et de 5 m à La Rochelle ;
- Pour un coefficient de 45, le marnage est de 2 m à proximité du talus et à La Rochelle.

La carte cotidale et d'isomarnage présentée en **Figure 8** présente :

- Les lignes cotidales qui correspondent au décalage en temps de la marée par rapport à l'heure de la pleine mer à Brest (courbe zéro) ;
- Les isomarnages en condition de vives-eaux-moyennes (coefficient de 95).

L'analyse statistique des surcotes et des décotes permet de déterminer les niveaux extrêmes atteints par la mer, en les associant à une période de retour. Pour une période de retour de 100 ans, la **Figure 9** présente les niveaux extrêmes de pleine mer pour la façade Manche Est – Mer du Nord. Elle se base sur des mesures marégraphiques réalisées dans les ports de Dunkerque, Calais, Boulogne-sur-Mer, Dieppe, Le Havre et Cherbourg. Ces données sont issues d'un partenariat Shom/Cerema et sont disponibles en ligne¹. Le Shom met également à disposition du public ses prévisions de surcotes et des décotes modélisées dans le cadre de la vigilance vagues/submersion en partenariat avec Météo-France².

Sources

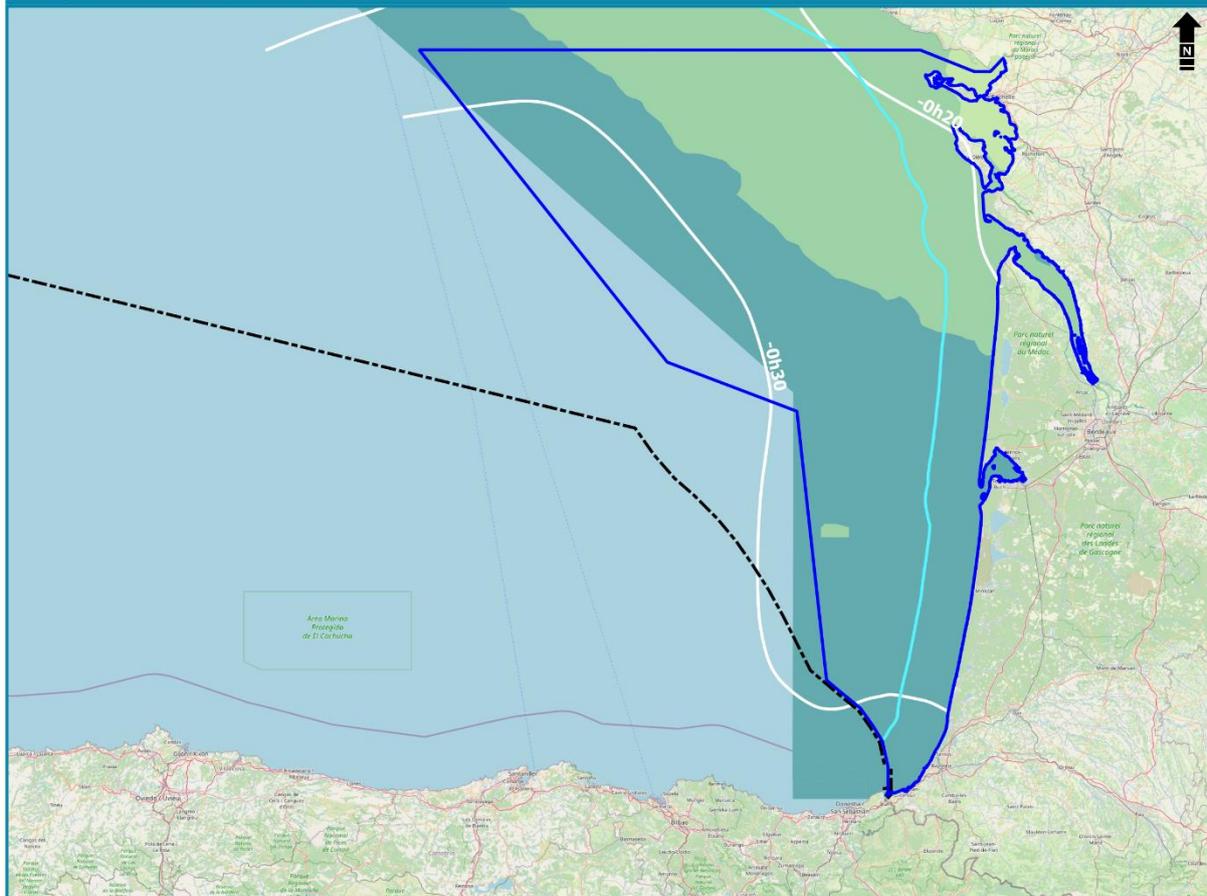
[1] <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/593562/estimation-des-valeurs-extremes-de-niveau-d-eau-littoral-metropolitain> (Shom/Cerema).

[2] www.data.shom.fr – Projet HOMONIM.

Débat public éolien en mer 2023

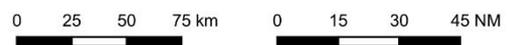
Carte cotidale et isomarnage pour un coefficient de 95 Façade Sud Atlantique

Projection : RGF 1993 Lambert-93



Légende

- Zone d'étude Façade Sud Atlantique
- Délimitation maritime établie par un accord entre Etats
- Limite extérieure de la mer territoriale (12 M)
- Lignes cotidales



Isomarnage coefficient 95 (m) :

 2 - 3	 7 - 8
 3 - 4	 8 - 9
 4 - 5	 9 - 10
 5 - 6	 10 - 11
 6 - 7	 11 - 12

Sources

MTE : Limites EMR
 Shom : Limites maritimes, marées
 Fond de carte : OpenStreetMap (CC-BY-SA)

Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 8. Carte cotidale et d'isomarnage en condition de vives-eaux-moyennes, i.e. coefficient de 95 (Shom, 2023).

Débat public éolien en mer 2023

Carte de la variation des niveaux de pleine mer pour une période de retour de 100 ans - façade Sud Atlantique

Projection : RGF 1993 Lambert-93



Légende

- Zone d'étude Façade Sud Atlantique
- Délimitation maritime établie par un accord entre Etats
- Limite extérieure de la mer territoriale (12 M)



Niveau des pleines mers (m) : T = 100 ans

- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 5
- 5 - 6
- 6 - 7
- 7 - 8
- 8 - 9

Sources

MTE : Limites EMR
 Shom : Limites maritimes
 Fond de carte : OpenStreetMap (CC-BY-SA)
 Cerema/Shom : Périodes de retour des niveaux de pleine mer

Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 9. Carte de la variation des niveaux des pleines mers pour une période de retour (T) de 100 ans, le long du littoral (Cerema/Shom, 2023).

8. États de mer

La zone Sud Atlantique est exposée à de puissantes houles en provenance de l'Atlantique. Les fetchs sont particulièrement longs dans les directions allant du sud-ouest au nord-ouest, favorisant ainsi la formation de mers de vents énergétiques dans ces secteurs. En revanche, la configuration de la côte française limite la formation de vagues importantes provenant des directions Est.

Cette étude se limite à l'analyse de la connaissance préalable en utilisant les résultats préexistants d'un modèle numérique issu dans le cadre du projet HOMONIM et du Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) de l'Agglomération de Saint-Malo (Seyfried *et al.*, en préparation). Le rejeu d'état de mer couvre une période de 44 ans (1979-2022), avec des résultats horaires. Il repose sur un modèle spectral d'état de la mer, le WAVEWATCH III® version 5.16 (Tolman and the WAVEWATCHIII® Development Group, 2017), et utilise une grille de calcul non structurée. Cette grille présente une résolution spatiale qui varie de 10 km aux limites du domaine et s'affine progressivement pour atteindre environ 200 m de résolution près de la côte. Ce modèle, incluant des caractéristiques telles que la bathymétrie, les données de vent, de marée, de courants, ainsi que des paramètres physiques et numériques, a été validé en utilisant des données altimétriques et des bouées houlographes. Les détails complets sont fournis dans les rapports d'étude des Appels d'Offres AO4, AO5 et AO7, en particulier dans le "Dossier de l'état de la connaissance initiale" du Lot 2, référencé T2.H.

Les cartes présentées dans cette section et en **Annexe II** utilisent les données modélisées qui offrent l'avantage de décrire le spectre directionnel des vagues uniformément et sur une période suffisamment longue pour caractériser les conditions maximales, moyennes et saisonnières de l'état de la mer de la façade Sud Atlantique.

La **Figure 10** illustre les hauteurs significatives des vagues et leurs directions moyennes sur la période 1979-2022 pour les conditions d'états de mer prises dans leur ensemble. La hauteur significative moyenne des vagues présente une variation spatiale décroissante d'ouest en est, c'est-à-dire du large vers la côte. La provenance moyenne des vagues est le nord-ouest (**Figure 10**).

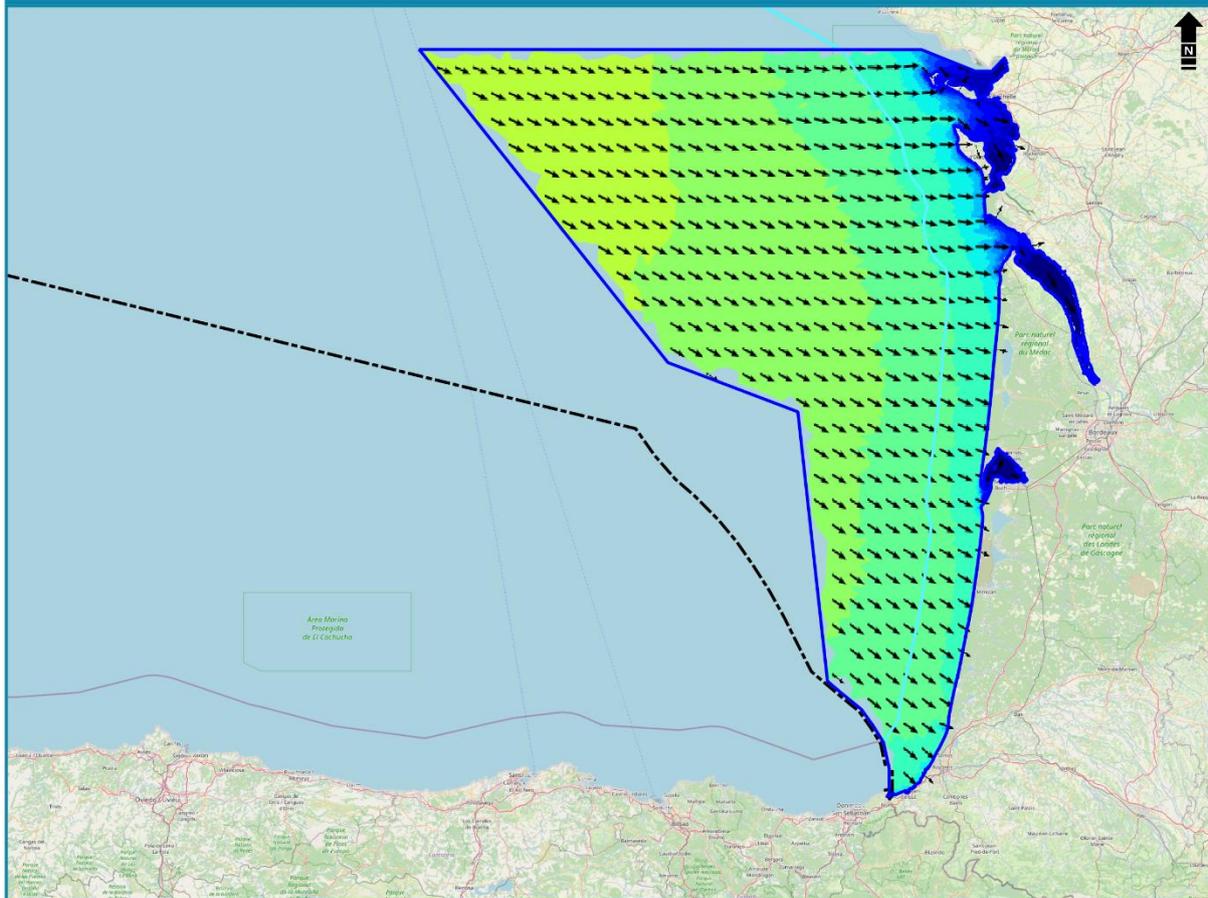
La **Figure 11** présentées en **Annexe II** met en évidence un cycle saisonnier marqué, caractérisé par des hauteurs significatives plus faibles pendant l'été et plus élevées en hiver. La **Figure 12 (Annexe II)** montre les hauteurs significatives maximales atteintes entre 1979 et 2022 (~12 m).

Dans l'ensemble, la taille des vagues diminue à mesure que la profondeur diminue. Cette diminution est principalement due à la dissipation des vagues par frottement sur le fond et par le déferlement en eau peu profonde. La réfraction bathymétrique constitue également un processus affectant les états de mer en zone côtière pouvant concentrer l'énergie des vagues autour des caps ou la disperser dans les baies. La marée affecte également les états de mer car les variations du niveau d'eau peuvent influencer la hauteur et la période des vagues, tandis que les zones à forts courants de marée peuvent modifier les propriétés des vagues.

Débat public éolien en mer 2023

Hauteurs significatives et directions moyennes des vagues modélisées sur la période 1979 - 2022

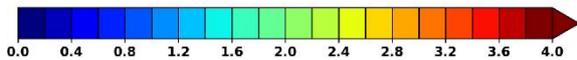
Projection : RGF 1993 Lambert-93



Légende

- Zone d'étude Façade Sud Atlantique
- Délimitation maritime établie par un accord entre Etats
- Limite extérieure de la mer territoriale (12 M)

Hauteur significative moyenne (m)



0 25 50 75 km 0 15 30 45 NM

Sources

- MTE : Limites EMR
- Shom : Limites maritimes, hauteur significative et direction des vagues
- Fond de carte : OpenStreetMap (CC-BY-SA)

Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 10. Hauteurs significatives et directions moyennes des vagues modélisées sur la période 1979-2022 (Shom, 2023).

Annexes

1. Glossaire

Amplitude du courant : vitesse maximum au cours d'un cycle de marée.

Circulation thermohaline : appelée aussi circulation océanique profonde, est la circulation océanique engendrée par les différences de densité de l'eau de mer, à l'origine de courants marins de profondeur. Ces différences de densité proviennent des écarts de température et de salinité des masses d'eau. À l'échelle de la planète, la circulation océanique de surface et la circulation océanique profonde forment une immense boucle de circulation que l'on nomme boucle thermohaline à l'origine d'un grand cycle qui brasse les eaux et convoie la chaleur à l'échelle de chaque hémisphère du globe.

Courant de dérive : courant généré par le vent.

Courant de flot ou flot : courant accompagnant la marée montante.

Courant de jusant ou jusant : courant accompagnant la marée descendante.

Courant de marée : composante horizontale de l'action gravitationnelle de la lune et du soleil.

Courant de marée alternatif : le flot a, pendant toute sa durée, une direction à peu près constante qui est à l'opposé du jusant. Dans les zones de courants forts, le courant de marée est majoritairement alternatif, de ce fait le courant le plus fort est celui de la mi-marée.

Courant de marée giratoire : la direction du courant change progressivement tout au long de la marée tout en variant en force.

Courant de pente : courant généré par la pente de la surface libre, hors de l'action de la marée.

Courants radiationnels : (anglicisme) par opposition aux courants gravitationnels, eux sont issus de l'action radiationnelle du soleil.

Courant sagittal : aussi appelé courant d'arrachement, il s'agit d'un fort courant de retour qui entraîne en direction du large les eaux apportées par les grosses vagues qui se brisent sur les plages (par exemple les barres-bâines. Ce courant peut être accentué par la marée descendante

Cycle de vives eaux/mortes eaux : la morte-eau se dit d'une marée de faible amplitude. Morte-eau s'oppose à vive-eau. Les mortes eaux ont lieu lorsque les positions de la Lune, la Terre et le soleil forment un angle droit (90°). Dans ce cas, les effets de l'attraction gravitationnelle lunaire et solaire est contrecarrée et la marée haute est plus faible en hauteur que d'habitude. La vive-eau est une période d'une marée de forte amplitude. Au cours des vives eaux, après une période de revif, le marnage et les courants de marée sont plus importants. Ce cycle a une période d'environ 14 jours.

Dérive de Stokes : la dérive de Stokes est le mouvement de transport de matière associé à la propagation d'une onde dans un milieu matériel. Point de vue Lagrangien : « une particule d'eau sur la crête d'une vague se déplace un peu plus rapidement et en sens opposé que lorsqu'elle se retrouve dans un creux quelques secondes plus tard. En suivant les particules au cours ce déplacement oscillant, on observe donc un déplacement moyen dans le sens de propagation. »

Dérive littorale : courant créé dans l'eau en bordure immédiate du trait de côte par l'apport d'eau des vagues obliques.

Dérive Nord Atlantique : courant océanique chaud et puissant qui prolonge le Gulf Stream vers le nord-est. Elle se sépare en deux à l'ouest de l'Irlande. Une des branches (le courant des Canaries) va vers le sud tandis que l'autre continue le long des côtes du nord-ouest de l'Europe où il a une influence considérable sur le climat en le réchauffant. D'autres branches incluent le courant d'Irminger et le courant norvégien. À

l'origine, c'est une extension du Gulf Stream qui va encore plus loin vers le nord et se jette dans l'Océan Arctique.

Etale ou renverse : instant durant lequel le courant est nul car la marée s'inverse.

Fetch : étendue de la zone maritime où le vent exerce son action pour générer des vagues.

Gulf Stream : courant océanique chaud de surface qui prend sa source entre la Floride et les Bahamas, le long de la côte est des États-Unis et se disperse dans l'océan Atlantique quelque part au large de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve tout en se prolongeant par d'autres courants marins. Il constitue une portion du gyre de l'Atlantique Nord.

Jet côtier : courant rapide, confiné le long de la côte et généré par le vent.

Marée semi-diurne : 2 marées haute et 2 marées basses en 24 heures. Il est expliqué par le passage de la Lune au méridien du lieu puis à opposition, les composantes diurnes sont négligeables.

Marnage : différence de hauteur d'eau entre une pleine mer et une basse mer consécutive.

Plomb de sonde : désigne une masse utilisée dans les systèmes de mesure de profondeur en milieu aquatique. Il est souvent attaché à un câble ou à une ligne de mesure et est plongé dans l'eau pour déterminer la profondeur.

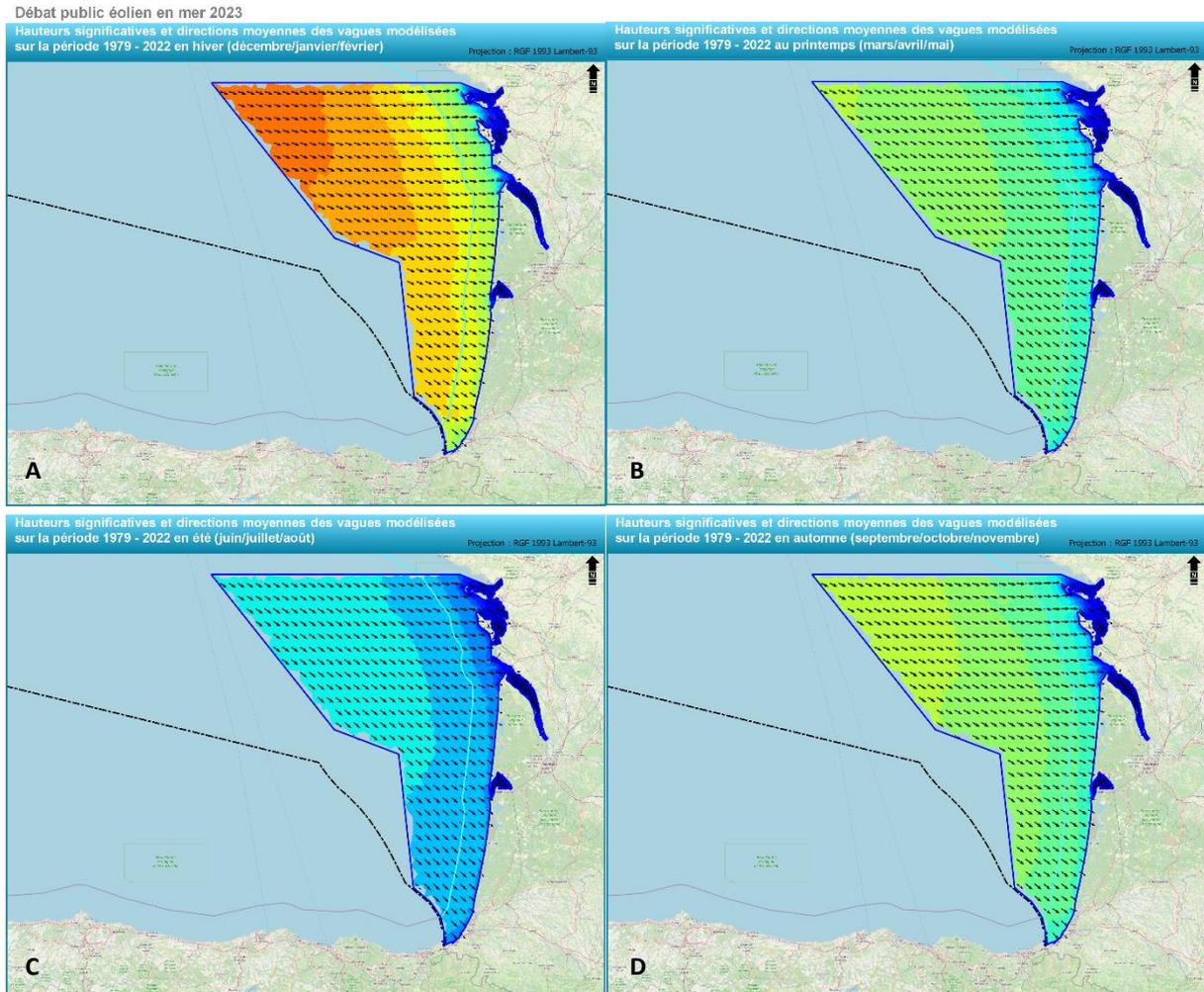
Résiduel de marée : composante permanente des courants de marée, liée à la dérive de Stokes provoquée par les frottements sur le fond générés lors de la propagation de l'onde de marée.

Surcote/décote : désigne la différence entre le niveau marin observé et le niveau marin qui existerait en tenant compte uniquement de la marée astronomique seule (hauteur prédite). Lorsque cet écart est positif, on parle de surcote, tandis que s'il est négatif, on parle de décote.

Vent d'afflux : vent entraînant les eaux vers la côte et pouvant donc engendrer une surcote.

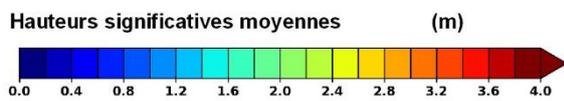
Upwelling : phénomène océanographique qui se produit lorsque de forts vents marins (généralement des vents saisonniers) poussent l'eau de surface des océans, laissant ainsi un vide où peuvent remonter les eaux de fond et avec elles une quantité importante de nutriments.

2. Cartes houle



Légende

- Zone d'étude Façade Sud Atlantique
- Délimitation maritime établie par un accord entre Etats
- Limite extérieure de la mer territoriale (12 M)



Sources

MTE : Limites EMR
 Shom : Limites maritimes, hauteur significative et direction des vagues
 Fond de carte : OpenStreetMap (CC-BY-SA)

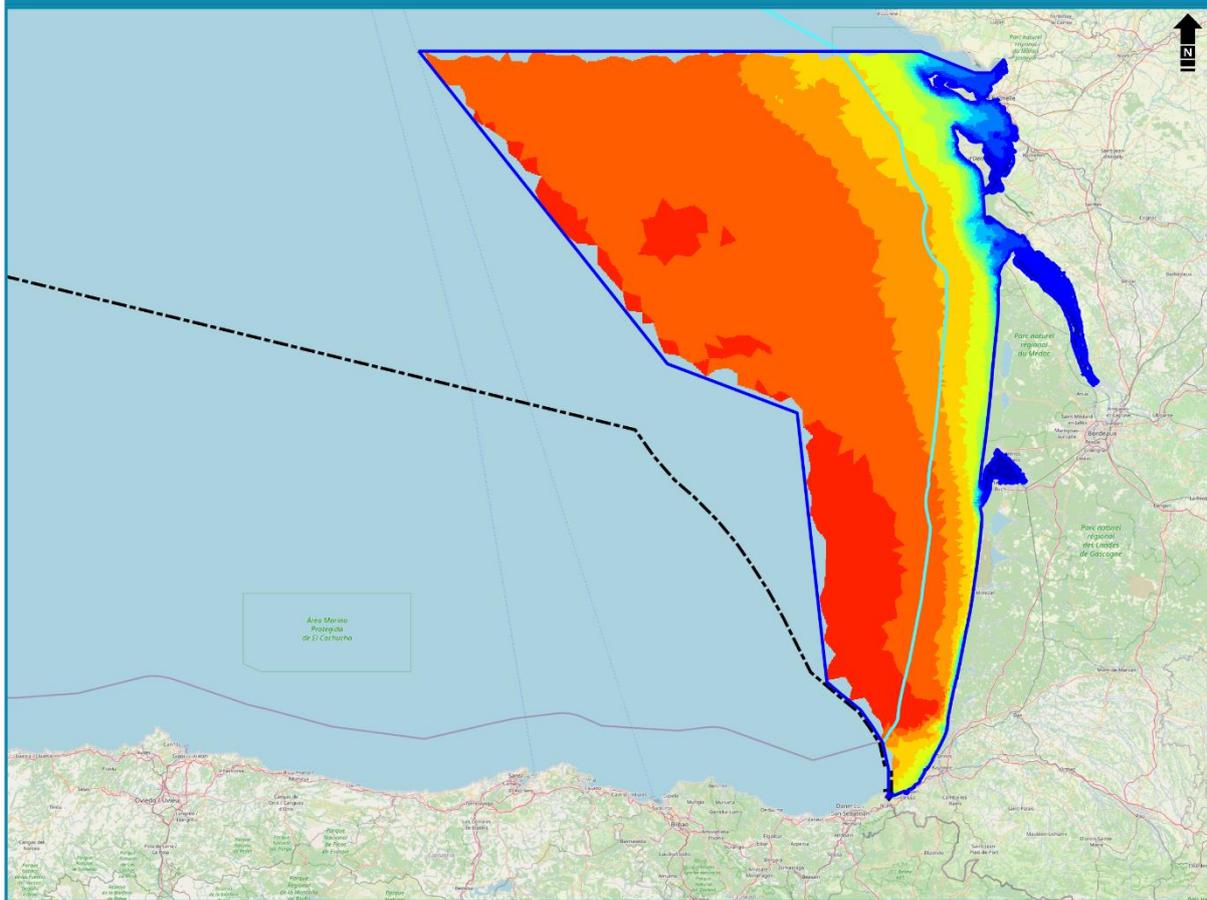
Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 11. Hauteurs significatives et directions moyennes des vagues modélisées sur la période 1979-2022 en hiver (A), au printemps (B), en été (C) et en automne (D) (Shom, 2023).

Débat public éolien en mer 2023

Hauteurs significatives maximales des vagues modélisées sur la période 1979 - 2022

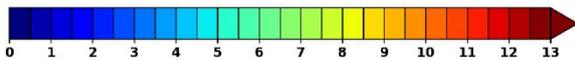
Projection : RGF 1993 Lambert-93



Légende

- Zone d'étude Façade Sud Atlantique
- Délimitation maritime établie par un accord entre Etats
- Limite extérieure de la mer territoriale (12 M)

Hauteurs significatives maximales (m)



Sources

MTE : Limites EMR
 Shom : Limites maritimes, hauteur significative et direction des vagues
 Fond de carte : OpenStreetMap (CC-BY-SA)

Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 12. Hauteurs significatives maximales des vagues modélisées sur la période 1979-2022 (Shom, 2023).