



MINISTÈRE DES ARMÉES

Description sommaire de l'état de la connaissance et des caractéristiques physiques de la façade maritime Nord Atlantique – Manche Ouest

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	12
6. Courantologie	14
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 Nord Atlantique – Manche Ouest, 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 Nord Atlantique – Manche Ouest 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 (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 Nord Atlantique – Manche Ouest s'étend en Manche, mer d'Iroise et Atlantique, au droit des régions Bretagne et Pays de la Loire et du bassin de la Loire. Elle est comprise entre la baie du Mont-Saint Michel au Nord et le Pertuis Breton au Sud. Les 6 départements côtiers sont dotés d'un littoral découvrant largement à marée basse et de côtes très découpées¹. La superficie totale de la façade maritime Nord Atlantique – Manche Ouest est d'environ 210 000 000 km², ce qui en fait la plus grande façade maritime. Les enjeux autour de cette façade sont multiples avec des écosystèmes et des paysages marins et littoraux, riches et variés mais fragilisés, marqueurs d'identités locales affirmées, une économie maritime forte d'activités maritimes historiques (pêche, aquaculture, tourisme) et de secteurs émergents (énergie, biotechnologies) et disposant d'infrastructures portuaires et industrielles de premier plan ainsi que d'un pôle scientifique et d'enseignement à rayonnement mondial².

Les projets éoliens dans cette façade sont les suivants (**Figure 1**) :

- Saint-Brieuc (500 MW) ;
- Saint-Nazaire (480 MW) ;
- Saint-Nazaire (500 MW) ;
- Sud Bretagne (250 MW).



Figure 1. Description de la macrozone de la façade Nord Atlantique – Manche Ouest (Shom, 2023).

Sources

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

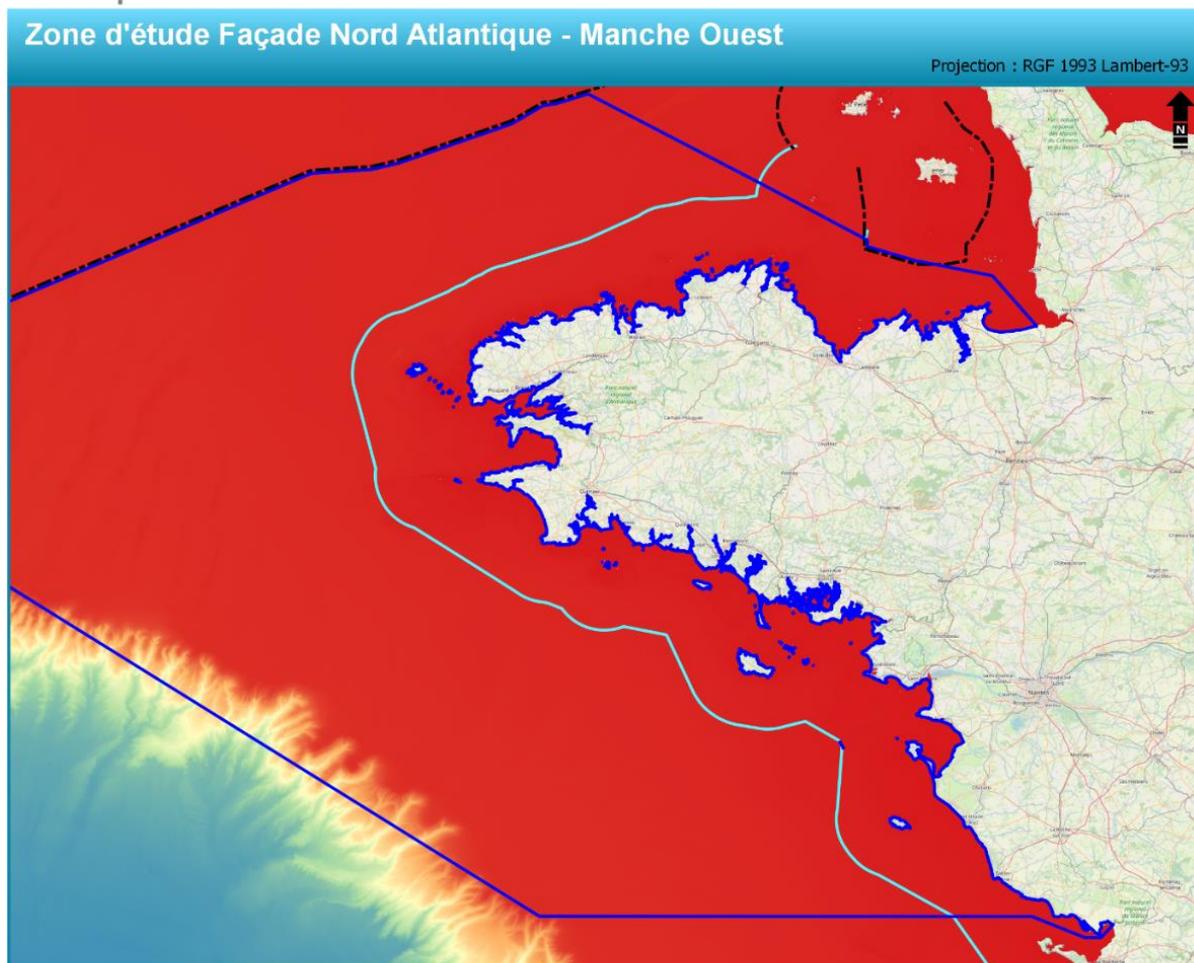
[2] <https://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr>

3. Bathymétrie

La zone d'étude se situe sur le plateau continental, au prolongement des terres continentales. La pente y est inférieure à $0,01^\circ$ et la profondeur maximale est de 200 m. Le talus relie le plateau à la plaine abyssale à des profondeurs dépassant les 3000 mètres (**Figure 2**). La partie la plus occidentale de la zone est caractérisée par de nombreux bancs sableux parfois très étendus (5-10 km de large), longs (<60 km) et élevés (jusqu'à 50 m). A l'Est, dans les parties sableuses, se trouve de nombreuses rides avec des pentes plus prononcées d'environ 30° et de dimensions plus modestes, ainsi que des fosses et des paléo-vallées.

Débat public éolien en mer 2023

Zone d'étude Façade Nord Atlantique - Manche Ouest



Légende

- Zone d'étude Façade Nord Atlantique - Manche Ouest
- 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 bathymétrique
 Fond de carte : OpenStreetMap (CC-BY-SA)

Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 2. Carte bathymétrique de la façade Nord Atlantique – Manche Ouest (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 Nord Atlantique – Manche Ouest. 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. En raison de la grande diversité sédimentaire le long de cette façade, la description de la nature des fonds sera divisée en trois sous-zones distincts.

La première zone correspond au secteur nord de la façade maritime et se situe en Manche (secteur « Manche »). Elle est caractérisée par la présence de sédiments grossiers, des sables graviers à des cailloutis, qui s'étendent de la côte jusqu'au large. Les vases et les sables vaseux se trouvent principalement dans les zones abritées de la houle et des courants marins, telles que la baie de Saint-Brieuc¹. Le littoral est ponctué de roches émergées et immergées. Bien que la documentation des côtes soit plus complète que celle en haute mer, de nombreux champs de dunes et des bancs de sédiments grossiers ont été cartographiés au large². L'une des particularités de la Manche réside dans la présence de sédiments biogènes composés de plus de 50 % de coquilles, inhabituels en domaine tempéré. Ces sédiments, proviennent de l'accumulations séculaires de coquilles dans un contexte actuel de faibles apports sédimentaires². Les variations locales des faciès sédimentaires et la mobilité des structures sédimentaires sont dues à l'interaction des courants actuels qui mélangent des débris biogéniques avec des sédiments glaciaires. La présence de débris coquillés a un effet stabilisateur sur les sédiments en favorisant la formation de couches plus épaisses et plus grossières.

La deuxième zone se situe au sud de la Bretagne en Atlantique (secteur « Bretagne Sud »). L'hydrodynamisme moins fort que pour la zone précédente génère des dépôts sédimentaires plus meubles. En effet, au large les sédiments sont des sables vaseux et des sables fins vaseux. En direction du nord-ouest de cette zone, le sable s'incorpore progressivement dans les sables vaseux. Des étendues rocheuses sont présentes sur les côtes et sont entourées de sédiments grossiers allant du sable aux cailloutis.

La troisième zone englobe les mers celtiques (secteur « Finistère »), s'étendant au large du Finistère jusqu'à la limite du plateau continental³. Les courants de marée y sont dominants. En association avec la dynamique des marées, les ondes internes et les houles de tempête, de nombreux bancs et dunes de sable se trouvent dans la région, principalement orientés du nord-est/sud-ouest^{4, 5}. Très mobiles, le déplacement de ces structures est estimé entre 10 et 20 cm par an. Aux abords des îles, les sédiments deviennent plus grossiers avec la présence de cailloutis, graviers et sables. L'hydrodynamisme important, entraîne le lessivage des particules fines, expliquant ainsi la prédominance des sédiments grossiers par rapport aux sédiments fins³.

La connaissance de la nature des fonds de cette façade maritime n'est pas à une échelle homogène et repose en grande majorité sur des données anciennes. Il est donc essentiel d'acquérir des données, en particulier dans les secteurs où la connaissance de la nature des fonds reste insuffisante. De plus, une caractérisation des fonds à petite échelle permettra de suivre l'évolution des structures sédimentaires dans le temps.

Sources

[1] Garlan T., Marchès E., 2012. Caractéristiques et état écologique – manche Mer du Nord

[2] Larsonneur C., Bouysse P. et Auffret J.P., 1982. The surficial sediments of the English Channel and its western approaches. *Sedimentology*, 29 : 851-864.

[3] Garlan T., Marchès E., 2012. Caractéristiques et état écologique – Mers celtiques

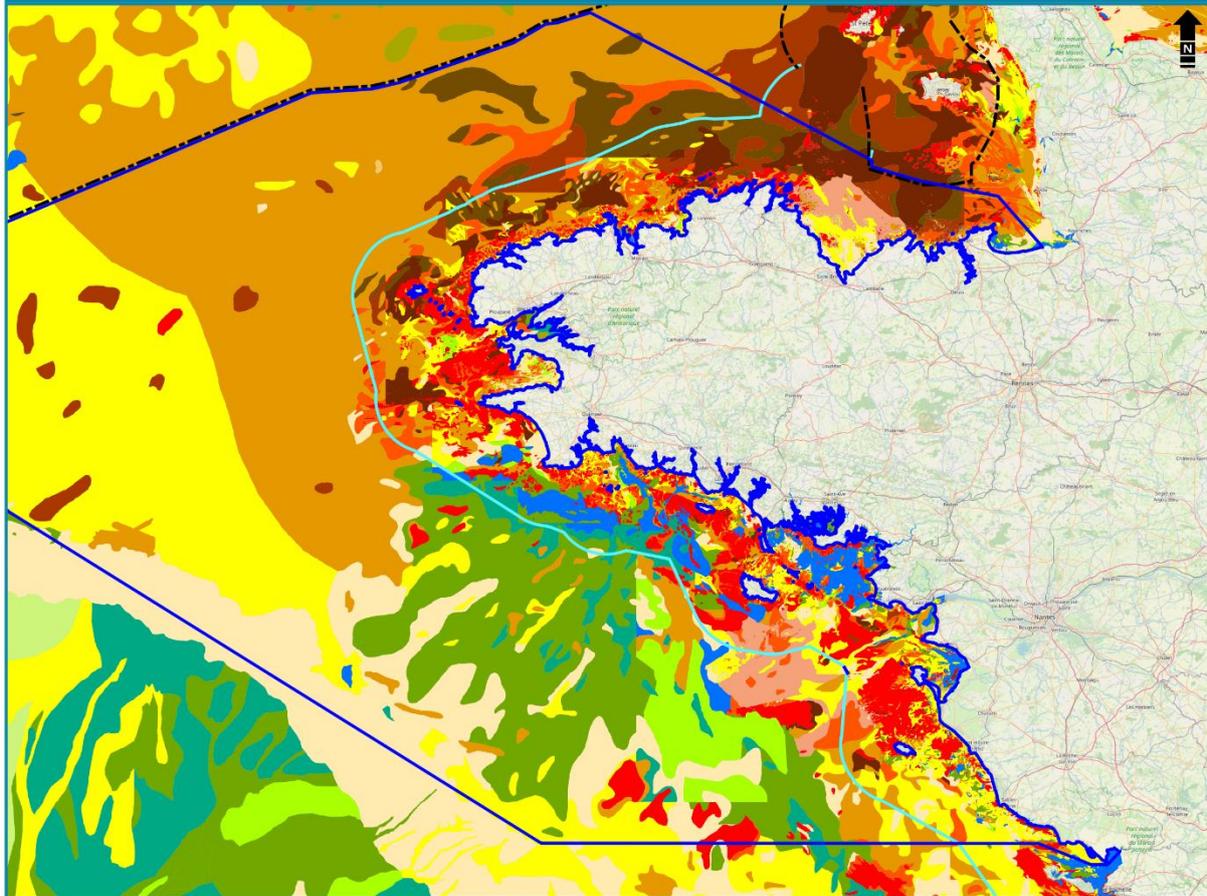
[4] Reynaud J.-Y., Tessier B., Proust J.-N., Dalrymple R.W., Marsset T., De Batist M., Bourillet J.-F. et Lericolais G., 1999. Eustatic and hydrodynamic controls on the architecture of a deep shelf sand bank (Celtic Sea). *Sedimentology*, 46, 703-721.

[5] Reynaud J.-Y., Tessier B., Berné S., Chamley H. et De Batist M., 1999. Tide and wave dynamics on a sand bank from the deep shelf of the Western Channel Approaches. *Mar. Geol.*, 161 (2-4), 339-359.

Débat public éolien en mer 2023

Nature des fonds de la façade Nord Atlantique - Manche Ouest

Projection : RGF 1993 Lambert-93



Légende

- Zone d'étude Façade Nord Atlantique - Manche Ouest
- 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	 Gravieres et sables	 Sables et silts	 Vases et graviers
 Cailloutis	 Gravieres 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
 Gravieres	 Sables, graviers et vases	 Vases	 Argiles silteuses
 Gravieres et cailloutis	 Sables et vases	 Vases et cailloutis	 Argiles

Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 3. Carte de nature des fonds de la façade Manche Est – Mer du Nord (Shom, 2023).

4.2 Épaisseur de sédiments

La façade Nord Atlantique – Manche Ouest a fait l'objet de travaux scientifiques relatifs à la cartographie du socle géologique, à la répartition des paléo-vallées et des bancs sableux, et à l'inventaire des granulats marins^{1,2 et 3}.

Dans le secteur « Manche », au nord de la Bretagne, la couverture sédimentaire de faible épaisseur (0-5 m) témoigne de la présence de l'affleurement du socle rocheux (**Figure 4 et Figure 5A**). Cependant, dans la baie de Saint-Brieuc et au large des baies de Lannion et Locquirec, les sédiments peuvent atteindre 20 m d'épaisseur. Ces accumulations correspondent à des paléo-vallées formées et comblées à la suite de cycles glaciaires/interglaciaires³. Au nord-ouest de la Bretagne, des dunes sont cartographiées et consignées dans l'inventaire des granulats marins de l'Ifremer². Par exemple, dans la baie de Morlaix, la dune du Rater à la géométrie complexe, atteint 20 m d'épaisseur et 30 m lorsqu'elle se surimpose à une paléo-vallée. Au nord de cette dune, la dune des Trépieds présente des épaisseurs sédimentaires plus faibles, n'excédant pas 10 m. Enfin, à l'ouest de l'Île de Batz se trouve la dune de Trezen Ar Skoden, dont l'épaisseur sédimentaire atteint 30 m.

La Bretagne occidentale (**Figure 4 et Figure 5B**), est caractérisée par les paléo-vallées de la rade de Brest et de la baie de Douarnenez. Les épaisseurs sédimentaires atteignent ainsi 20 m. Plus au large du Finistère, en mer d'Iroise, quatre bancs sableux ont été cartographiés dans des zones où les courants de marée sont moins importants. Au nord-est et sud-ouest de l'Île de Ouessant, deux bancs sableux aux épaisseurs atteignant 50 m sont cartographiés. Ils correspondent respectivement au banc du Four et de Ouessant. Au large de la Pointe du Raz, les bancs d'Ar Men et le haut-fond de Kafarnao ont des épaisseurs qui varient jusqu'à 30 m.

En Bretagne Sud (**Figure 4 et Figure 5C**), les variabilités de l'épaisseur sédimentaire sont essentiellement liées à la présence des paléo-vallées qui sont dans le prolongement des fleuves. Elles se sont formées lors de la période glaciaire du Pléistocène Supérieur (Wisconsinien), lorsque le niveau marin était 120 m plus bas que le zéro hydrographique actuel⁴. Ces dépressions se sont progressivement comblées par des sédiments et ont fait l'objet de nombreuses campagnes de géophysique depuis les années 1970^{3, 5, 6 et 7}. De Belle-Île-en-Mer à Noirmoutier les paléo-vallées sont bien cartographiées et recouvrent une grande surface (**Figure 4 et Figure 5C**). Les dépôts sédimentaires les plus importants (30-60 m d'épaisseur) correspondent au comblement de la paléo-vallée de la Loire (**Figure 4 et Figure 5C**). Plus au nord, les paléo-vallées de l'Artimon et de la Vilaine concentrent des épaisseurs de sédiments atteignant fréquemment 30 mètres et localement 40 m. Entre Belle-Île-en-Mer et Pont-l'Abbé, les paléo-vallées deviennent moins distinctes et recouvrent des surfaces plus restreintes que celles observées dans la partie sud de la zone d'étude. Ainsi, les épaisseurs sédimentaires varient entre 0 et 5 m avec localement des maximums de l'ordre de 30 m, comme c'est le cas pour les paléo-vallées du Blavet et de l'Odet. L'absence de levés sismiques sur une grande partie de la zone d'étude EMR ne permet pas de caractériser pleinement l'architecture sédimentaire du secteur (**Figure 4**). Ainsi, des levés complémentaires sont indispensables pour fournir aux industriels les données nécessaires à la prise de décision concernant l'implantation des éoliennes offshore.

Sources

[1] 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.

[2] Produit numérique "Granulats marins" Ifremer 2013

[3] Menier D., Augris C. et Briend C. (coord.), 2014. Les réseaux fluviaux anciens du plateau continental de Bretagne Sud. Éd. Quae. 104 pages.

[4] Mörner, N. A. (1971). Eustatic changes during the last 20,000 years and a method of separating the isostatic and eustatic factors in an uplifted area. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 9(3), 153-181.

[5] Bouysse, P., JJ, C., & Ters, M. (1974). Présence d'Ypresien, niveau transgressif et taux de sédimentation flandriens en Baie de la Vilaine (Bretagne méridionale).

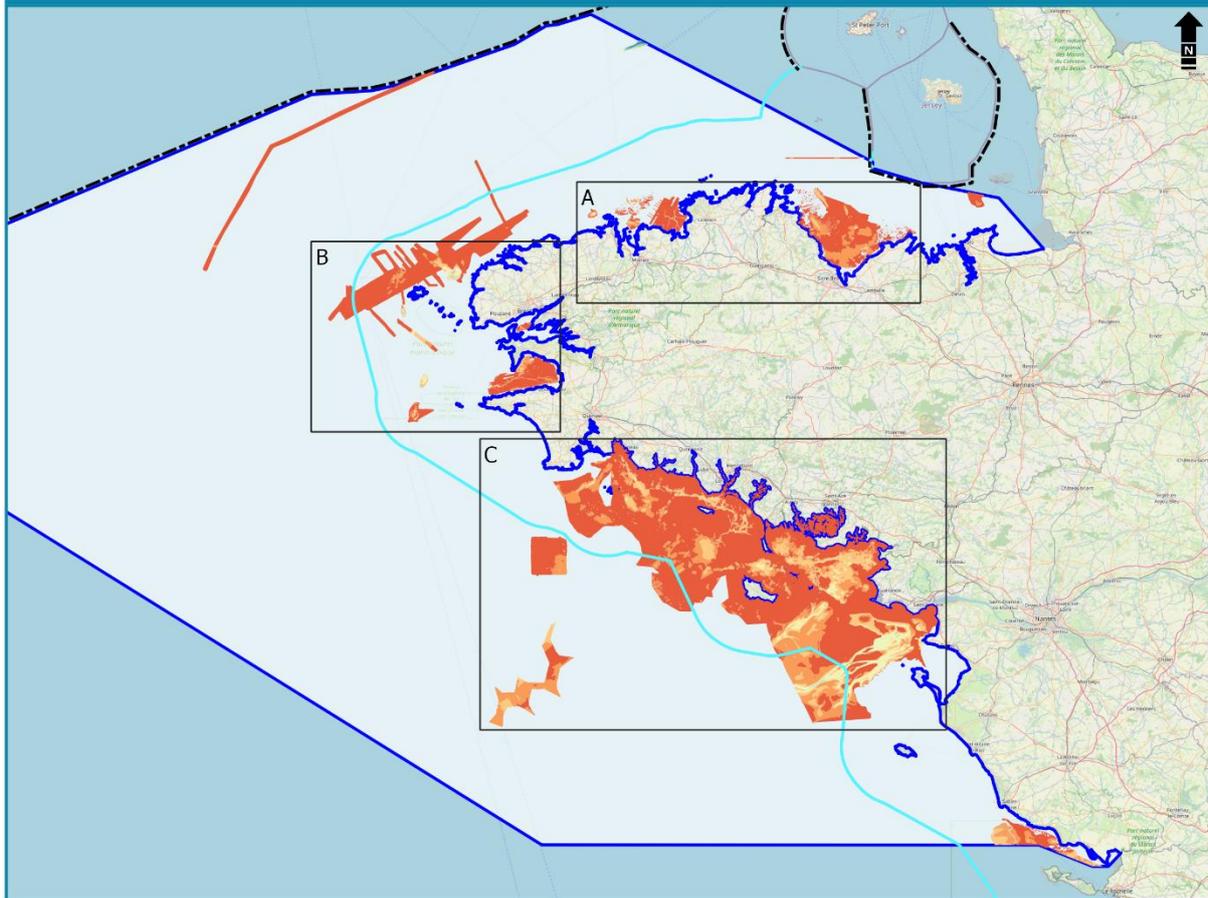
[6] Delanoë, Y. (1988). Les grands traits de la structure et de l'évolution géodynamique des dépôts tertiaires du plateau continental sud-armoricain d'après les enregistrements de réflexion sismique. *Géologie de la France*, 1, 79-90.

[7] Menier, D., Tessier, B., Proust, J. N., Baltzer, A., Sorrel, P., & Traini, C. (2010). The Holocene transgression as recorded by incised-valley infilling in a rocky coast context with low sediment supply (southern Brittany, western France). *Bulletin de la Société géologique de France*, 181(2), 115-128.

Débat public éolien en mer 2023

Épaisseur sédimentaire de la façade Nord Atlantique -
Manche Ouest

Projection : RGF 1993 Lambert-93



Légende

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



Épaisseurs sédimentaires

<ul style="list-style-type: none"> 0 - 0,5 m 0,5 - 5 m 5 - 10 m 10 - 20 m 20 - 30 m 	<ul style="list-style-type: none"> 30 - 40 m 40 - 50 m 50 - 60 m 60 - 70 m 70 - 80 m
--	---

Sources

MTE : Limites EMR
 Shom : Limites maritimes, épaisseurs sédimentaires
 Ifremer : Produit numérique "Granulats marins" (2013)
 Menier D., Augris C. et Briend C. (coord.) : Carte du remplissage sédimentaire plio-quaternaire en Bretagne Sud (2014)
 Fond de carte : OpenStreetMap (CC-BY-SA)

Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 4. Carte des épaisseurs sédimentaires de la façade Nord Atlantique – Manche Ouest. Les rectangles noirs correspondent aux emprises des agrandissements présentés en Figure 5 (Shom, 2023).

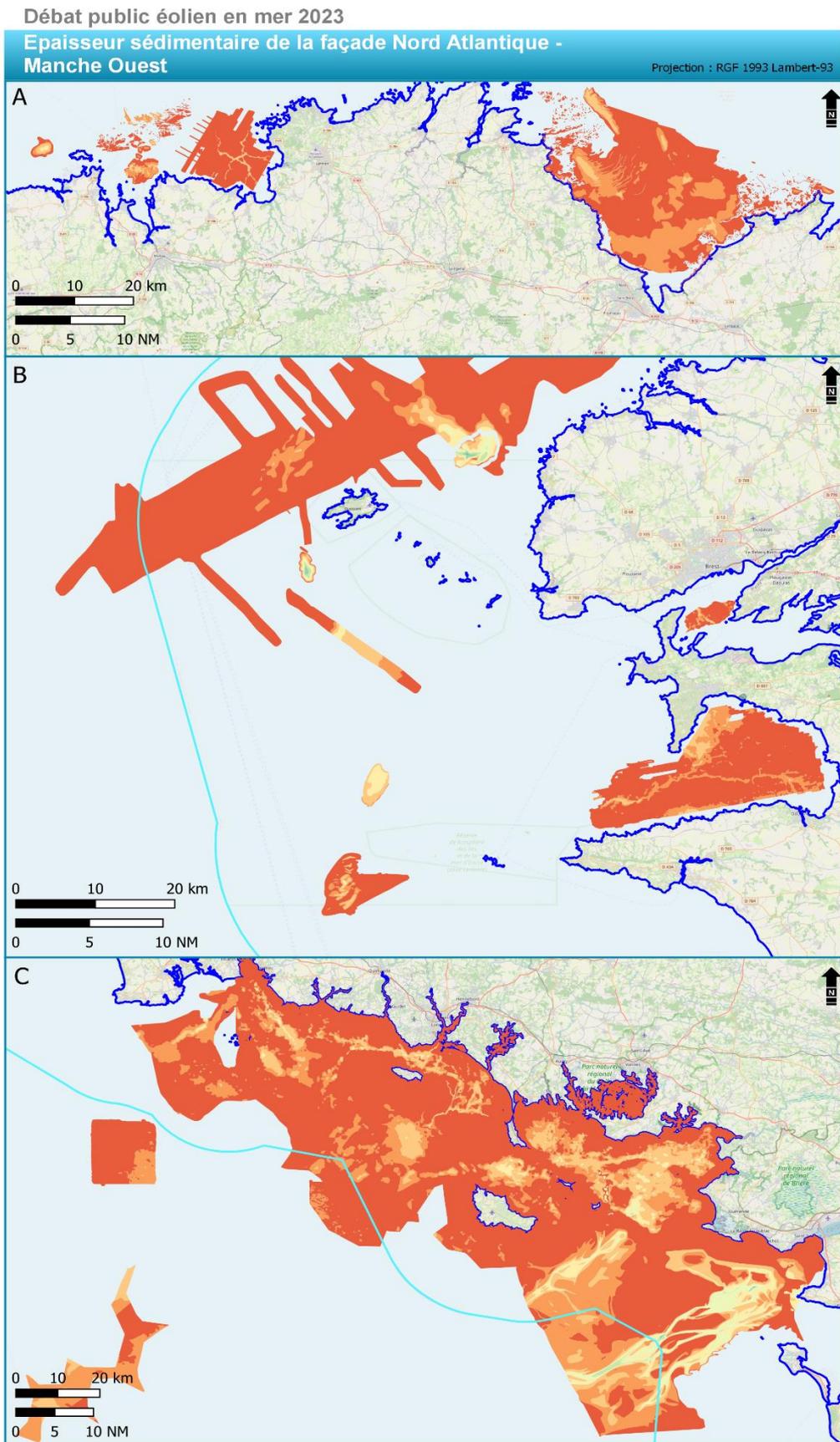


Figure 5. Cartes des épaisseurs sédimentaires du secteur « Manche » (A), du secteur « Finistère » (B) et du secteur « Bretagne Sud » (C) (Shom, 2023).

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 6**, 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.

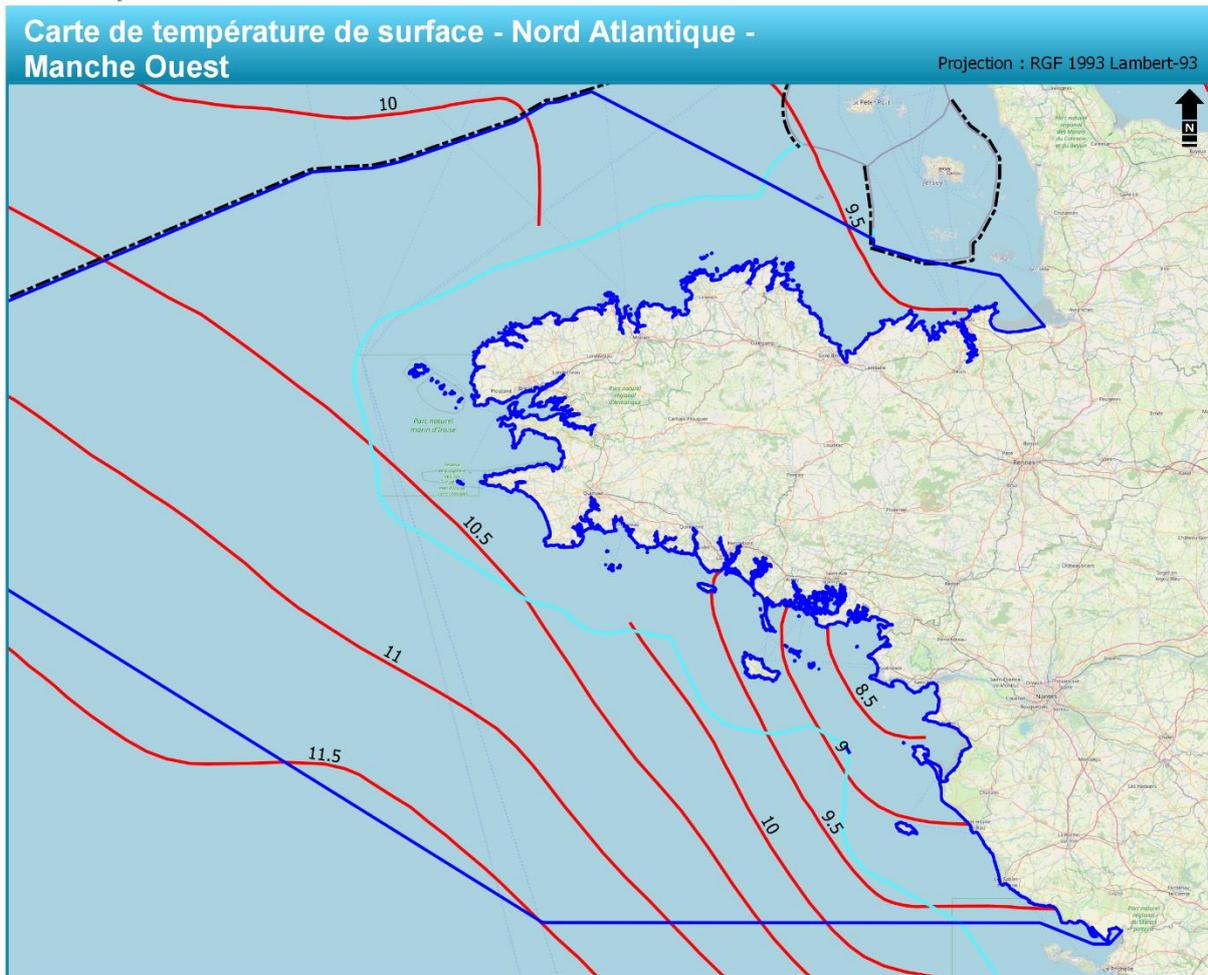
Tableau 1. Variations saisonnières de la température et de la salinité à la surface, à 30 m et 80 m de profondeur.

	Hiver - Février -	Printemps - Mai -	Été - Août -	Automne - Novembre -
Température de surface (°C)	10,01 – 11,56	11,75 – 13,83	15,44 – 17,94	13,58 – 14,88
Température à - 30 m (°C)	10,00 – 11,70	11,22 – 12,78	14,23 – 17,09	13,51 – 14,72
Température à - 80 m (°C)	9,99 – 11,66	10,86 – 11,22	11,65 – 13,37	11,71 – 13,28
Salinité de surface (psu)	35,23 – 35,45	34,95 – 35,06	35,04 – 35,40	35,33 – 35,42
Salinité à - 30 m (psu)	35,24 – 35,46	35,07 – 35,13	35,14 – 35,40	35,32 – 35,45
Salinité à - 80 m (psu)	35,24 – 35,51	35,09 – 35,46	35,19 – 35,51	35,33 – 35,46

De manière générale, les températures affichent des variations horizontales dans la zone d'étude, allant de 0,36 à 2,86°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 9,99°C à 80 m de profondeur, tandis qu'elles atteignent leurs valeurs maximales en été, avec des niveaux maximums de 17,94°C en surface (**Tableau 1**).

Les niveaux de salinité présentent des variations horizontales allant de 0,06 à 0,37 psu et sont homogènes sur la verticale (**Tableau 1**). Il ne semble pas y avoir de variation de la salinité selon la saison (**Tableau 1**).

Débat public éolien en mer 2023



Légende

- Zone d'étude Façade Nord Atlantique - Manche Ouest**
- 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 6. Carte des isolignes de température de surface pour le mois de février issues des données GDEM (Shom, 2023).

6. Courantologie

La courantologie de la région est constituée de différentes cellules : La Manche, le Golfe de Gascogne, et la mer d'Iroise à leur jonction. La marée y est semi-diurne et génère des courants instantanés particulièrement puissants en Bretagne ainsi qu'un « courant résiduel » dû à la dérive de Stokes qui contribue à la circulation générale, c'est-à-dire au courant Nord-Atlantique.

6.1 Circulation générale et variabilité saisonnière

La circulation générale est contrôlée par le courant Nord-Atlantique. Les courants de marée résiduels entraînent une partie des eaux du large du Finistère Nord vers la mer du Nord à une vitesse de 0,06 - 0,1 nd. Une seconde branche se dirige vers le sud-ouest de l'Angleterre après une intrusion en Manche le long des côtes de la Cornouaille anglaise. Les côtes du Trégor constituent le point de convergence où les eaux pénètrent dans la Manche et se rejoignent avec celles qui transitent par le golfe Normand-Breton. Il en résulte un courant résiduel qui s'écoule vers le nord jusqu'à atteindre la latitude de l'extrémité nord du Cotentin, où il prend ensuite une direction vers l'est. Entre la Bretagne et Ouessant, les courants de moyenne intensité, se dirigent vers le nord en formant des tourbillons en mer d'Iroise (**Figure 7**). Ces courants peuvent s'inverser temporairement lors de vents orientés de nord à ouest. Du printemps à l'automne, le front de Ouessant marque la séparation entre les eaux stratifiées du large et les eaux mélangées par la marée près de la côte. Ces gradients de densité génèrent un courant de surface dirigé vers le sud. En profondeur, là où les eaux froides du large rencontrent les eaux plus chaudes de la côte, ce courant change de direction pour se diriger vers le nord. Son intensité et sa localisation varient en fonction des cycles des marées et des conditions de vent. La côte méridionale de la Bretagne est fortement influencée par le mélange d'eau douce de la Loire et des rivières qui s'y jettent. Les courants sont principalement dirigés vers l'ouest de l'automne au printemps puis s'inverse vers le sud-est le restant de l'année (**Figure 7**). En baie de Bourgneuf (Noirmoutier, Saint-Nazaire), les courants sont orientés vers le sud sous l'effet des courants résiduels de marée. Les vents d'ouest créent des courants de dérive qui ont tendance à masquer les courants de marée jusqu'à environ 10 milles des côtes. Ces **vents d'afflux** accumulent les eaux dans le Golfe de Gascogne. Le surplus d'eau s'évacue en longeant la côte vers le nord-ouest, puis vers le nord en passant au large de Ouessant jusqu'à la Manche (**Figure 7**).

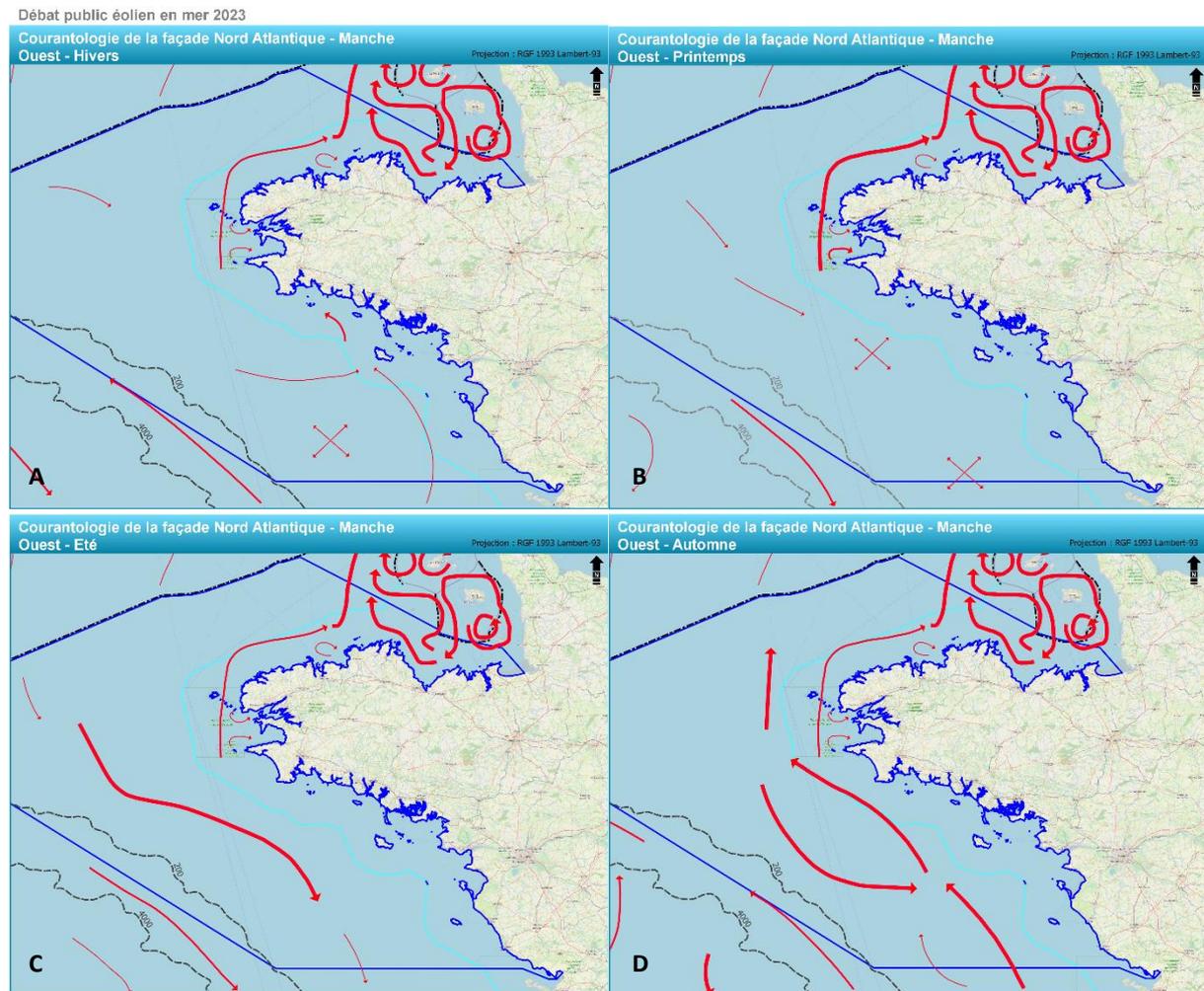
6.2 Les courants de marée

En Manche, les courants de marée suivent un régime alternatif, avec le flot qui se dirige vers l'est-nord-est et celui le jusant vers l'ouest-sud-ouest. Ces courants peuvent prendre un caractère giratoire tel que dans le golfe Normand-Breton. Les courants de marée les plus puissants de France métropolitaine se trouvent dans la Manche occidentale, avec des vitesses pouvant atteindre jusqu'à 10 nds en moyenne en vive-eau, notamment au Raz Blanchard.

En mer d'Iroise les courants sont très forts et peuvent porter sur les plateaux situés au sud-est de Ouessant ou sur la chaussée de Sein. En effet, la vitesse des courants atteint 8 nds dans le Fromveur et 6 nds dans le Raz de Sein, avant de s'affaiblir au sud de cette zone. Les courants de dérive se surimposent avec une vitesse de 1 nd de courant réel. La partie orientale de la mer d'Iroise est influencée par les courants résiduels de marée, qui s'écoulent vers le nord dans le raz de Sein et le chenal du Four. Ces courants sont modulés par les cycles de marée.

Dans le golfe de Gascogne, le courant de marée est giratoire avec le flot orienté entre le nord-est et le sud-est et un jusant opposé. Il agit sur l'ensemble de la colonne d'eau dans le golfe mais plus faiblement dans la plaine abyssale (~0,02 nd). En revanche, sa vitesse augmente considérablement sur le plateau continental, variant de 0,4 à 0,6 nd à mesure que la profondeur diminue, pour atteindre jusqu'à 1,5 nd près des côtes nord. Dans la façade maritime Nord Atlantique – Manche Ouest, des phénomènes de « tenue de plein » sont observables dans les estuaires et baies. De plus, Les phénomènes de remplissage/vidange génèrent de puissants courants, notamment à l'entrée du Golfe du Morbihan où le courant de la jument peut atteindre 9,1 nds. En morte-eau, les courants de marée diminuent de 20 à 30 % mais la géomorphologie côtière, les forçages météorologiques et les apports fluviaux (e.g., Loire) peuvent les impacter ponctuellement. La renverse des courants de fond se produit environ une heure avant celle de la surface en raison des effets de frottement avec le fond. Lorsque l'onde de marée atteint le talus continental, une onde de marée interne est générée à cause du changement soudain de profondeur, créant ainsi des courants d'environ 1 nd le long de la bordure externe du plateau (**Figure 7**).

Pour des informations plus détaillées, les atlas n°564,561,557, 555, 558, 562, 563 et 566 publiés par le Shom contiennent les cartes horaires des courants de marée sur des cycles complets. La carte présentée en **Figure 8**, est particulièrement utile pour détecter les zones où le courant de marée est le plus fort pendant les marées de vive-eau moyenne (coefficient 95).



Légende

- Zone d'étude Façade Nord Atlantique - Manche Ouest
- 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

0 50 100 150 km 0 30 60 90 NM

Sources

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

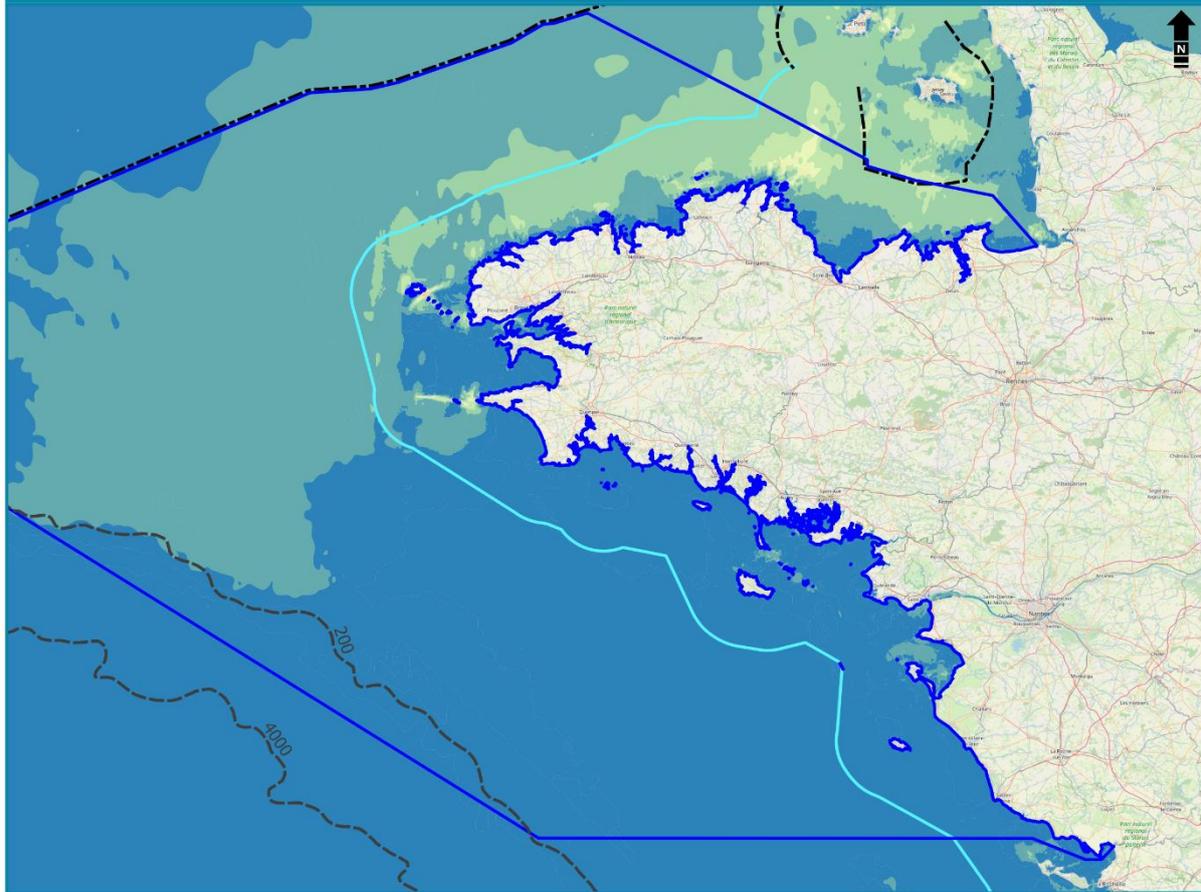
Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 7. Courantologie de la façade Nord Atlantique – Manche Ouest 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

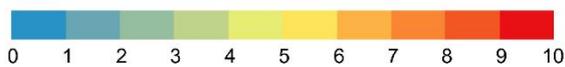
Zone d'étude Façade Nord Atlantique - Manche Ouest

--- Délimitation maritime établie par un accord entre Etats

— Limite extérieure de la mer territoriale (12 M)

--- Isobathes (limites du talus continental)

Vitesses maximales (nd)



Sources

MTE : Limites EMR

Shom : Limites maritimes, courants

Fond de carte : OpenStreetMap (CC-BY-SA)

Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 8. 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 toute la côte sud de la Bretagne (**Figure 9**). L'amplitude des marées augmentent du large vers la côte et du sud au nord, à mesure que les grandes profondeurs s'éloignent des côtes. Ainsi, le marnage au sud de la pointe de Penmarch est de 4-5 m (**Figure 9**).

L'onde de marée provenant de l'Atlantique, arrive en Mer celtique puis entre dans La Manche sous la forme d'une onde progressive dérivée où elle se combine avec une onde stationnaire de moindre importance liée au fait que la Manche forme un bassin de résonance. La paroi orientale de ce bassin correspond à la côte au sud du Pas de Calais. Lorsque l'onde de marée se propage dans la Manche, elle génère une importante élévation du marnage, atteignant en moyenne 9 m dans la baie du Mont Saint-Michel (jusqu'à 14,5 mètres lors des grandes marées)

La carte cotidale et d'isomarnage présentée en **Figure 9** 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 10** 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 Saint-Malo, Roscoff, Brest, Le Conquet, Concarneau, Port-Tudy, Le Crouesty, Saint-Nazaire, Saint-Gildas et Les Sables d'Olonne. 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

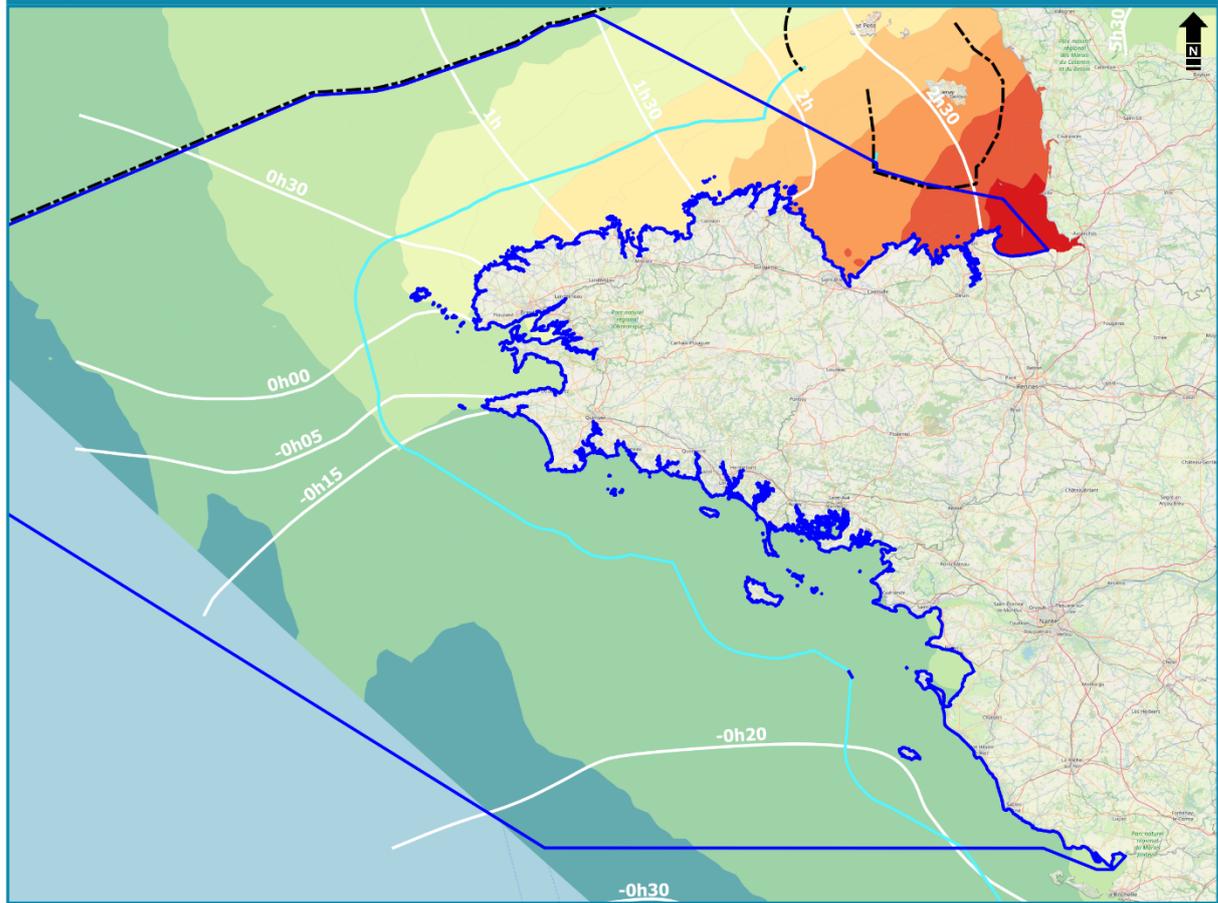
[1] <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/593562/estimation-des-valeurs-extremes-de-niveau-d-eau-littoral-metropolitain> (Shom/Cerema).

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

Débat public éolien en mer 2023

**Carte cotidale et isomarnage pour un coefficient de 95
Façade Nord Atlantique - Manche Ouest**

Projection : RGF 1993 Lambert-93



Légende

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



Isomarnage coefficient 95 (m) :

<ul style="list-style-type: none"> 2 - 3 3 - 4 4 - 5 5 - 6 6 - 7 	<ul style="list-style-type: none"> 7 - 8 8 - 9 9 - 10 10 - 11 11 - 12
---	--

Sources

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

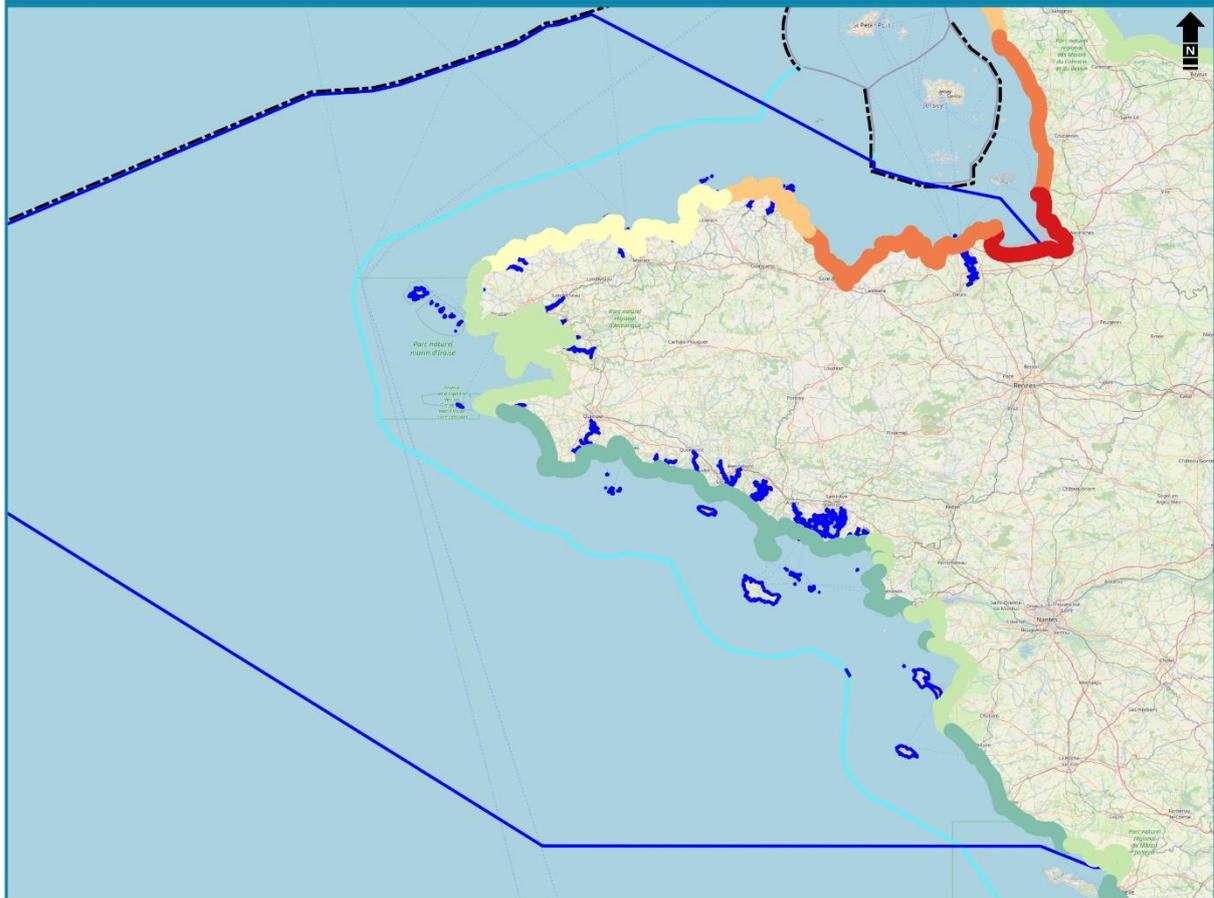
Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 9. 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 Nord Atlantique - Manche Ouest

Projection : RGF 1993 Lambert-93



Légende

- Zone d'étude Façade Nord Atlantique - Manche Ouest
- 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 10. 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 façade Nord Atlantique – Manche Ouest est exposée à de puissantes houles en provenance de l'Atlantique. Les fetchs sont particulièrement longs dans la direction ouest et significatifs dans les directions nord et sud, 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 numériques 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 11** 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 11**).

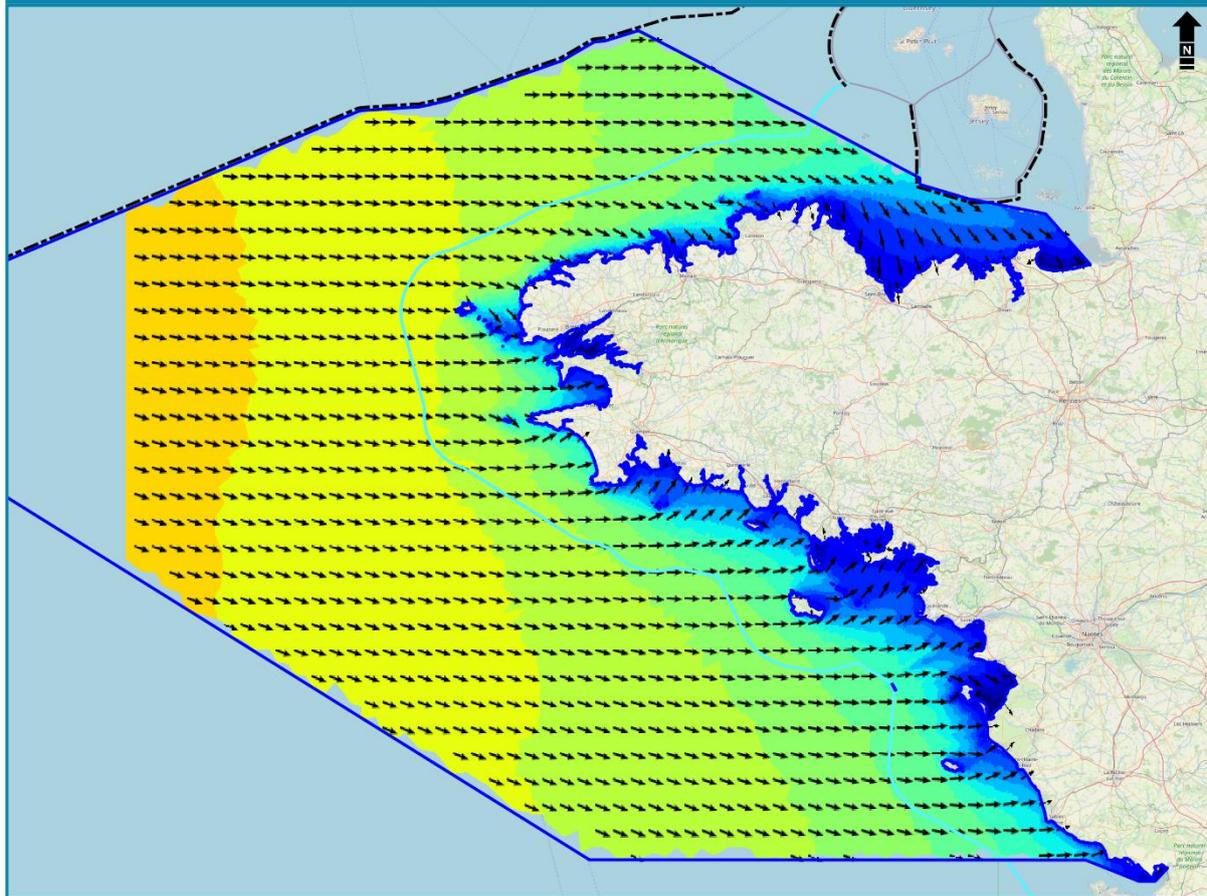
La **Figure 12** présentées en **Annexe II** met en évidence un cycle saisonnier marqué, caractérisé par des hauteurs significatives plus faibles pendant l'été et plus élevées en hiver. La **Figure 13 (Annexe II)** montre les hauteurs significatives maximales atteintes entre 1979 et 2022 (~12,5 m).

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

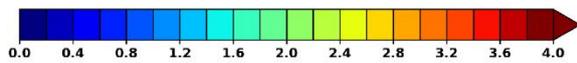
Projection : RGF 1993 Lambert-93



Légende

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

Hauteurs significatives moyennes (m)



Sources

MTE : Limites EMR
 Shom : Limites maritimes, hauteurs significatives et directions 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 (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.

Tenue de plein : Manifestation de la déformation de l'onde de marée lors de sa progression sur les zones de petits fonds. Le spectre de la marée révèle alors l'apparition de nouvelles composantes harmoniques et des combinaisons de composantes astronomiques (composantes quart-diurnes, sixième-diurne...). Une fois générées, ces composantes se propagent de manière autonome et vont interférer avec les autres composantes du spectre. On retrouve par exemple ce phénomène au Havre, à La Rochelle, et plus largement dans le pertuis d'Antioche. C'est pourquoi la courbe de marée est asymétrique et présente un palier plus ou moins important à chaque pleine mer.

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

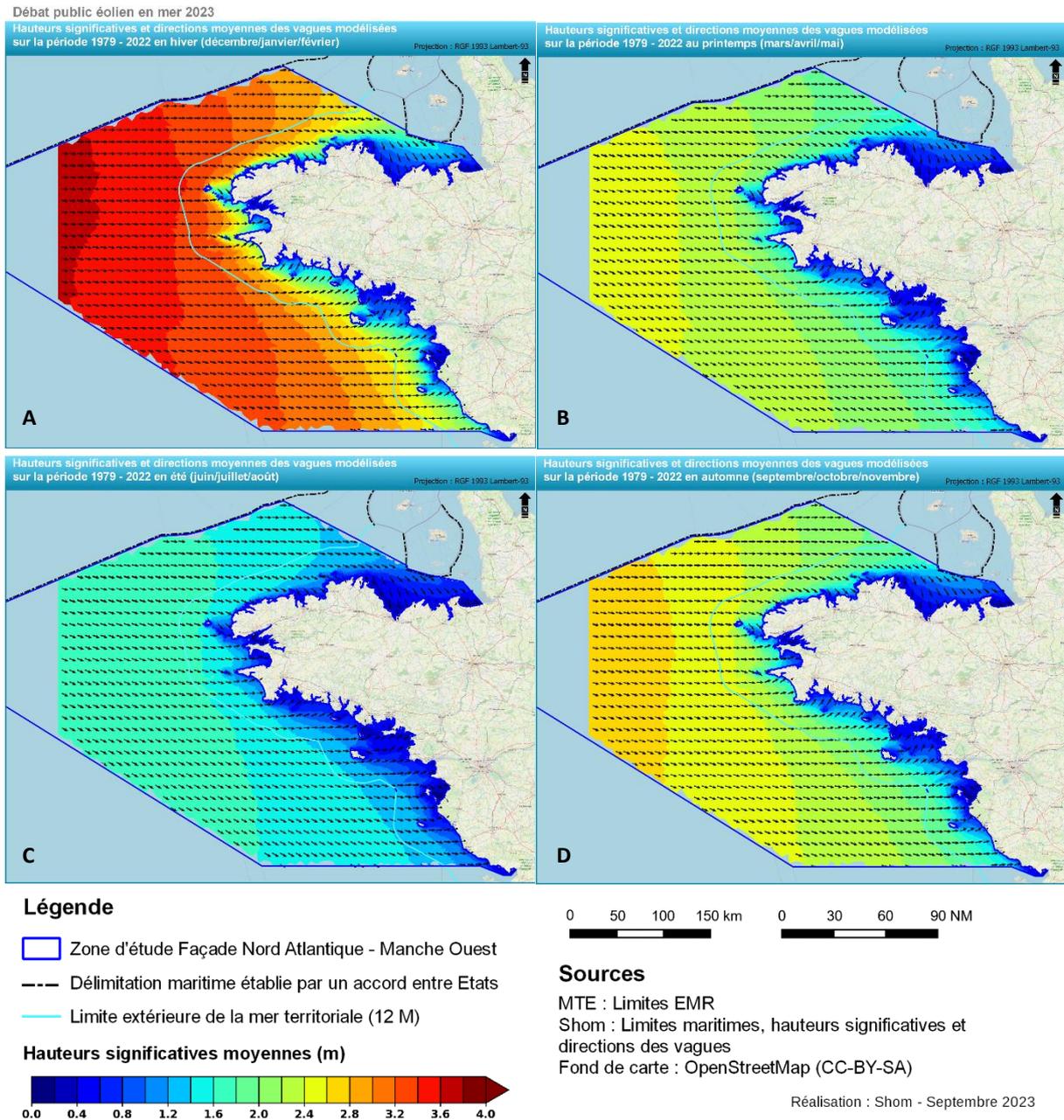
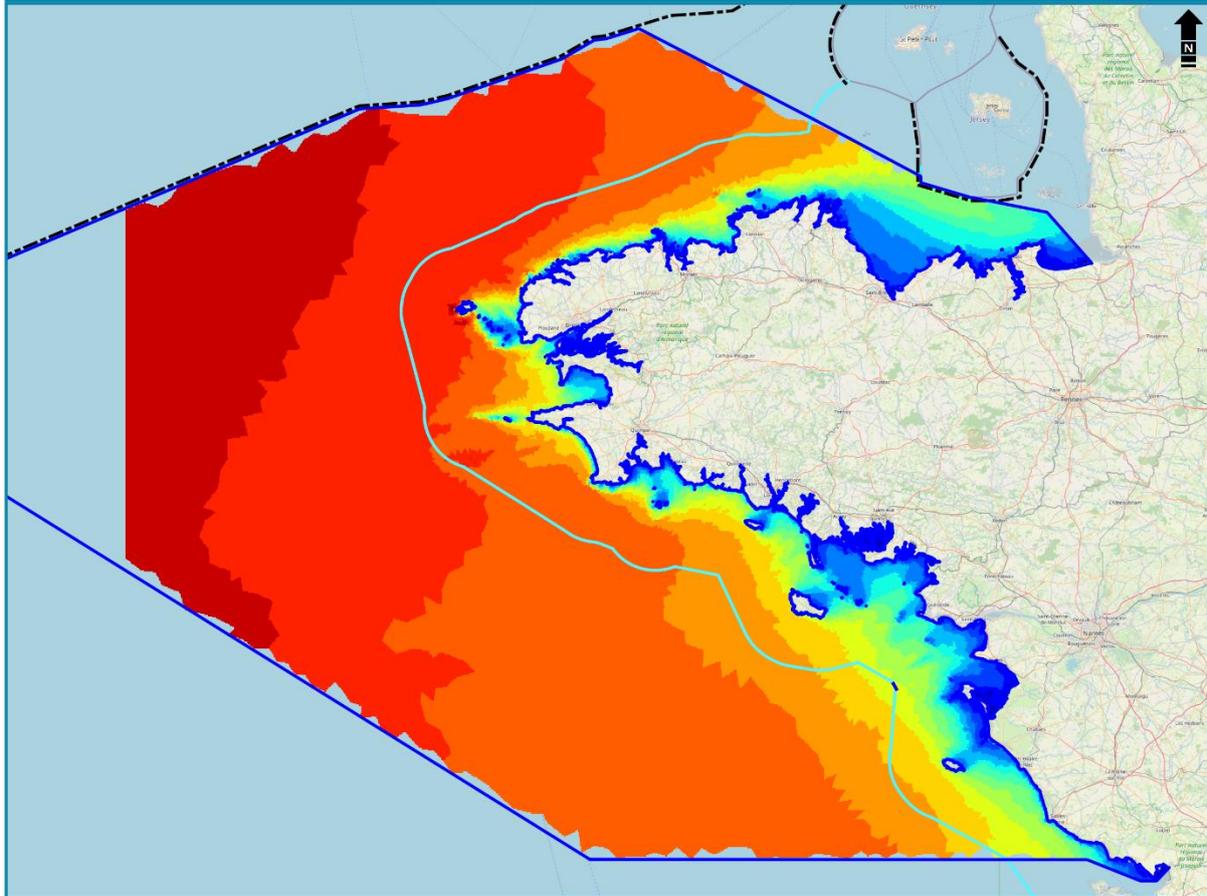


Figure 12. Hauteurs significatives et directions moyennes des vagues modélisées sur la période 1979-2022 en hiver (A), au printemps (B), en été (C) et en automne (D) (Shom, 2023).

Débat public éolien en mer 2023

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

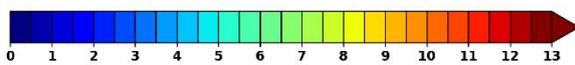
Projection : RGF 1993 Lambert-93



Légende

- Zone d'étude Façade Nord Atlantique - Manche Ouest
- 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, hauteurs significatives et directions des vagues
 Fond de carte : OpenStreetMap (CC-BY-SA)

Réalisation : Shom - Septembre 2023

Figure 13. Hauteurs significatives maximales des vagues modélisées sur la période 1979-2022 (Shom, 2023).