



**Description de l'état de la connaissance
et des caractéristiques physiques
de la macrozone éolien en mer de Bretagne Sud**

Approbateur	mda@shom.fr
Date	Le 22/04/2020

Shom
DSD/DAF
CS 92803
29228 BREST CEDEX 2

TABLE DES MATIERES

Généralités	3
Bathymétrie.....	8
Sédimentologie.....	10
Hydrologie	14
Marée et courants.....	16
Houle, vagues et état de mer	24

Introduction

Dans le cadre de la préparation du débat public sur les projets éoliens en mer au large de la Bretagne Sud, la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) du Ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) a commandé au Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (Shom) une étude d'état de la connaissance des caractéristiques physiques de la macrozone soumise au débat public.

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 connaissance des caractéristiques physiques de la zone doit donc permettre d'éclairer le public, et l'ensemble des acteurs qui prendront part au débat public, sur les paramètres pouvant influencer le choix de zones préférentielles pour des projets éoliens en mer au large de la Bretagne Sud.

La présente étude porte sur la bathymétrie, la sédimentologie, les marées et les courants, l'hydrologie, la houle, les vagues et états de mer.

Généralités

Références :

1. Instructions nautiques – C23 – France (Côte Ouest) de la pointe de Penmarc'h à l'île d'Yeu sous www.diffusion.shom.fr
2. Projet HOMONIM – financement MTES, Shom et Météo-France
3. Projet national Litto3D Shom-IGN pour la constitution du Référentiel Géographique du Littoral (RGL)

Quelques définitions :

- **Bathymétrie** : La bathymétrie est la mesure des profondeurs et du relief de l'océan pour déterminer la topographie du sol des océans. Les mesures bathymétriques modernes sont réalisées à l'aide d'appareils acoustiques, appelés sondeurs bathymétriques (mono ou multi-faisceau), mais de nombreuses régions de par le monde ne sont connues que par les anciennes mesures avec un plomb de sonde déroulé au bout d'une corde.
- **Sédimentologie** : Les sédiments des plateformes continentales sont un mélange de particules reliques et récentes reposant sur un socle rocheux plus anciens. Leurs caractéristiques sont liées à la granulométrie et à la quantité de matériel disponible, avec une influence de la morphologie du substrat et des variations à long terme du niveau marin. Les structures sédimentaires vont des dépressions partiellement comblées des anciennes rivières (paléo-vallées), aux reliefs créés par les dunes et bancs sableux. Les courants tidaux et les houles ont la capacité de mettre en mouvement ces sédiments et ces structures. La sédimentologie comprend ainsi la caractérisation de la nature des fonds et l'étude de la dynamique sédimentaire, cette dernière reposant sur la nature et granularité des sédiments, sur l'hydrodynamique et sur la profondeur.
- **Marée** : la marée est la variation du niveau de la mer due à l'action gravitationnelle des astres (dont les principaux sont la lune et le soleil), dont les mouvements peuvent être calculés avec précision sur des périodes de plusieurs centaines, voire de plusieurs milliers d'années. L'un des buts principaux de l'étude des marées est la recherche des relations existant entre le mouvement

des astres et la réponse des océans à l'action de ces forces gravitationnelles afin d'établir des formules de prédiction.

- Courants marins : les courants marins ont deux origines bien distinctes :
 - les courants de marée que l'on appellera "gravitationnels" : leur origine est la force génératrice des marées dont la cause première est l'attraction newtonienne,
 - les courants que l'on appellera "radiationnels" : leur origine plus ou moins lointaine est le rayonnement solaire, responsable de phénomènes tels que le régime des vents, le cycle des saisons, les perturbations météorologiques, ou les variations spatiales de densité des océans pouvant générer des mouvements au sein des masses d'eau.
- ❖ **GLOSSAIRE marées/courants** :
 - ✓ Marnage : différence de hauteur d'eau entre une pleine mer et une basse mer consécutive.
 - ✓ Marée semi-diurne : type de marée pour laquelle les composantes diurnes sont négligeables devant les composantes semi-diurnes. Il y a alors deux pleines mers et deux basses mers d'importances sensiblement égales par jour. Ce type de marée est prépondérant en Atlantique.
 - ✓ Courant de flot : On appelle le courant de flot, le courant portant entre une basse mer et une pleine mer successive, lors du montant des eaux.
 - ✓ Courant de jusant : On appelle le courant de jusant, le courant portant entre une pleine mer et une basse mer successive, lors du perdant des eaux.
 - ✓ Courant alternatif : En régime alternatif, le courant a une direction à peu près invariable pendant une demi-marée et la direction opposée pendant l'autre demi-marée.
 - ✓ Courant giratoire : Un courant giratoire porte, au cours d'une marée, successivement dans toutes les directions.
 - ✓ Surcote/décote : Cette notion désigne la différence entre le niveau marin observé et le niveau marin qui existerait en présence de la marée astronomique seule (hauteur prédite). Lorsque cette différence est positive, on parle de surcote ; lorsqu'elle est négative, de décote.
 - ✓ Période de retour : La période de retour correspond à l'intervalle moyen de temps qui sépare deux événements rares présentant des niveaux de mer supérieurs à un certain seuil.
- Hydrologie marine : les deux grandeurs physiques essentielles et principales de l'eau de mer sont la température et la salinité. La température est fondamentale pour l'évaluation des caractéristiques des masses d'eaux car elle joue un rôle important dans la variabilité des cycles biologiques. Sa mesure est indispensable pour l'interprétation ou le calcul d'autres grandeurs (salinité, densité, célérité du son, oxygène dissous...). Par son influence sur la densité de l'eau de mer, la salinité permet de connaître la circulation océanique, identifier les masses d'eau d'origine différente et suivre leurs mélanges. Elle représente la masse de sels dissous contenue dans un kilogramme d'eau de mer. Elle est un rapport entre deux grandeurs de mêmes unités, donc sans unité. Elle a une valeur proche de 35 dans les océans, ou 0 pour les eaux douces.
- Houle et vagues, état de la mer : la **mer de vent** correspond aux vagues générées localement sous l'effet de l'action du vent, et la hauteur des vagues croît avec l'intensité du vent et la durée de son action. La **houle** correspond à des vagues générées ailleurs et qui se sont propagées. Elle dépend du « fetch » (taille de l'aire maritime sur laquelle souffle le vent). **L'état de la mer** est le résultat de plusieurs facteurs : action du vent sur la mer, bathymétrie (en zones de petits fonds, elle modifie la répartition spatiale des hauteurs de vagues), relief côtier, courants dus au vent, à la marée... En général, il se compose des vagues liées à la mer de vent et celles liées à la houle.

1. Description de la macrozone

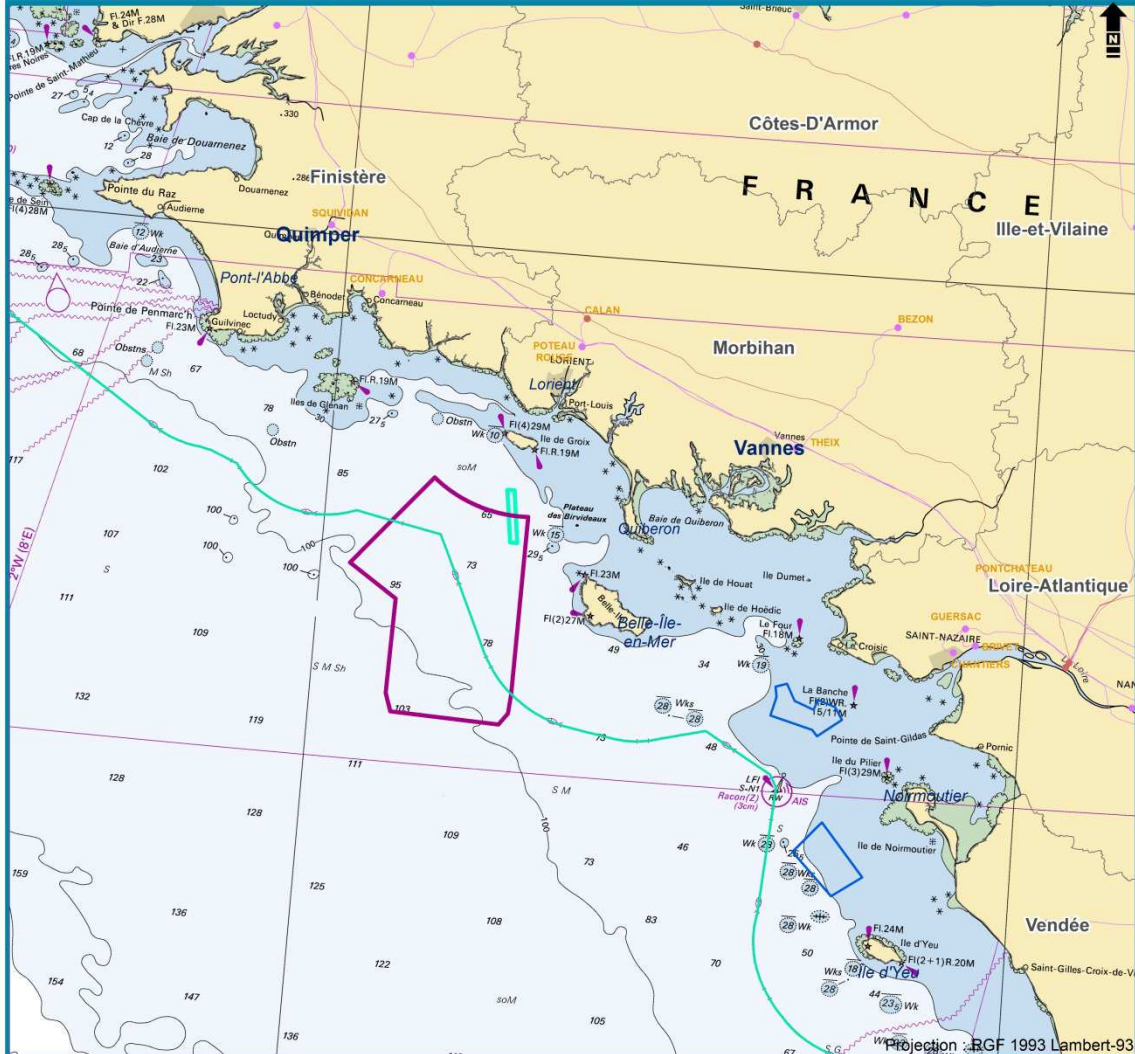
La macrozone identifiée pour l'implantation de futurs sites éoliens en mer flottants se situe dans la partie nord du Golfe de Gascogne, entre la pointe de Trévignon et la presqu'île de Quiberon.

Un certain nombre d'informations nautiques relatives à cette portion des eaux françaises sont données dans les instructions nautiques en référence. La zone concernée par cette étude (voir figure 1) se situe au large de la partie sud de la région Bretagne, caractérisée notamment par la présence des îles de Groix (au nord de la macrozone) et Belle-Île (à l'est de la macrozone).

La dynamique océanique qui préside dans cette région est essentiellement le fait des courants de marée, générés par l'onde de marée issue de l'océan Atlantique (voir la section « courants et marée »), du relief côtier, et des phénomènes météorologiques.

Débat public éolien en mer 2020

Description de la macrozone

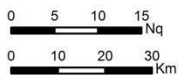


- Macro-zone proposée pour la participation du public
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

- | Poste électrique | Ligne électrique |
|--|--|
| ● 225 kV | — 225 kV |
| ● 400 kV | — 400 kV |

● Theix Nom des postes électriques

Carte marine n°7211



Sources:
 MTES: Limites EMR
 Shom: Limites maritimes, cartographie marine
 RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
 IGN: Limites administratives terrestres

Réalisation: Cerema- Shom 2020

Figure 1 : Description de la macrozone EMR Bretagne sud (Source : Shom 2020)

2. Caractéristiques physiques

Les sections de ce dossier présentent les principales caractéristiques physiques de cette région et un état très synthétique de la connaissance actuelle. Elles concernent les thématiques techniques suivantes :

- Bathymétrie
- Sédimentologie marine
- Hydrologie marine
- Courants et marée
- Houle et vagues

Bathymétrie

Références :

[1] Projet HOMONIM – financement MTES, Shom et Météo-France

La bathymétrie générale de la région est connue au travers d'un certain nombre de données et produits édités par le Shom, qui agit en tant que service hydrographique national compétent pour toutes les eaux françaises notamment. La connaissance est basée sur l'existence de données issues de levés bathymétriques réalisés dans cette région à bord de navires hydrographiques. Ces données permettent aussi l'élaboration de produits tels que les cartes marines (usage orienté pour la sécurité de la navigation), ou des modèles numériques de terrain (MNT).

Le Shom dispose à ce jour, dans la macrozone, de 11 levés datant de la période 1939 à 2016 (date de l'interrogation de la base de données ; hors restriction sur la protection militaire, sans restriction sur la protection commerciale). Ces levés proviennent essentiellement de sondages acoustiques (au moyen de sondeurs monofaisceaux et multifaisceaux), mais aussi de mesures au plomb de sondes. La majeure partie de la zone est faiblement couverte par des levés anciens. Seul l'extrême sud est couvert sur l'ensemble de la largeur de l'emprise d'intérêt et sur une bande de 7km (soit 1/7 de la zone) par des levés récents.

Concernant les aspects relatifs à l'atterrage des câbles d'une future ferme EMR, les données traditionnelles bathymétriques précitées sont généralement insuffisantes. L'acquisition des données topo-bathymétriques qui auraient pu permettre une évaluation plus fine de la bathymétrie sur la frange proche du littoral (de type lidar aéroporté) n'interviendra qu'en 2020 voire 2021 et les données ne seront probablement pas accessibles avant 2022 sur le site www.data.shom.fr.

La connaissance bathymétrique peut être par ailleurs décrite par un modèle numérique de terrain (MNT) de la façade Manche-Atlantique, produit élaboré à partir de multiples producteurs de données sur la région. Ce produit offre une maille régulière de 100 mètres de résolution horizontale (MNT réalisé au travers du projet HOMONIM [1]).

Dans les grandes lignes, on peut caractériser la macrozone par une morphologie assez stable avec une pente douce (0,1%) orientée nord-est / sud-ouest allant de 50 à 100 m de profondeur (figure 2). Globalement, la profondeur des fonds concernant les secteurs d'intérêt EMR se situe aux environs de 80 mètres, ce qui est compatible avec la technologie de l'éolien en mer flottant.

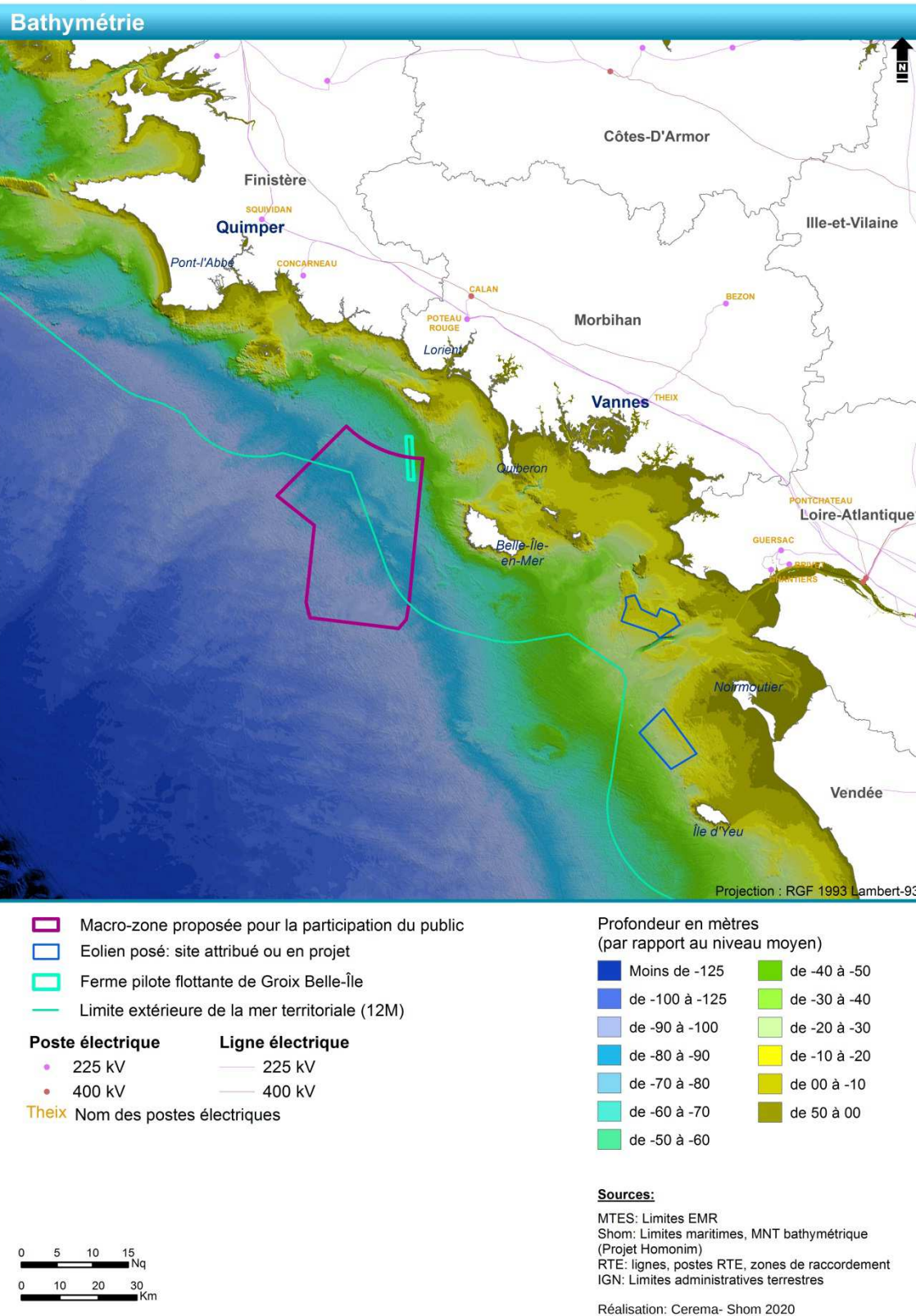


Figure 2 : Couverture bathymétrique générale de la zone EMR Bretagne sud (Source : Shom 2020)

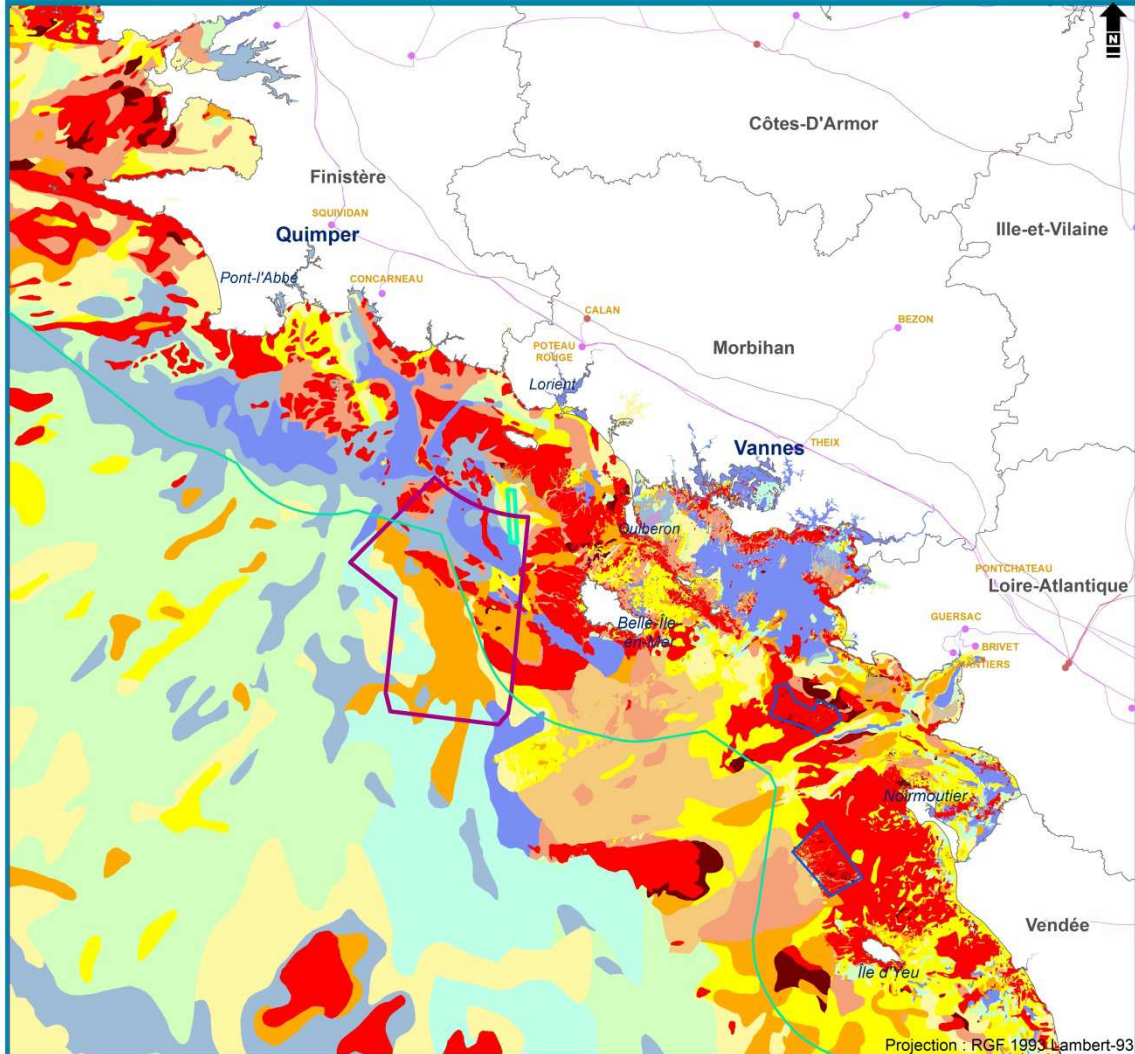
Sédimentologie

Nature des fonds

La carte sédimentaire produite sur la zone d'étude repose sur les prélèvements réalisés et les données d'imagerie acoustique acquises au cours des dernières décennies et intégrées dans les neuf cartes sédimentologiques à l'échelle 1/50 000 publiées de 1994 à 2016 (cartes G) complétée par la carte sédimentaire du plateau continental français à l'échelle 1/500 000 pour la partie hauturière. Certains secteurs, tels que la Baie de Douarnenez (Ifremer, 2005) ainsi que les zones EMR de l'île d'Yeu et de Saint-Nazaire (Shom, 2013 et 2014), reposent sur des données à haute résolution acquises ces dernières années, mais l'essentiel des données de base utilisées pour la production de ces cartes date de plusieurs décennies. La carte de nature de fond présentée en figure 3 a été « généralisée » afin de rendre ce document de synthèse lisible.

La région est caractérisée par des fonds rocheux le long du rivage, et par une bande située plus au large, dans une gamme de profondeur allant de 20 à 50 m, et comprenant l'archipel des Glénan, le plateau rocheux de l'île de Groix, le plateau des Birvideaux et le Banc de Guérande. Les fonds sédimentaires sont dans leur majeure partie composés de sédiments envasés allant des sables vaseux (sables comportant de 5 % à 20 % de vases) aux vases (sédiment comportant plus de 20 % de particules inférieures à 0,05 mm). Au large, cette région se distingue par la présence de la Grande Vasière, structure sédimentaire peu épaisse, centrée sur l'isobathe 100 m, et composée de sables fins, de sables fins vaseux et de vases. En dehors de ces sédiments vaseux, des zones soumises à une plus grande dynamique sédimentaire sont recouvertes de sables ou de graviers, c'est en particulier le cas entre la côte et les îles de Groix, de Belle-Ile-en-Mer et de Noirmoutier (voir figure 3).

Natures de fond Bretagne Sud



- Macro-zone proposée pour la participation du public
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

- | Poste électrique | Ligne électrique |
|--|--|
| ● 225 kV | — 225 kV |
| ● 400 kV | — 400 kV |
- Theix Nom des postes électriques

Carte sédimentaire de la zone EMR Bretagne Sud (Shom 2020)

- | | |
|---|---|
| ■ Roche | ■ Sables |
| ■ Cailloutis | ■ Sables Vases |
| ■ Cailloutis Gravier | ■ Sables fins Cailloutis |
| ■ Cailloutis Sables | ■ Sables fins |
| ■ Gravier Cailloutis | ■ Sables fins Vases |
| ■ Gravier | ■ Silts |
| ■ Gravier Sables | ■ Vases Gravier |
| ■ Gravier Vases | ■ Vases Sables |
| ■ Sables Gravier | ■ Vases |
| ■ Sables Gravier Vases | |

Sources:

- MTES: Limites EMR
- Shom: Limites maritimes, sédimentologie (nature des fonds)
- RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
- IGN: Limites administratives terrestres

Réalisation: Cerema- Shom 2020

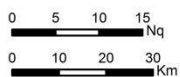


Figure 3 : Carte des natures de fond de la zone EMR Bretagne sud (Source : Shom 2020)

Épaisseur de sédiments de la zone EMR Bretagne Sud

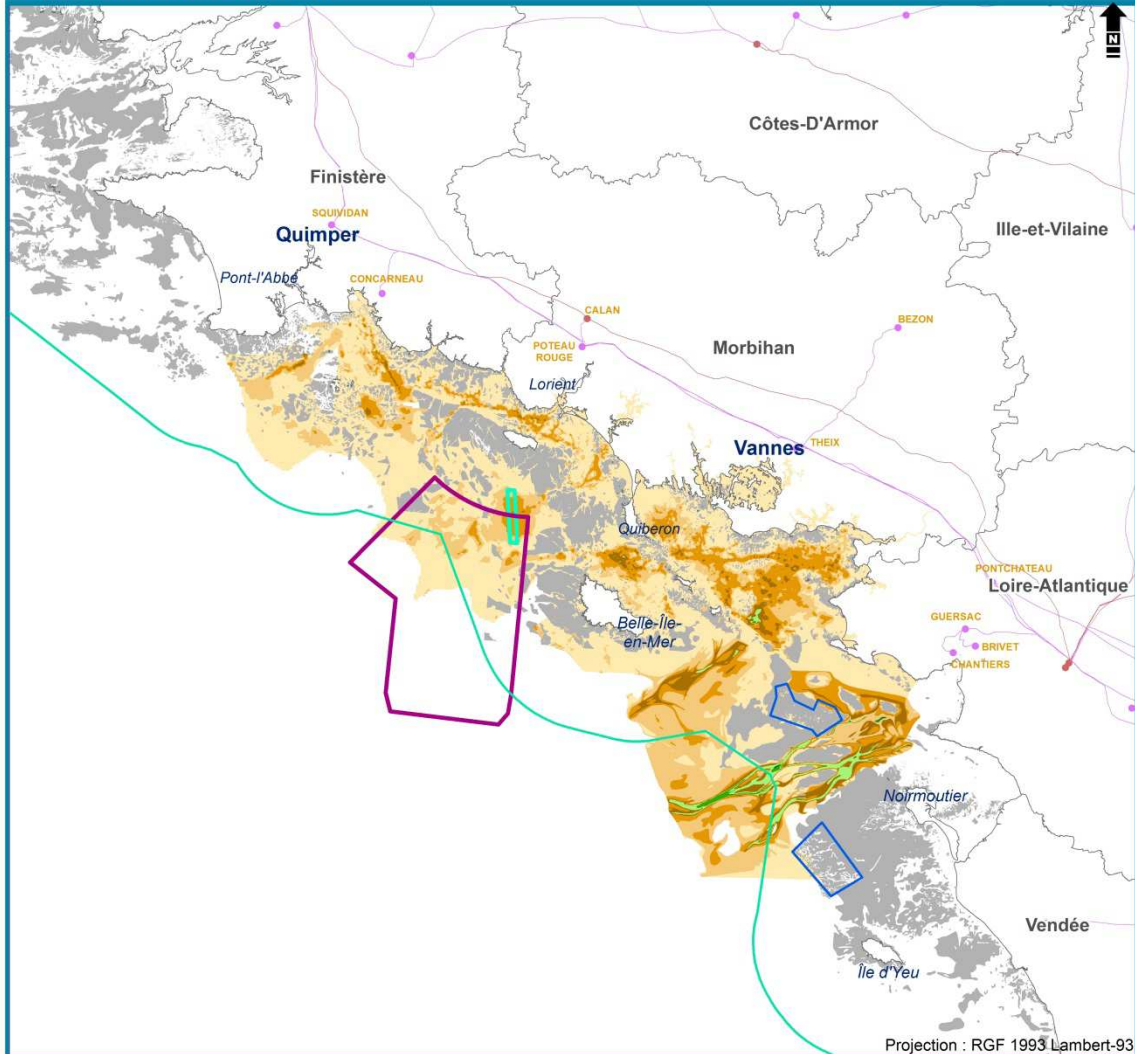
Les structures engendrant une variabilité de l'épaisseur sédimentaire en Bretagne sud sont essentiellement les paléo-vallées. Ces dépressions ont été creusées dans le prolongement des principaux fleuves durant les périodes glaciaires qui avaient entraîné un abaissement important du niveau marin. C'est notamment le cas au Pléistocène supérieur (entre -8 000 et -120 000 ans) durant lequel le niveau marin a pu descendre jusqu'à 120 m (Funnel, 1995) par rapport au zéro hydrographique actuel. Les dépressions creusées alors par les fleuves recherchant leur niveau d'équilibre, ont ensuite été progressivement comblées par des sédiments variés. Ces paléo-vallées ont fait l'objet de plusieurs études basées sur de nombreuses campagnes de sismique menées depuis les années 1970 (Bouysse et al, 1974 ; Delanoë, 1988 ; Menier, 2004 ; Menier et al, 2014).

La zone de dépôts sédimentaires la plus importante est la paléo-vallée de la Loire avec des épaisseurs dépassant fréquemment 30 m et présentant localement des valeurs de 60 m qui sont les plus importantes de la région (voir figure 4). Plus à l'ouest, la paléo-vallée de la Vilaine engendre des épaisseurs de sédiments de 30 à 40 m au sud de la Baie de Quiberon et dans la dépression qui la prolonge entre Belle-Ile-en-Mer et le Banc de Guérande. De Belle-Ile-en-Mer à Pont-l'Abbé, la structuration en paléo-vallées rattachées à des fleuves n'est pas aussi clairement établie. Nous y observons de petits bassins qui se sont créés au débouché des fleuves (Etel, Blavet, Odet) dans la partie en dépression située entre la côte actuelle et la zone rocheuse du large, qui ont ensuite été partiellement comblés de sédiments. Vers des profondeurs de 50 à 70 m, toutes les paléo-vallées s'estompent, faisant place à une couche sédimentaire plus ou moins fine reposant sur un socle rocheux aplani et dépourvu de vallées.

Dans cette région, rares sont les accumulations sédimentaires de type bancs et dunes. On note toutefois la présence du banc de Taillefer situé au nord de Belle-Ile-en-Mer et composé d'une série de dunes dont la hauteur peut atteindre 15 m. Ce banc provient du dépôt de sédiments lié à la perte d'énergie au débouché du Passage de la Teignouse. D'autres bancs sableux moins développés ainsi que quelques bancs de Maërl de quelques mètres d'épaisseur existent également localement de la Baie de Douarnenez à celle de Bourgneuf.

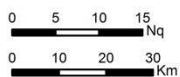
Concernant la macro-zone EMR, les tendances générales de la nature du fond et de l'épaisseur de sédiments sont assez bien connues au niveau du quart nord. Mais pour tout le reste de cette zone, ces deux éléments descriptifs de l'environnement sont très mal connus avec une absence de levés de sismique et une très grande rareté des prélèvements sédimentaires même en intégrant les données séculaires.

Épaisseur de sédiments



- Macro-zone proposée pour la participation du public
 - Éolien posé: site attribué ou en projet
 - Ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
 - Limite extérieure de la mer territoriale (12M)
- | | |
|--|--|
| <p>Poste électrique</p> <ul style="list-style-type: none"> • 225 kV • 400 kV | <p>Ligne électrique</p> <ul style="list-style-type: none"> — 225 kV — 400 kV |
|--|--|
- Theix Nom des postes électriques

- Épaisseur des sédiments (en mètres)**
- | | |
|---|---|
| Non connue | 20 à 30m |
| 0 à 0,5m | 30 à 40m |
| 0,5 à 5m | 40 à 50m |
| 5 à 10m | 50 à 60m |
| 10 à 20m | |



Sources:
 MTES: Limites EMR
 Shom: Limites maritimes et des zones rocheuses
 RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
 IGN: Limites administratives terrestres
 Université de Bretagne Sud (D. Menier) : Limites d'épaisseur de sédiments

Réalisation: Cerema- Shom 2020

Figure 4 : Carte de répartition des paléo-vallées de la zone EMR Bretagne sud (Source : Shom 2020)

Hydrologie

La connaissance de l'hydrologie marine de la région concerne la température et la salinité de l'eau de mer, de la surface jusqu'au fond. Elle se base sur l'exploitation statistique de données in situ collectées par des navires océanographiques. Il a été choisi de se baser sur les statistiques hydrologiques mondiales représentatives, celles du GDEM (Generalized Digital Environmental Model), produites par le NAVOCEANO (Naval Oceanographic Office – USA). C'est l'une des bases de données OTAN de la NSODB V7.0 (NSODB : NATO Standard Oceanographic data Base).

Ces statistiques se présentent sous forme de planches horizontales montrant les isolignes de température ou salinité, choisies pour les mois de février, mai, août et novembre, considérés comme représentatifs des saisons hiver, printemps, été et automne.

A titre d'exemple, l'illustration de la figure 5 représente les isolignes de température en surface pour le mois de février issues des données GDEM.

Le tableau ci-dessous fournit quant à lui, pour les paramètres « température » et « salinité », les gammes de variation observées sur la zone d'étude aux immersions caractéristiques 0 et 20 m pour les mois de février, mai, août et novembre, représentatifs respectivement des saisons hiver, printemps, été et automne.

	Hiver (février)	Printemps (mai)	Eté (août)	Automne (novembre)
Température surface (en degrés Celsius)	8.1 à 11.7	12.5 à 14.2	16.2 à 18.3	13.2 à 15.4
Température 20 m (en degrés Celsius)	8.9 à 11.7	11.7 à 13.1	14.8 à 17.5	13.6 à 15.3
Salinité surface (en psu*)	33.1 à 35.5	33.7 à 35.3	34.4 à 35.3	34.8 à 35.4
Salinité 20 m (en psu*)	34.7 à 35.5	34.7 à 35.4	34.7 à 35.3	35 à 35.4

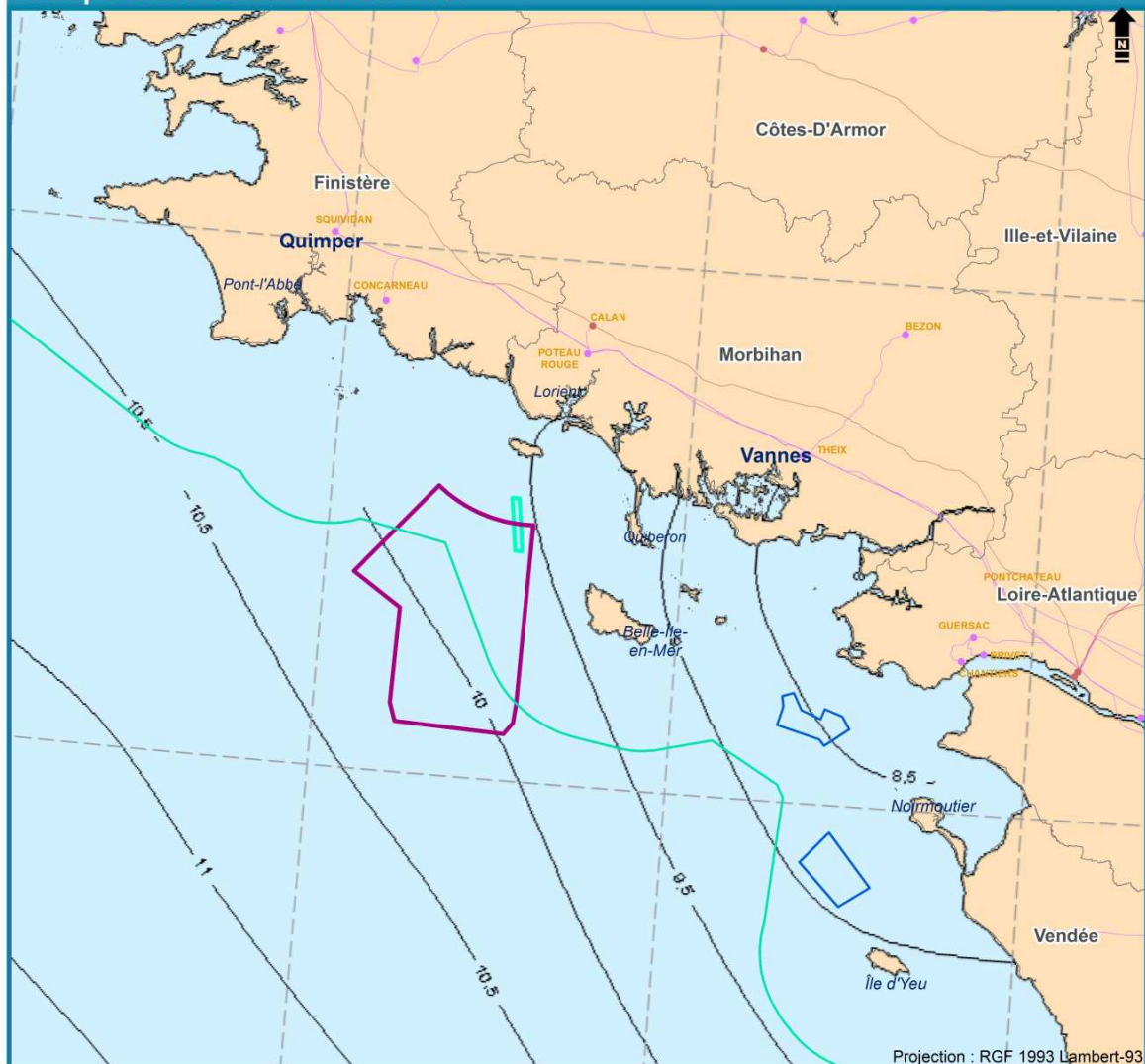
* : practical salinity unit (unité de salinité pratique)

En général, les températures varient assez peu horizontalement sur la zone d'étude, de l'ordre de 1.4 à 3.6°C, et elles sont plutôt homogènes sur la colonne d'eau, quelle que soit la saison.

Les salinités suivent les mêmes tendances avec une variabilité horizontale de l'ordre de 0.6 à 2.4 psu et sont très homogènes sur la verticale.

Débat public éolien en mer 2020

Température de surface en hiver



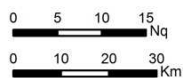
- Macro-zone proposée pour la participation du public
- Éolien posé: site attribué ou en projet
- Ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique Ligne électrique

- 225 kV 225 kV
- 400 kV 400 kV

Theix Nom des postes électriques

Isolignes de température en surface pour le mois de février



Sources:

MTES: Limites EMR
 Shom: Limites maritimes, hydrologie (données GDEM du NAVOCEANO)
 RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
 IGN: Limites administratives terrestres

Réalisation: Cerema- Shom 2020

Figure 5 : Carte des isolignes de température de surface (pas de 0.5°C) en hiver (Source : Shom 2020)

Marée et courants

La connaissance de la dynamique océanique peut être appréhendée en première approche par la description des courants marins, ainsi que par le phénomène de la marée qui affecte fortement cette région du fait de sa configuration.

Les marées

Au large du plateau continental, l'océan est soumis au régime des marées de l'Atlantique Nord, l'onde de marée vient de l'océan Atlantique et poursuit un mouvement du Sud vers le Nord (figure 6). En Bretagne Sud, la marée est de type essentiellement semi-diurne, où les ondes M2 (influence lunaire de période 12h24) et S2 (influence solaire de période 12h) sont prédominantes. La marée sur les côtes de France présente ainsi chaque jour deux pleines mers et deux basses mers se succédant avec un intervalle moyen de 6 heures 13 minutes. La propagation de l'onde de marée, dans le Golfe de Gascogne, est accompagnée d'une augmentation du marnage avec les coefficients de marée et au cours de sa progression sur le plateau continental. Si les plus fortes valeurs de marnage sont observées dans la moitié sud du Golfe de Gascogne (entre les estuaires de la Gironde et La Rochelle), le marnage reste relativement faible entre Groix et Penmarc'h en raison de l'interaction entre l'onde incidente de marée et sa réflexion contre les côtes bretonnes. Le marnage observé est ainsi de 4 à 4,5 m en moyenne sur la zone d'étude.

La carte cotidale et d'isomarnage (voir figure 6) montre :

- heure par heure, les lignes (de couleur blanche) d'égal décalage en temps par rapport à l'heure de la pleine mer à Brest (courbe zéro),
- des plages de couleurs représentant les marnages (en cm), pour une marée de vive-eau moyenne (coefficient 95), les labels d'isomarnage étant indiqués par des traits noirs.

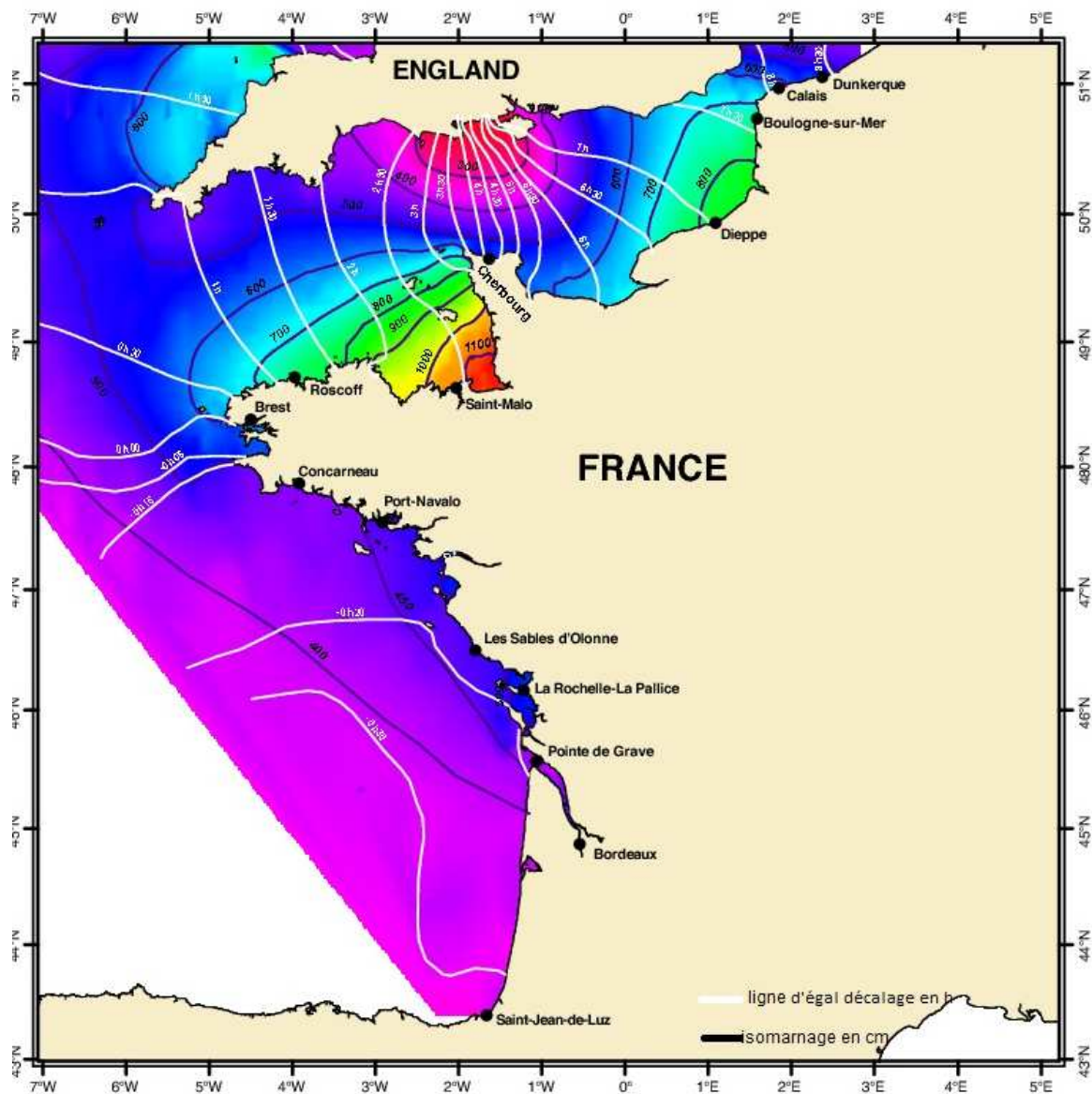


Figure 6 : Carte cotidale et isomarnage coefficient 95 (source SHOM).

Les surcotes / décotes

Une surcote/décote a principalement une origine météorologique : elle est générée lors du passage d'une dépression ou d'un anticyclone, par les variations de pression atmosphérique et par les vents. Elle peut également avoir d'autres origines : vagues, seiches, tsunamis... Le Shom met à disposition du public sur le site www.data.shom.fr ses prévisions de surcotes modélisées dans le cadre de la vigilance vagues-submersion en partenariat avec Météo-France (projet HOMONIM [2]).

L'étude statistiques des surcotes/décotes permet d'établir des niveaux extrêmes atteints par la mer associés à des périodes de retour. Un produit de Niveaux Extrêmes sur les façades Manche et Atlantique a ainsi été élaboré à partir de l'ensemble des données marégraphiques disponibles au Shom. Ce produit, issu d'un partenariat Shom-CEREMA, est disponible à l'adresse suivante :

<https://diffusion.shom.fr/pro/risques/references-verticales/niveaux-marins-extremes.html>

Les mesures marégraphiques effectuées ont ainsi permis d'effectuer une estimation statistique des niveaux marins extrêmes aux points de mesure. Les niveaux extrêmes de pleine mer et basse mer sont fournis ci-dessous (voir tableaux) pour un certain nombre de ports de référence du littoral.

Port de référence	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Roscoff	513	519	525	533	539
Brest	442	449	455	464	470
Concarneau	334	341	348	356	363
Port-Tudy	328	335	342	351	358
Pointe de St-Gildas	342	349	356	366	373
Les Sables d'Olonne	334	341	348	357	364

Niveaux extrêmes de pleine mer (en cm) pour quelques ports de référence, référencés à l'IGN 69, système légal d'altitude (source Shom)

Port de référence	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Roscoff	-456	-460	-464	-469	-473
Brest	-343	-348	-351	-355	-358
Concarneau	-245	-248	-251	-255	-258
Port-Tudy	-257	-261	-264	-269	-272
Pointe de St-Gildas	-313	-317	-321	-327	-332
Les Sables d'Olonne	-287	-291	-294	-299	-302

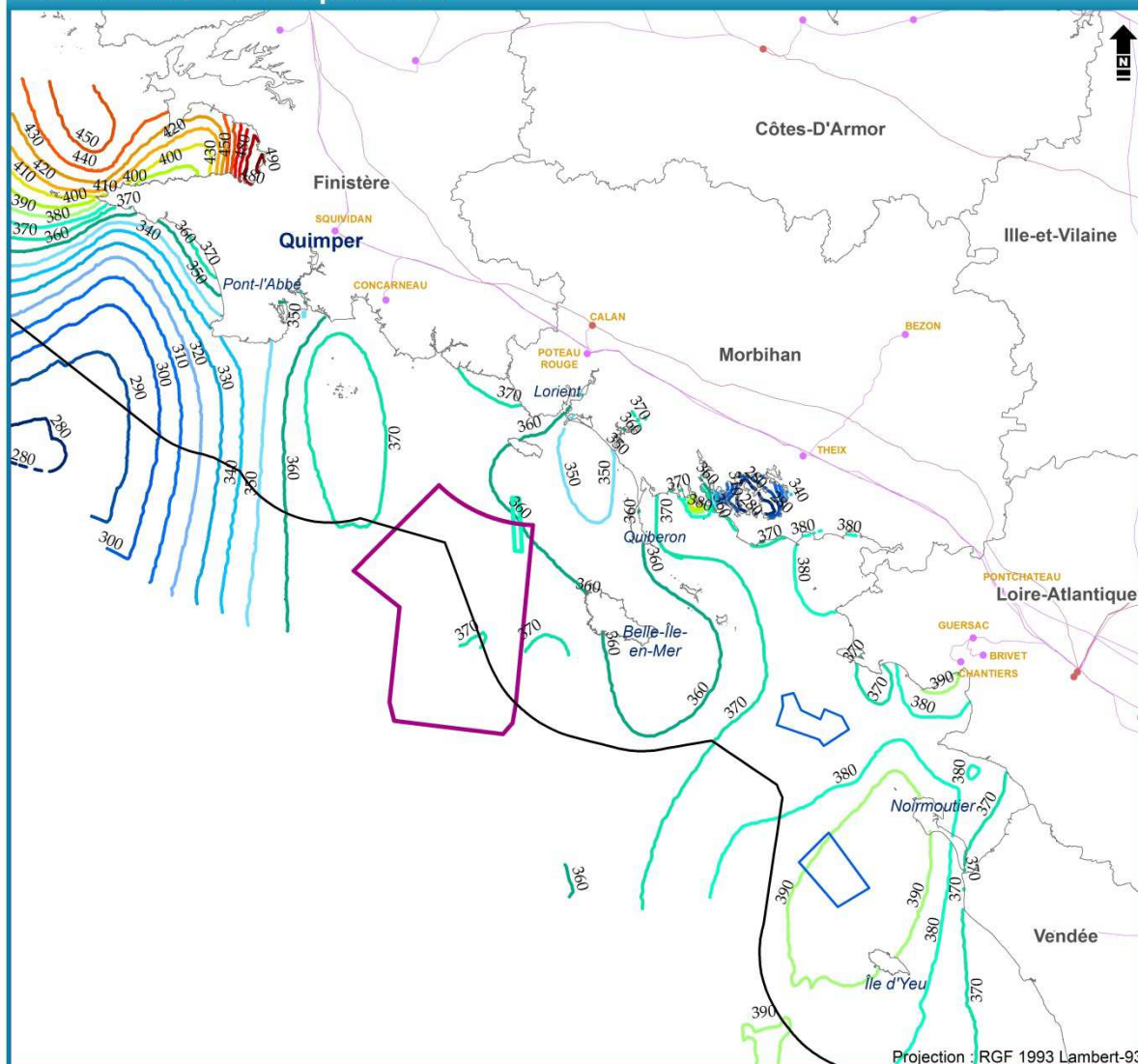
Niveaux extrêmes de basse mer (en cm) pour quelques ports de référence, référencés à l'IGN 69, système légal d'altitude (source Shom)

Les cartes des niveaux extrêmes de pleine mer et basse mer correspondant à la zone d'étude sont représentées ci-dessous (figures 7 et 8) pour une période de retour de 100 ans.

Les niveaux extrêmes de pleine mer et basse mer calculés pour l'ensemble des périodes de retour sur la zone Bretagne Sud sont globalement inférieurs aux valeurs calculées pour les autres ports de référence de la façade Manche Atlantique. Cependant, les marégraphes étant généralement situés dans les ports, ils n'enregistrent pas l'ensemble des phénomènes côtiers qui peuvent survenir en dehors de ces points de mesure spécifiques. Aussi, les analyses menées ne permettent qu'une estimation des niveaux marins extrêmes sans prise en compte de l'ensemble des effets, notamment ceux liés aux vagues.

Débat public éolien en mer 2020

Niveaux extrêmes de pleine mer



- Macro-zone proposée pour la participation du public
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

- | Poste électrique | Ligne électrique |
|--|--|
| ● 225 kV | — 225 kV |
| ● 400 kV | — 400 kV |
| ● Theix Nom des postes électriques | |

Hauteurs de pleine mer en centimètre pour une période de retour de 100 ans

- | | | |
|---|--|---|
| — 280 | — 360 | — 430 |
| — 290 | — 370 | — 440 |
| — 300 | — 380 | — 450 |
| — 310 | — 390 | — 460 |
| — 320 | — 400 | — 470 |
| — 330 | — 410 | — 480 |
| — 340 | — 420 | — 490 |
| — 350 | | |

Sources:

MTES: Limites EMR
 Shom: Limites maritimes
 Shom, MTES, CEREMA: surcotes/décotes (Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France, (Manche et Atlantique))
 RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
 IGN: Limites administratives terrestres
 Réalisation: Cerema- Shom 2020

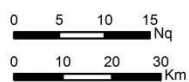
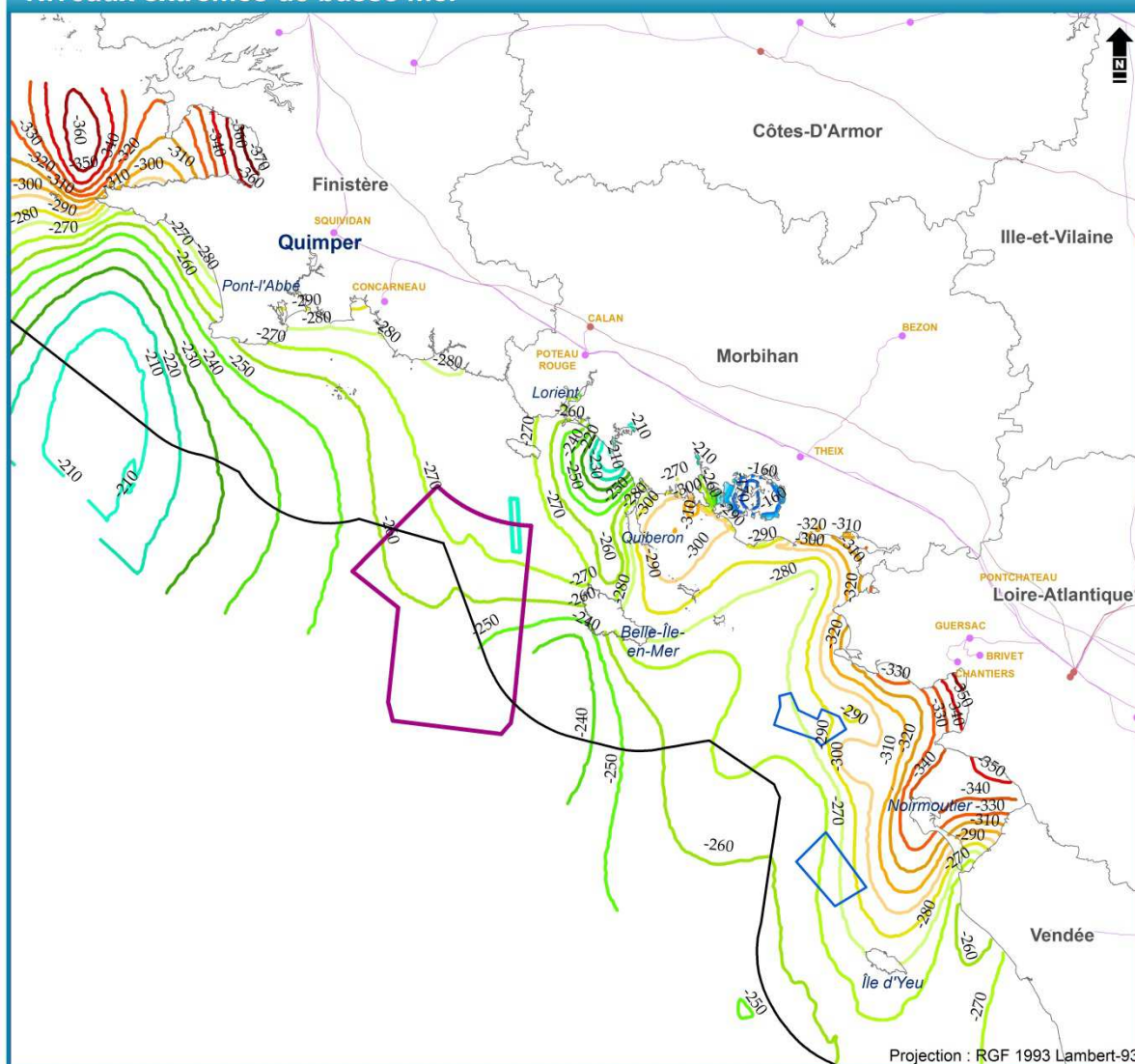


Figure 7 : Carte des niveaux extrêmes de pleine mer (en cm) pour une période de retour de 100 ans (source Shom)

Débat public éolien en mer 2020

Niveaux extrêmes de basse mer



- Macro-zone proposée pour la participation du public
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique Ligne électrique

- 225 kV — 225 kV
- 400 kV — 400 kV

Theix Nom des postes électriques

Hauteurs de basse mer en centimètres pour une période de retour de 100 ans

- | | | |
|--------|--------|--------|
| — -370 | — -290 | — -210 |
| — -360 | — -280 | — -200 |
| — -350 | — -270 | — -190 |
| — -340 | — -260 | — -180 |
| — -330 | — -250 | — -170 |
| — -320 | — -240 | — -160 |
| — -310 | — -230 | — -150 |
| — -300 | — -220 | |

Sources:

MTES: Limites EMR
 Shom: Limites maritimes
 Shom, MTES, CEREMA: surcotes/décotes (Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France, (Manche et Atlantique))
 RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
 IGN: Limites administratives terrestres

Réalisation: Cerema- Shom 2020

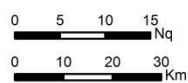


Figure 8 : Carte des niveaux extrêmes de basse mer (en cm) pour une période de retour de 100 ans (source Shom)

Les courants

Dans le Golfe de Gascogne, les courants observés sont de différentes natures en raison de la diversité des processus physiques qui les génèrent. Ces courants sont le résultat de la combinaison des influences de la marée, du vent, des différences de densité de l'eau de mer et de la circulation océanique grande échelle. Ils sont également contraints par les variations de bathymétrie.

Les courants marins de la région sud Bretagne sont connus au travers d'un certain nombre de données et produits édités par le Shom, tels que les atlas de courants de marée disponibles sur www.diffusion.shom.fr ou encore les résultats des modèles de prévision océanographiques accessibles chaque jour sous www.data.shom.fr. La production des atlas de courant de marée utiles aux navigateurs est issue de la modélisation des courants de marée (vitesse et direction) en zone côtière, modélisation ne prenant en compte que le phénomène de la marée (attraction gravitationnelle). Les atlas des courants de marée couvrant la zone d'étude sont le n°558 (Côte Sud de Bretagne : d'Audierne au Croisic) et le n°559 (Côte Ouest de France : de Saint-Nazaire à Royan). Ces atlas permettent de visualiser les champs de courant de marée en surface à chaque heure de marée, en vive-eau (VE - coefficient 95) et morte-eau moyennes (ME - coefficient 45). Pour chaque secteur de l'atlas, douze cartes des courants de surface montrent, à des intervalles d'une heure, un cycle typique de la marée semi-diurne.

La connaissance est basée sur l'existence de mesures in situ réalisées dans la région. Ces données ponctuelles apportent une description de la dynamique locale pour une période de temps limitée. Elles permettent la qualification des modèles de prévision et des atlas de courants. A titre indicatif, pour le modèle Gascogne utilisé pour la confection des atlas, la moyenne des écarts en pourcentage, par coefficient 95, entre les vitesses maximales calculées par le modèle et les vitesses maximales mesurées est inférieur à 15 %. Le déphasage moyen en minutes entre les phases des courants calculés par le modèle et les phases des courants mesurés par coefficient 95 est quant à lui inférieur à 30 minutes.

La carte de courants maximum en VE (figure 9) permet de visualiser les zones à plus forte dynamique présentant un intérêt pour certaines activités maritimes (navigation, plongée, mouillage de bouées, EMR, etc.).

Sur la zone d'étude, la vitesse des courants caractéristiques de la circulation générale océanique (courants généraux), par temps calme, est faible, et demeure voisine de 0,06 nœud (0.03 m/s) tout au long de l'année.

Au large, au-delà des 12 milles de la côte, le courant, toujours inférieur à un nœud, est giratoire dans le sens des aiguilles d'une montre et sensiblement constant en vitesse. Des courants de dérive de l'ordre de 0,5 nœud (0.25 m/s) sont fréquents et peuvent masquer presque entièrement le courant de marée. Générés par les vents et les houles, ils peuvent être présents sur la macrozone, y compris dans la partie située plus au large, au-delà des 12 milles.

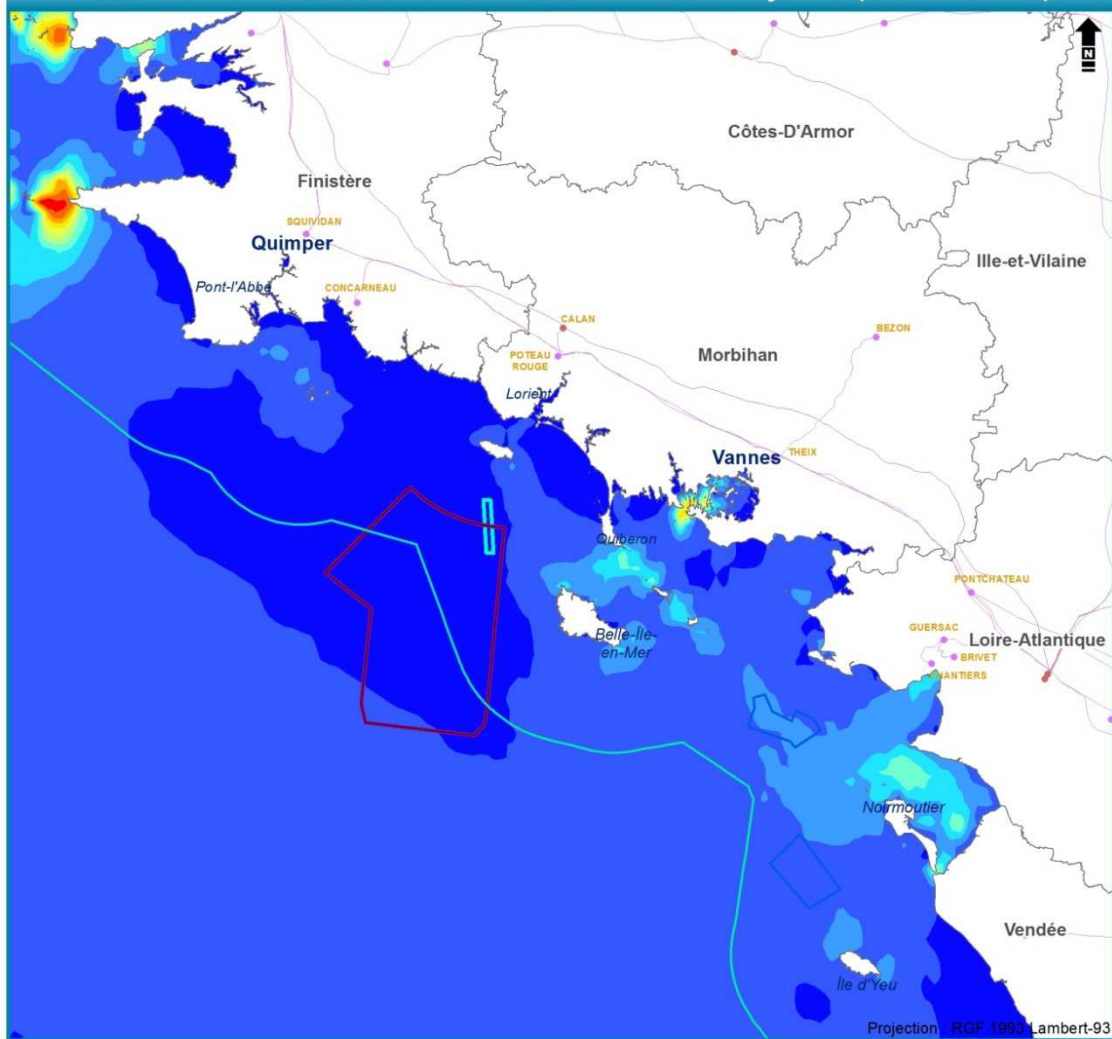
A l'approche de la côte et particulièrement entre les îles (Glénan, Groix, Belle-Ile) et la côte, les courants de marée deviennent prédominants. Ils varient en intensité et en direction et suivent le sens de propagation de l'onde de marée : orientation vers l'Est en flot (marée montante) et orientation vers l'Ouest en jusant (marée descendante).

Si les courants de marée sont relativement faibles sur la plaine abyssale (de l'ordre de 1 cm/seconde), ils s'intensifient par petits fonds sur le plateau continental (de 0,4 à 0,6 nœud). Ils deviennent supérieurs à 1,5 nœud vers les côtes nord du Golfe de Gascogne. A proximité des côtes, à l'ouvert de certaines baies ou à l'embouchure de certaines rivières (Etel, Auray, ...), ils peuvent être violents ou atteindre la vitesse de 3 nœuds (phénomène de remplissage ou de vidage des baies). En morte-eau, les courants de marée perdent 20 à 30 % de leur vitesse. Cependant, la morphologie de la

côte, les conditions météorologiques et les apports fluviaux sont susceptibles de les perturber ponctuellement.

Globalement, sur la région nord du Golfe de Gascogne, le phénomène de la marée est le principal moteur des courants qui s'y produisent, et les atlas de courants de marée en donnent donc une bonne représentation.

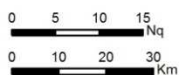
Intensité maximum du courant de marée en vive-eau moyenne (coefficient 95)



- Macro-zone proposée pour la participation du public
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

- | | |
|--|--|
| Poste électrique | Ligne électrique |
| • 225 kV | 225 kV |
| • 400 kV | 400 kV |
- Theix Nom des postes électriques

Vitesses maximales de courant de marée en vive-eau moyenne (coefficient 95) (m/s)



Sources:
 MTES: Limites EMR
 Shom: Limites maritimes, courants de marée
 RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
 IGN: Limites administratives terrestres

Réalisation: SHOM 2020

Figure 9 : Carte d'intensité maximum du courant de marée en vive-eau moyenne sur la zone EMR Bretagne sud (coefficient 95)

(Données : Shom 2020 à partir des atlas des courants de marée de la Côte Sud de Bretagne (d'Audierne au Croisic) et de la Côte Ouest de France (de Saint-Nazaire à Royan) ; issu du modèle numérique Telemac 2D)

Houle, vagues et état de mer

La zone EMR de l'AO5 se situe en Bretagne Sud. De par sa localisation, la zone est soumise à d'importantes houles d'Ouest et d'Ouest-Nord-Ouest provenant de l'Atlantique. Les fetchs (distance sur laquelle le vent est susceptible de faire croître les vagues) sont très longs dans les directions d'Ouest à Sud-Ouest et importants dans la direction Sud, permettant le développement de mers de vents énergétiques dans ces directions. A l'inverse, la côte française empêche le développement de vagues importantes provenant du Nord et de l'Est, même en cas de fort coup de vent provenant de ces directions.

Dans cette étude, nous nous appuyons donc sur les résultats du modèle spectral d'état de mer WaveWatchIII[®] implémenté sur la grille de calcul MANGAS¹. Le modèle est forcé par les spectres de vagues au large ainsi que les champs de vent de la réanalyse ERA5 réalisée par le Centre Européen pour la Prévision à Météorologique Moyen Terme. Le modèle prend en compte l'effet de la marée avec des courants et hauteurs d'eau variables au cours du temps issus de prédictions harmoniques. Le modèle a été rejoué sur la période 2000-2017 et a été validé à l'aide des observations des satellites altimétriques ainsi que les observations des bouées du réseau CANDHIS². Les scores du modèle sont satisfaisants et permettent donc l'analyse statistique des états de mer à partir des données simulées. Sur la zone, un houlographe du réseau CANDHIS est installé à l'ouest de Belle-île (coordonnées 47°17.100'N ; 3°17.100'W) depuis le 18/10/2010 (4,5 mois sans données entre 2010 et aujourd'hui). Ces mesures permettent de valider les performances du modèle numérique sur la zone. Leckler et al. (2018)³ ont présenté les scores du modèle MANGAS à cette bouée pour la hauteur significative sur la période 2010-2017 : le coefficient de corrélation est 0.97, le biais de 3 cm (soit un biais normalisé de -1.59 %), une erreur quadratique moyenne RMSE de 0.24 m (soit un biais normalisé de 10.66 %), et un *scatter index* SI de 10.57 %. Ces statistiques sont très satisfaisantes. Les comparaisons du modèle avec les observations de la bouée pour la période et la direction des vagues sont également très bonnes avec respectivement des coefficients de corrélation égaux à 0.9 et 0.84. Les performances du modèle sont donc excellentes sur la zone, et permettent d'utiliser le modèle avec une grande confiance.

L'ensemble de l'analyse proposée par la suite s'appuie donc sur les données modélisées qui ont l'avantage de décrire le spectre directionnel des vagues de façon homogène et sur une longue période.

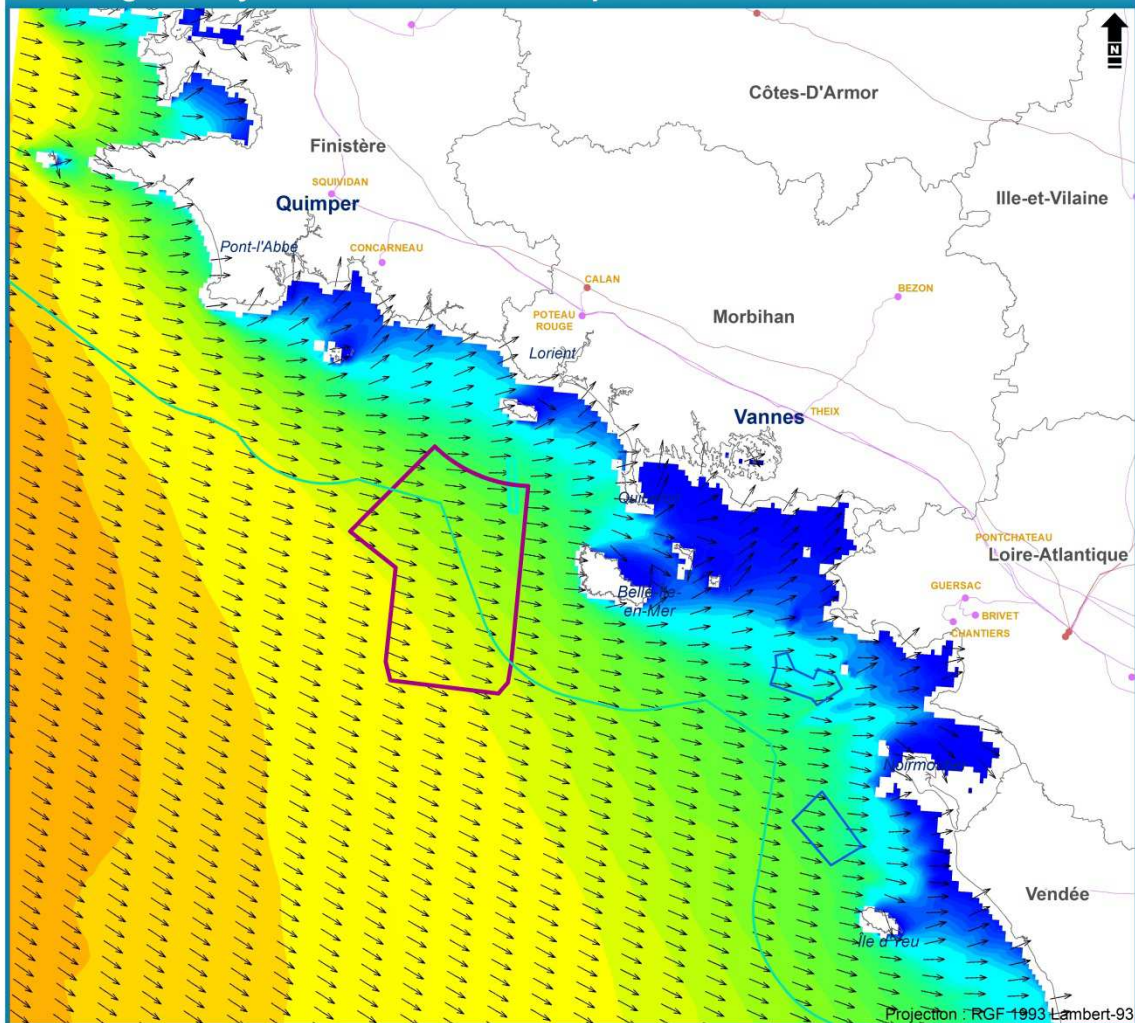
Une analyse spatialisée de la zone a d'abord été réalisée. La figure 10 montre les hauteurs significatives des vagues et leur direction en moyenne sur l'ensemble de la période rejouée. La figure 11 donne les hauteurs significatives maximales sur cette même zone. La hauteur significative moyenne des vagues est inférieure à 2,5 m sur l'ensemble de la zone, avec des vagues venant préférentiellement de l'ouest à l'ouest-nord-ouest. Les hauteurs significatives maximales modélisées sur la zone dépassent les 10 m pour la partie de la zone la plus au large. Le cycle saisonnier (figures 12 à 15) est très marqué sur la zone avec des hauteurs significatives moindres durant l'été, inférieures à 1,5 m en moyenne, et plus importantes en hiver, pouvant atteindre 3 m en moyenne sur les mois de Décembre à Février (voir figure 12). En général, on observe une décroissance de la taille des vagues avec la diminution de la profondeur, liée principalement à la dissipation des vagues par frottement sur le fond, puis par déferlement en eau peu profonde.

¹ La grille non-structurée MANGAS couvre l'ensemble des côtes françaises de la Mer du Nord au Golfe de Gascogne, avec une résolution de 10 km au large (au-delà du talus continental et en Mer du Nord) pour se raffiner à une résolution de 200 m au niveau des côtes. Il s'agit de la grille de calcul opérée par Météo-France pour la Vigilance Vague-Submersion.

² <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr>

³ Leckler et al., 2018. Modélisation et études des états de mer sur la zone EMR d'Oléron, Rapport Final.

Hauteurs significatives en mètres (couleurs) et directions moyennes (flèches) des vagues moyennes modélisées sur la période 2000-2017

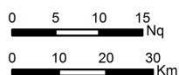
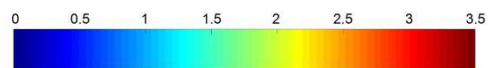


- Macro-zone proposée pour la participation du public
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique	Ligne électrique
● 225 kV	— 225 kV
● 400 kV	— 400 kV

Theix Nom des postes électriques

Hauteur significative moyenne [m]



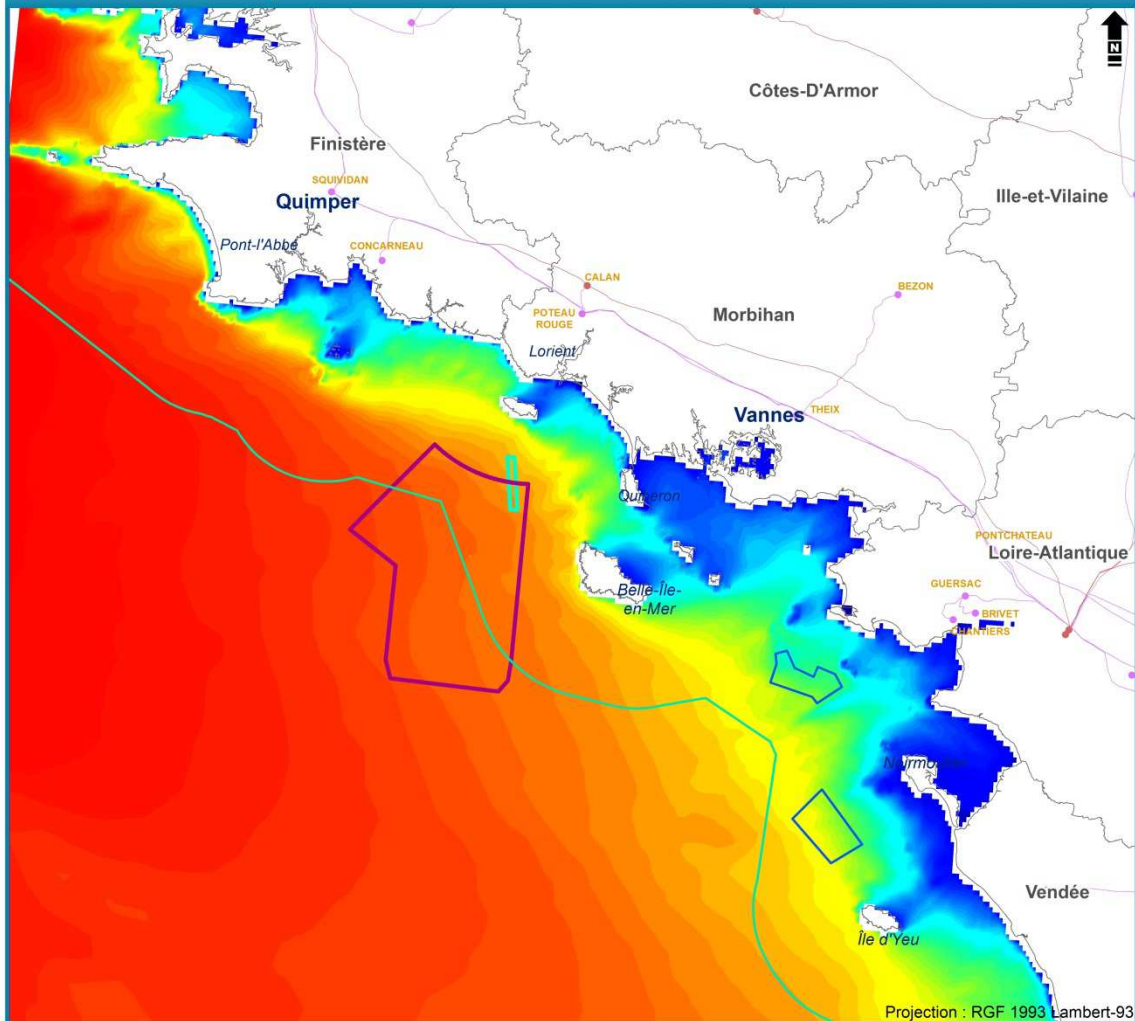
Sources:

MTES: Limites EMR
 Shom: Limites maritimes, houle (modèle MANGAS)
 RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
 IGN: Limites administratives terrestres

Réalisation: Cerema- Shom 2020

Figure 10 : Carte des hauteurs significatives (couleurs) et directions moyennes (flèches) modélisées en moyenne sur la période 2000-2017 avec le modèle MANGAS

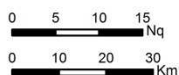
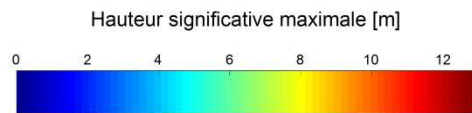
Hauteurs significatives en mètres (couleurs) des vagues maximales modélisées sur la période 2000-2017



- Macro-zone proposée pour la participation du public
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique	Ligne électrique
● 225 kV	— 225 kV
● 400 kV	— 400 kV

Theix Nom des postes électriques



Sources:

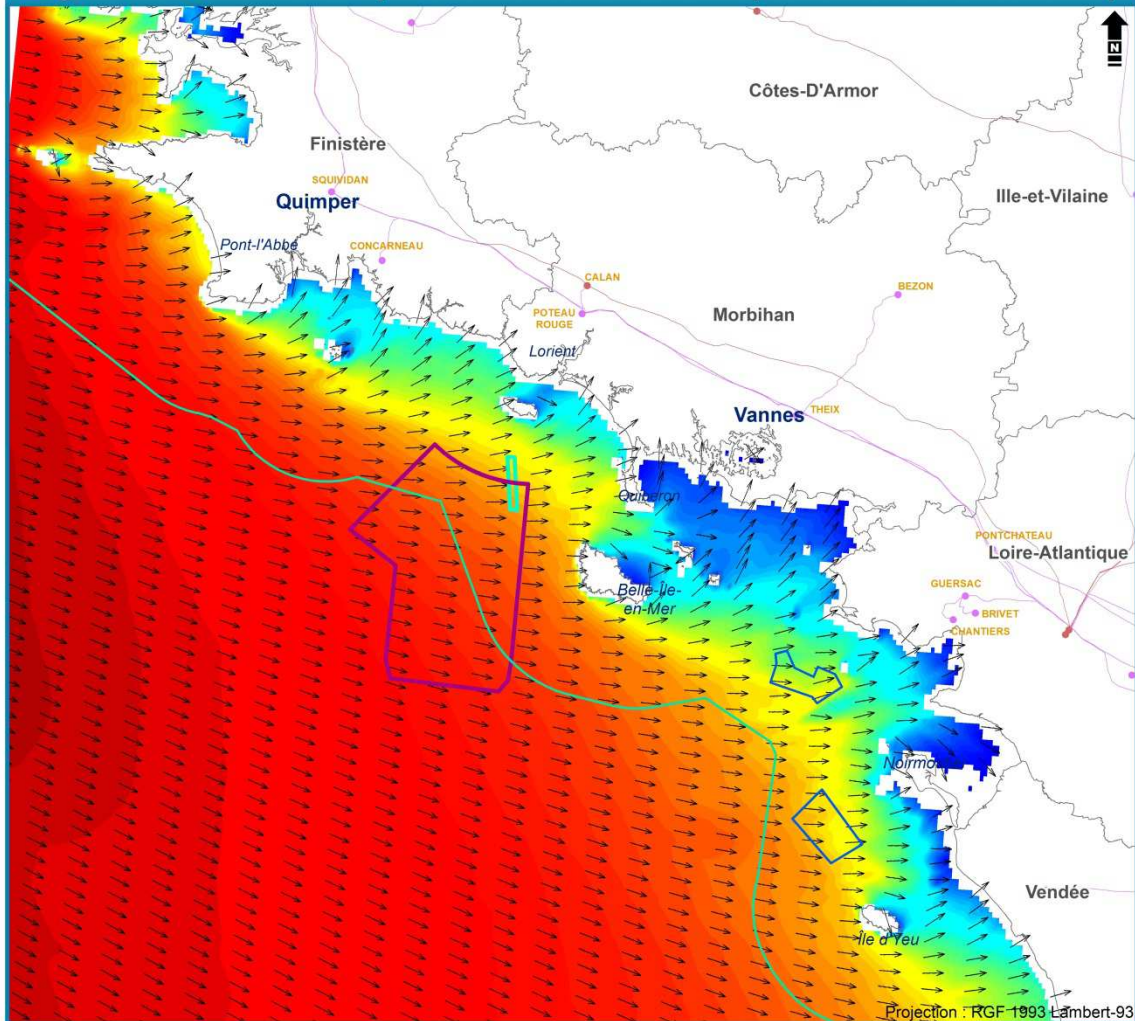
MTES: Limites EMR
 Shom: Limites maritimes, houle (modèle MANGAS)
 RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
 IGN: Limites administratives terrestres

Réalisation: Cerema- Shom 2020

Figure 11 : Carte des hauteurs significatives maximales (couleurs) modélisées sur la période 2000-2017 avec le modèle MANGAS

Débat public éolien en mer 2020

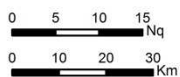
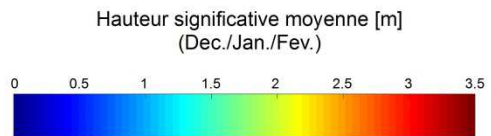
Hauteurs significatives en mètres (couleurs) et directions moyennes (flèches) des vagues modélisées sur la période 2000-2017 en hiver (Décembre/Janvier/Février)



- Macro-zone proposée pour la participation du public
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique	Ligne électrique
• 225 kV	— 225 kV
• 400 kV	— 400 kV

Theix Nom des postes électriques



Sources:

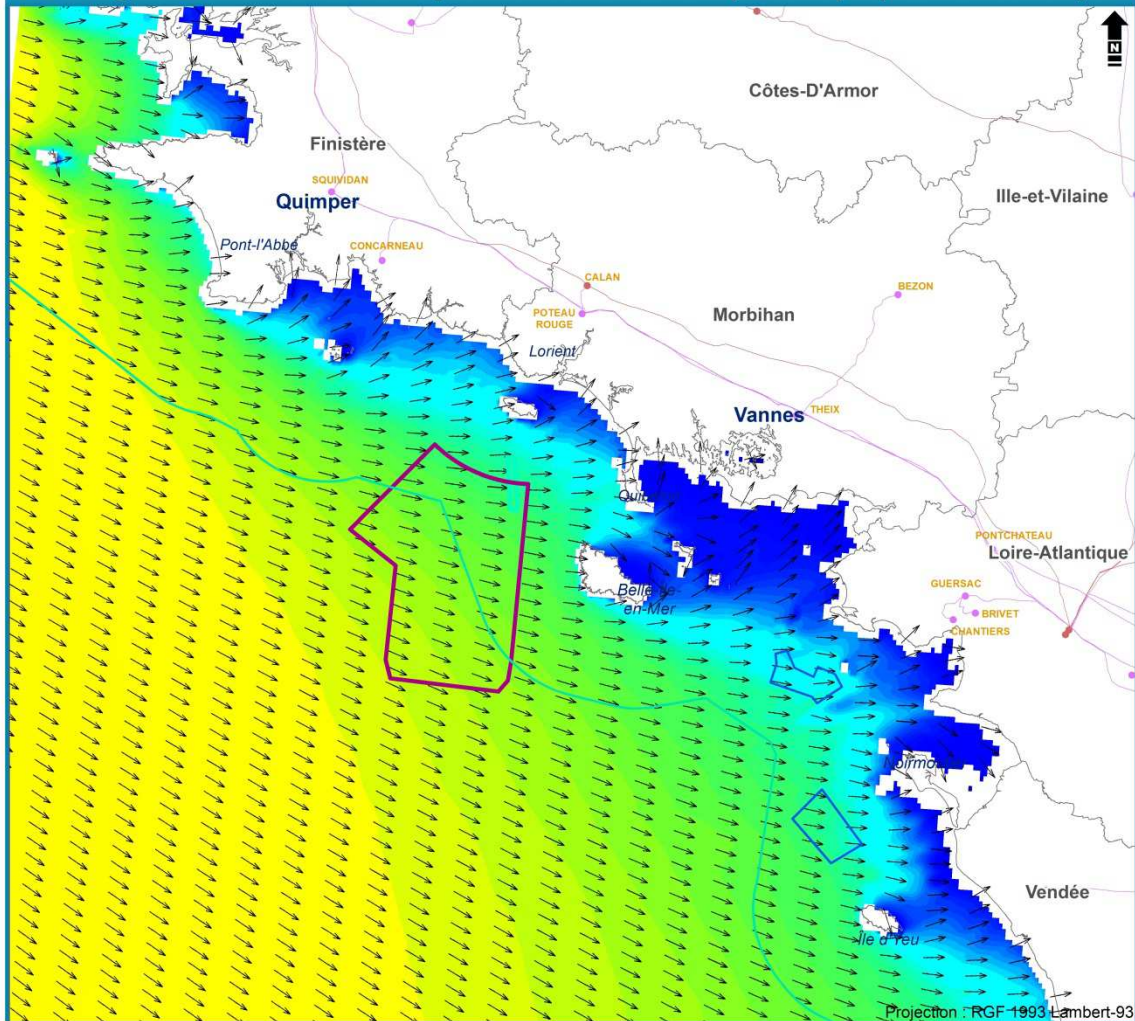
MTES: Limites EMR
Shom: Limites maritimes, houle (modèle MANGAS)
RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
IGN: Limites administratives terrestres

Réalisation: Cerema- Shom 2020

Figure 12 : Carte des hauteurs significatives (couleurs) et directions moyennes (flèches) modélisées en moyenne sur la période 2000-2017 avec le modèle MANGAS en hiver

Débat public éolien en mer 2020

Hauteurs significatives en mètres (couleurs) et directions moyennes (flèches) des vagues modélisées sur la période 2000-2017 au printemps (Mars/Avril/Mai)



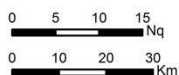
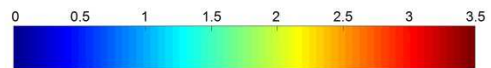
- Macro-zone proposée pour la participation du public
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique **Ligne électrique**

- 225 kV — 225 kV
- 400 kV — 400 kV

Theix Nom des postes électriques

Hauteur significative moyenne [m]
(Mar./Avr./Mai)



Sources:

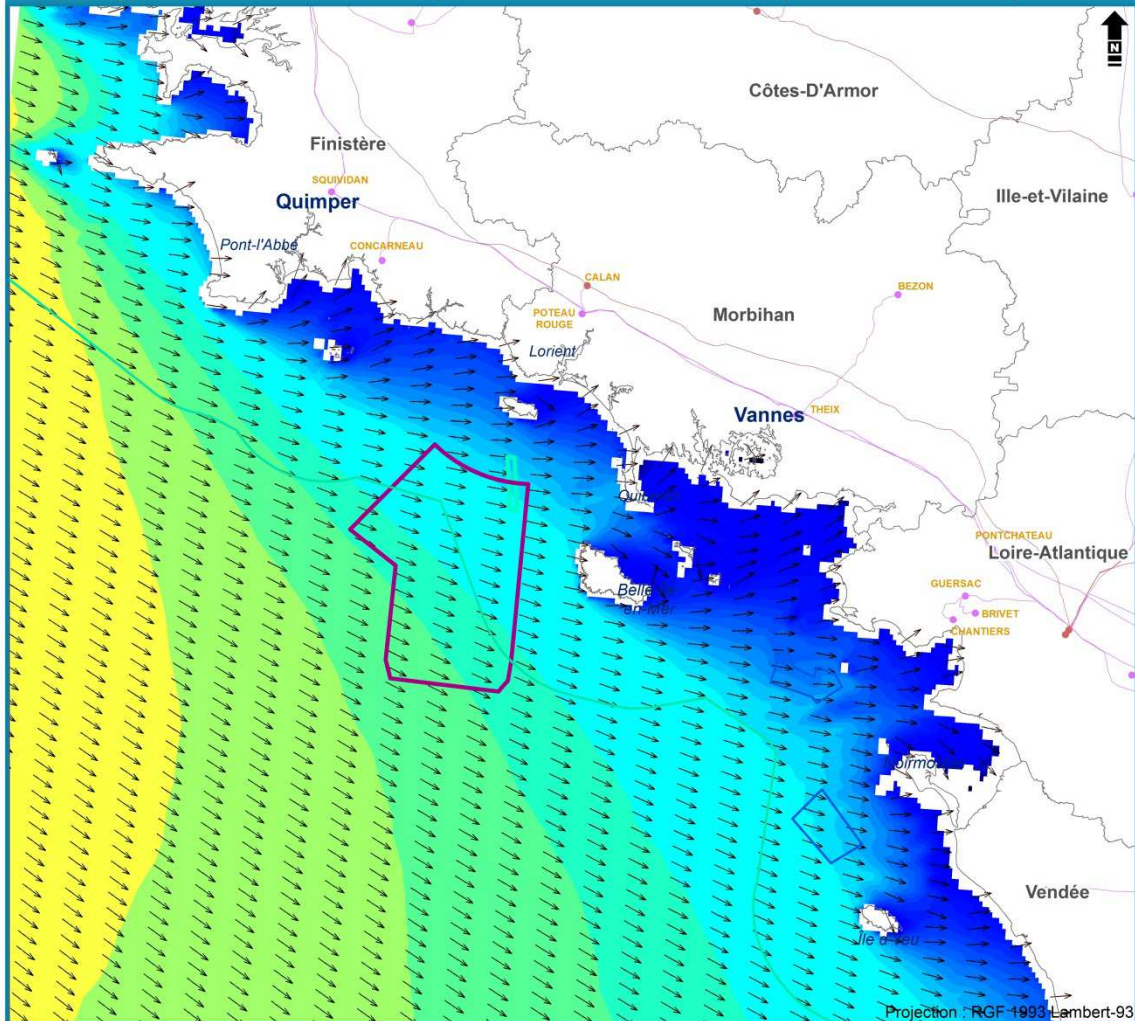
MTES: Limites EMR
Shom: Limites maritimes, houle (modèle MANGAS)
RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
IGN: Limites administratives terrestres

Réalisation: Cerema- Shom 2020

Figure 13 : Carte des hauteurs significatives (couleurs) et directions moyennes (flèches) modélisées en moyenne sur la période 2000-2017 avec le modèle MANGAS au printemps

Débat public éolien en mer 2020

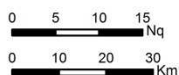
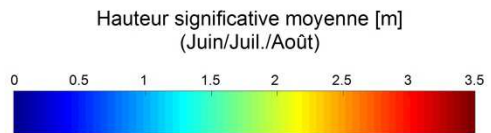
Hauteurs significatives en mètres (couleurs) et directions moyennes (flèches) des vagues modélisées sur la période 2000-2017 en été (Juin/Juillet/Août)



- Macro-zone proposée pour la participation du public
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique	Ligne électrique
• 225 kV	— 225 kV
• 400 kV	— 400 kV

Theix Nom des postes électriques



Sources:

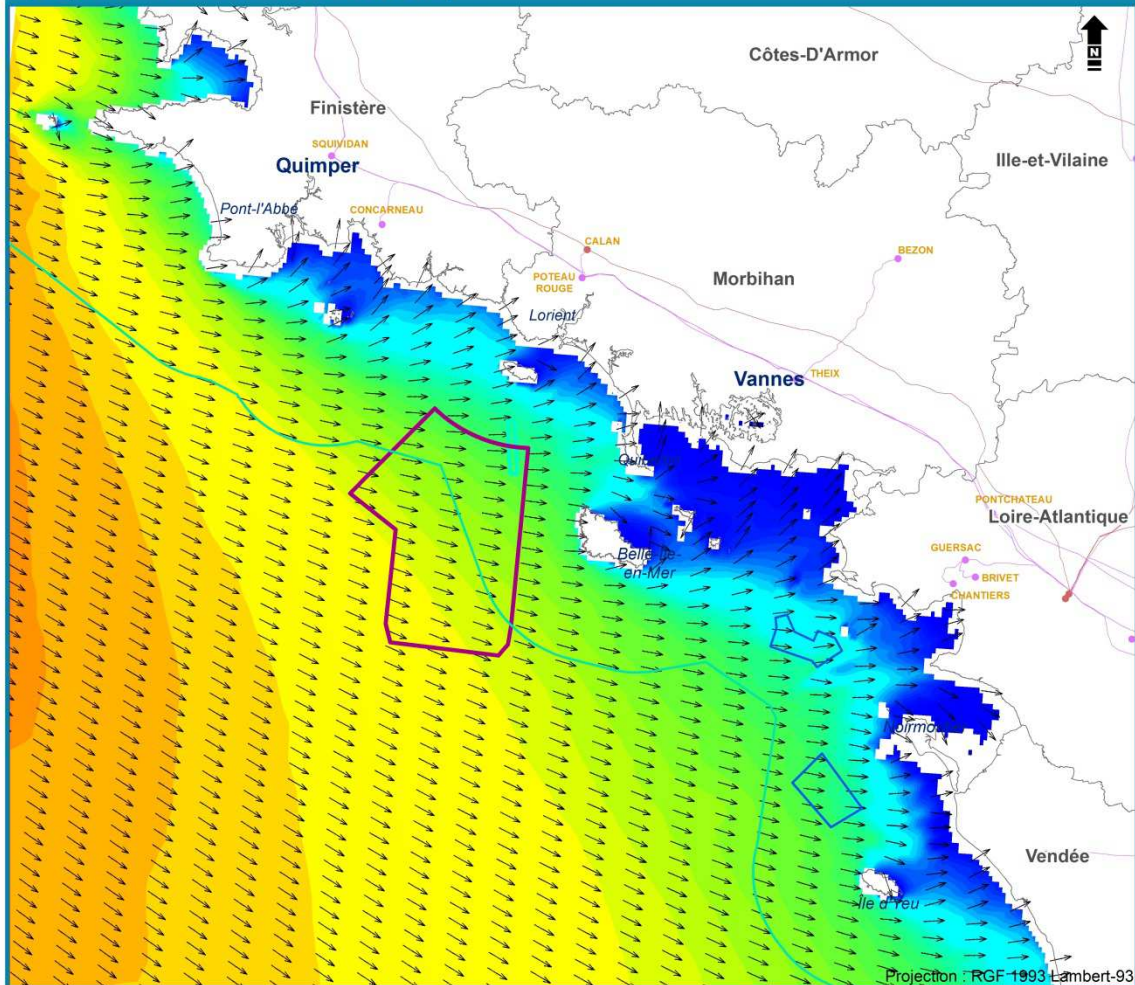
MTES: Limites EMR
Shom: Limites maritimes, houle (modèle MANGAS)
RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
IGN: Limites administratives terrestres

Réalisation: Cerema- Shom 2020

Figure 14 : Carte des hauteurs significatives (couleurs) et directions moyennes (flèches) modélisées en moyenne sur la période 2000-2017 avec le modèle MANGAS en été

Débat public éolien en mer 2020

Hauteurs significatives en mètres (couleurs) et directions moyennes (flèches) des vagues modélisées sur la période 2000-2017 en automne (Septembre/Octobre/Novembre)

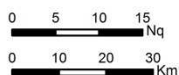
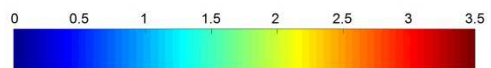


- Macro-zone proposée pour la participation du public
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique	Ligne électrique
● 225 kV	— 225 kV
● 400 kV	— 400 kV

Theix Nom des postes électriques

Hauteur significative moyenne [m]
(Sep./Oct./Nov.)



Sources:

MTES: Limites EMR
Shom: Limites maritimes, houle (modèle MANGAS)
RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
IGN: Limites administratives terrestres

Réalisation: Cerema- Shom 2020

Figure 15 : Carte des hauteurs significatives (couleurs) et directions moyennes (flèches) modélisées en moyenne sur la période 2000-2017 avec le modèle MANGAS en automne

Quatre points du modèle ont ensuite été choisis pour poursuivre plus finement l'analyse de la zone. Le point P1 (respectivement P2) est le point du modèle le plus (respectivement le moins) énergétique dans la zone. Les points P3 et P4 constituent des points du modèle jugés pertinents pour représenter respectivement des conditions météo-océaniques des parties nord et sud de la macrozone. Ces points sont représentés sur la carte en figure 16. La figure 17 montre les corrélogrammes pour chacun de ces 4 points entre la hauteur significative des vagues et leur période, la colonne de gauche représente les corrélogrammes pour l'état de mer total, la colonne du milieu pour la mer de vent³ seulement et la colonne de droite pour la houle⁴ principale. La figure 18 représente les roses de vagues (distributions des hauteurs significatives en fonction de la direction) à ces mêmes quatre points pour l'état de mer total (colonne de gauche), pour la mer de vent (colonne du milieu) et pour la houle principale (colonne de droite).

La houle a préférentiellement une période pic⁵ autour de 10 s. Ces houles de grandes périodes, issues de vagues générées loin et qui se sont propagées jusqu'à la zone, ont généralement des hauteurs significatives inférieures à 2 m. Il est cependant à noter que ces houles peuvent présenter des hauteurs significatives de plus de 6 m et des périodes pouvant aller jusqu'à 18 s dans de rares cas.

La mer de vent est caractérisée par des périodes généralement plus faibles, dépassant rarement les 7 s. Cependant, les hauteurs significatives de la mer de vent modélisées peuvent atteindre jusqu'à 8 m. Ces mers de vents ont deux directions de provenance privilégiées, qui correspondent aux régimes de vent local. Les vents venant de la terre entraînent des mers de vents avec de très faibles hauteurs significatives (< 2 m) puisque le fetch trop court ne permet pas aux vagues de se développer pleinement. En revanche, les vents venant de l'ouest sont quant à eux susceptibles de développer des mers de vent énergétiques, avec des périodes plus grandes et des hauteurs significatives plus importantes. La mer de vent peut ainsi être relativement énergétique lors de coups de vents forts de ouest-sud-ouest à ouest-nord-ouest, avec des hauteurs significatives pouvant dépasser les 4 m. Ces événements sont assez communs statistiquement (> 6 %), et peuvent être accompagnés d'une houle d'ouest qui vient généralement s'ajouter à cette mer de vent.

³ La mer de vent correspond aux vagues en cours de développement sous l'effet du vent local.

⁴ La houle correspond à des vagues créées ailleurs et qui se sont propagées.

⁵ La période pic correspond à la période du pic d'énergie des vagues.

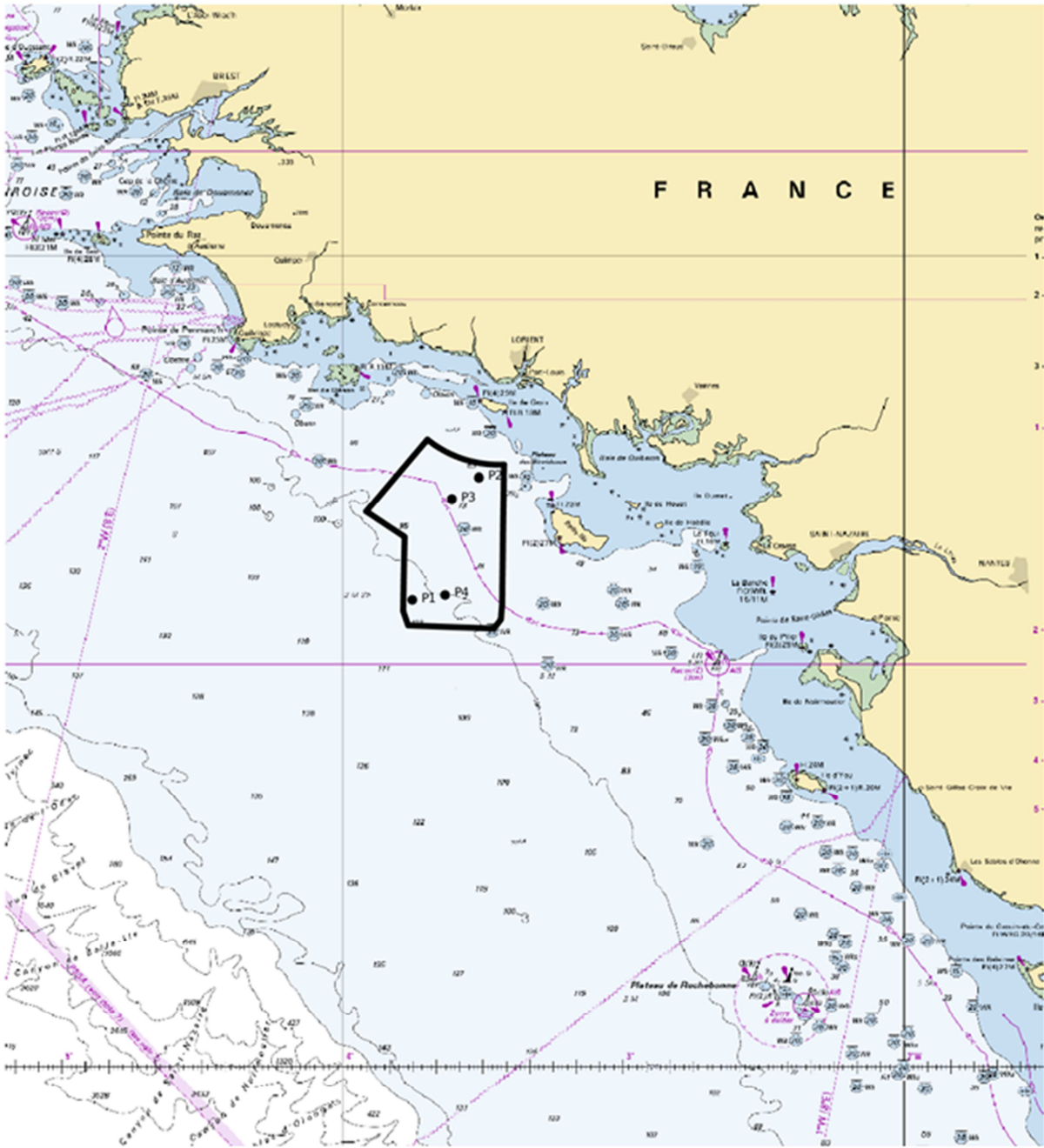


Figure 16 : Positions des points du modèle MANGAS analysés pour cette étude

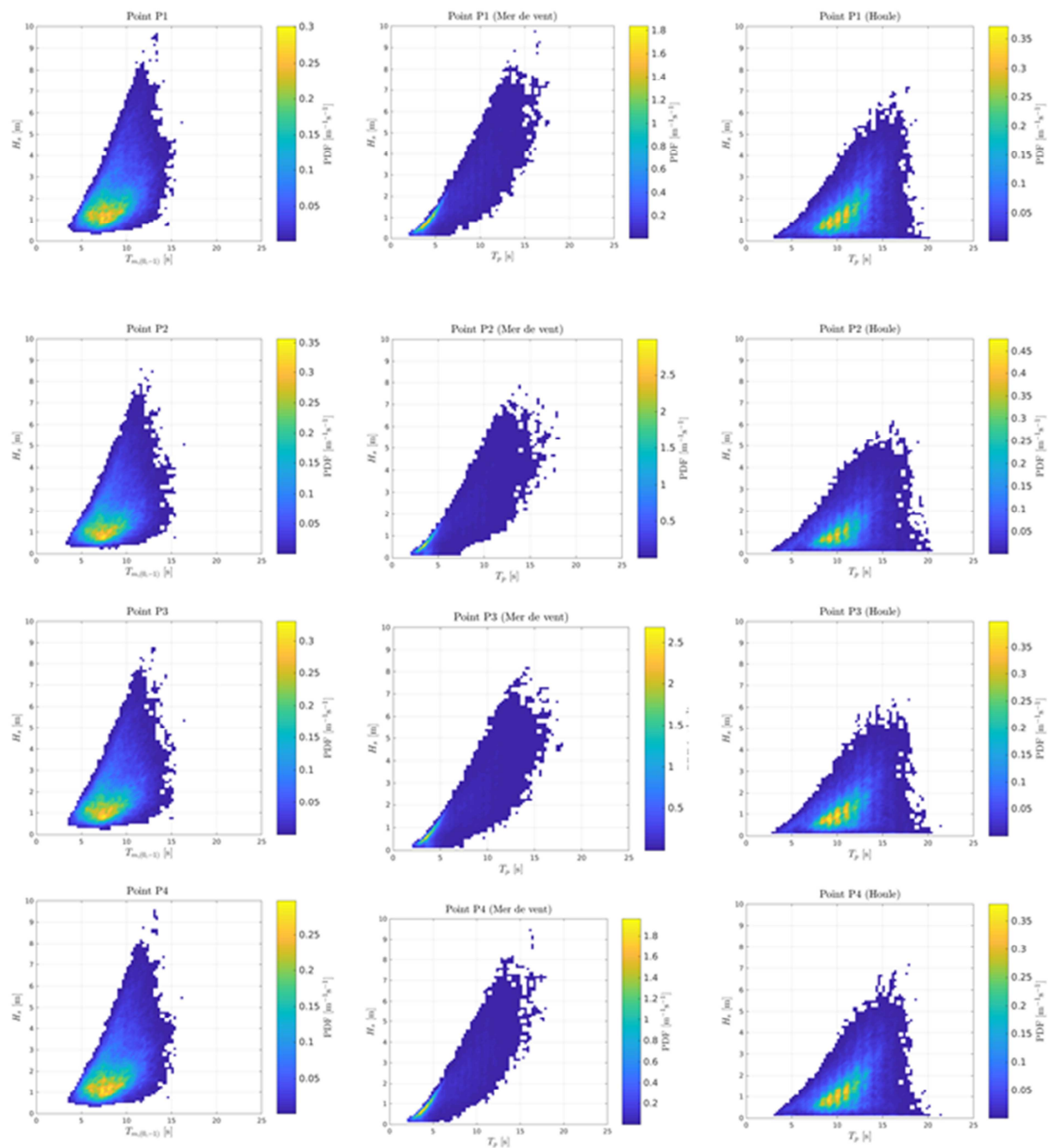


Figure 17 :

Corrélogrammes hauteurs significatives / périodes moyennes des vagues pour l'état de mer total (col. 1) ;

Corrélogrammes hauteurs significatives / périodes pics pour la mer de vent (col. 2) ;

Corrélogrammes hauteurs significatives / périodes pics pour la houle principale (col. 3).

Les 4 lignes représentent les 4 points du modèle MANGAS analysés, dont les positions sont données sur la carte en figure 16.

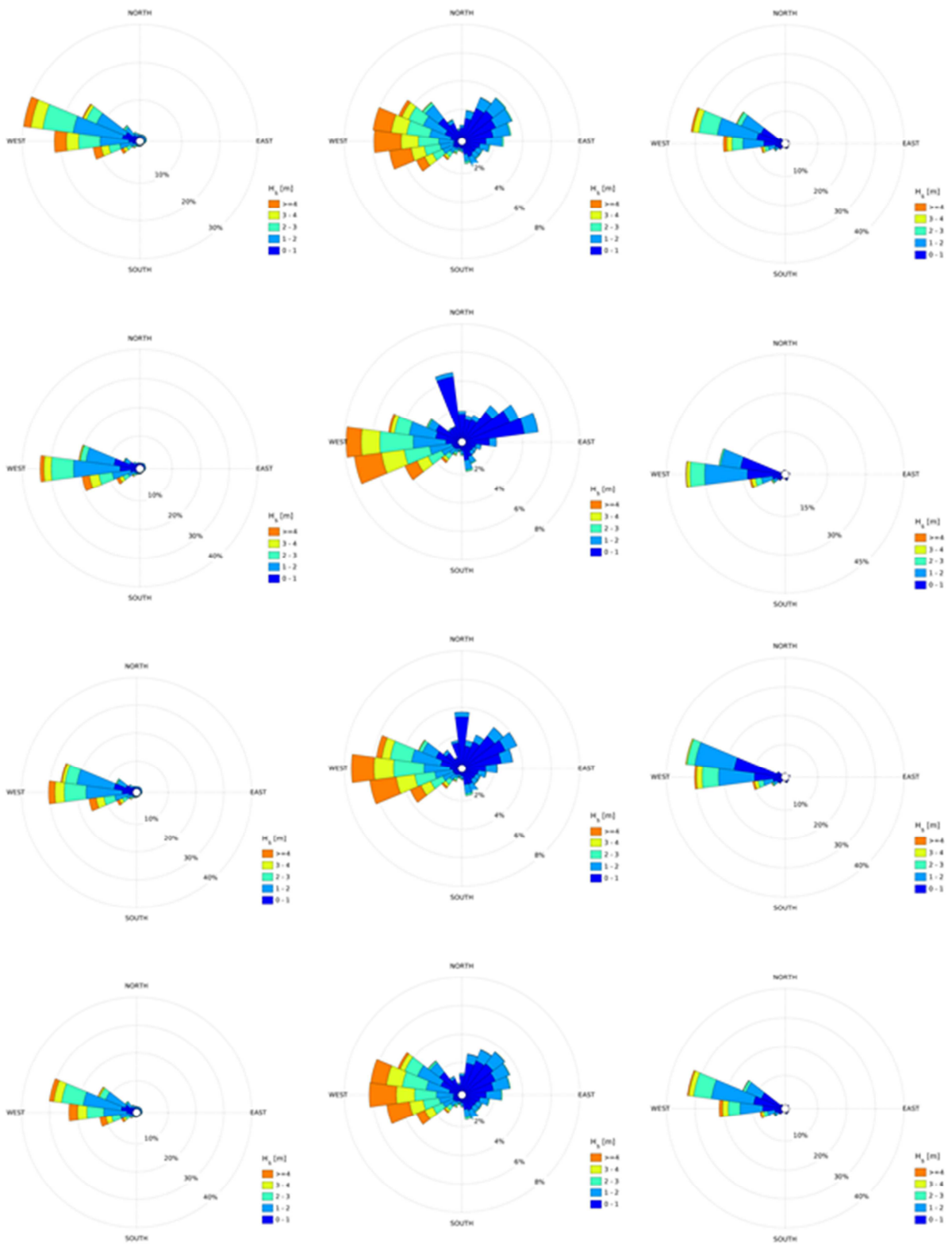


Figure 18 :

Rose de vagues (hauteur significative / direction moyenne) pour l'état de mer total (col. 1),
pour la mer de vent (col. 2) et pour la houle principale (col. 3).

Les 4 lignes représentent les 4 points du modèle MANGAS analysés, dont les positions sont données sur la carte en figure 16.