Fiche 9.7

Les enjeux techniques relatifs au choix de la localisation, à la construction et l'exploitation d'un parc éolien en mer

Les principaux points abordés

Cette fiche présente les principaux critères techniques et économiques servant à déterminer une zone favorable pour le développement d'un parc éolien flottant en mer. Ces éléments, liés aux propriétés naturelles caractérisant la zone d'étude en mer, sont les suivants :

- le vent, sa puissance, sa direction et sa régularité ;
- la bathymétrie qui mesure les profondeurs et le relief sous-marins ;
- la sédimentologie qui permet de caractériser la nature des fonds marins (sables, roches, vase) ;
- la marée et les courants ;
- la houle, les vagues et l'état de la mer.

Le sud de la Bretagne est une zone particulièrement favorable pour l'éolien en mer flottant du point de vue technique et économique. Les critères étudiés conditionnant la faisabilité technique et économique d'un parc éolien en mer sont la vitesse du vent, la bathymétrie (mesure des profondeurs et du relief du fond marin), la houle (hauteur des vagues générées ailleurs et qui se sont propagées), le marnage (différence de hauteur d'eau entre une pleine mer et une basse mer successives) et les vitesses des courants de marées.

Les analyses sur le potentiel technico-économique réalisées par le Cerema lors des précédents exercices de concertation définissent la zone d'étude en mer présentée au débat public comme étant techniquement et économiquement favorable à l'implantation de parcs éoliens en mer au regard de chacun des critères techniques étudiés.

À l'issue du débat public, l'État et RTE lanceront des études météo-océaniques (mesures du vent, de la houle, des courants notamment), géophysiques et géotechniques (bathymétrie, sédimentologie, sol et sous-sol sous-marins) permettant d'avoir une connaissance fine de la ou des zones qui auront émergé du débat public. Ces études seront transmises aux candidats de la procédure de mise en concurrence. En effet, les choix techniques relatifs à la construction et à l'exploitation d'un parc éolien en mer flottant (types de flotteur, d'ancrage, orientation des éoliennes, schéma d'implantation, etc.) étant basés sur les conditions du site, cela leur permettra de concevoir une offre la plus ajustée possible en réduisant le coût de soutien public.

1. Un vent adapté à des parcs éoliens en mer

La vitesse et la régularité du vent sont des critères décisifs permettant de connaître le potentiel éolien d'une zone en mer. La quantité de vent disponible sur la zone conditionne en effet très directement la quantité d'électricité qui pourra être produite par une éolienne en mer, et donc la rentabilité économique du projet.

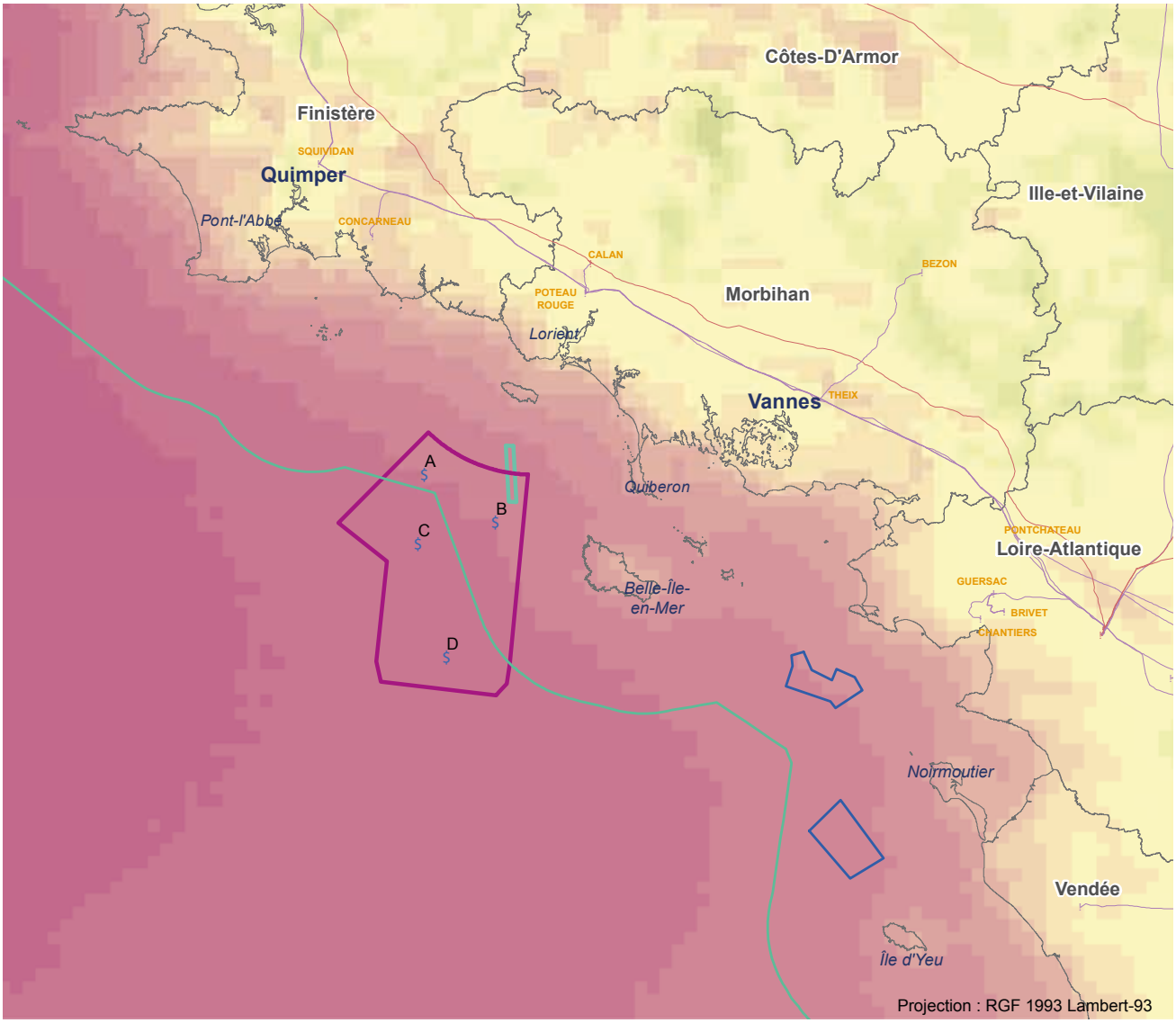
Les éoliennes bénéficient d'un système de contrôle automatisé qui leur permet de n'être en fonctionnement que lorsque le vent souffle au minimum à 3 ou 4 m/s environ (soit 14 km/h, vitesse minimale pour que la rotation de l'éolienne permette de produire de l'électricité) et au maximum à 25 m/s environ (soit 90 km/h, vitesse maximale au-delà de laquelle la force de rotation risque d'endommager l'éolienne).

Au sein de la zone d'étude en mer, la force du vent moyen à 100 m d'altitude est très homogène, de l'ordre de 8,8 m/s (soit environ 32 km/h). Les vents sont principalement de secteur ouest.

Les fréquences de vents calmes (vents inférieurs à 3 m/s) sont faibles et globalement inférieures à 10 %, ce qui est un gage de productivité pour un parc éolien en mer. Les vents violents, de vitesse supérieure à 14 m/s (soit environ 50 km/h), sont prédominants en hiver du fait des dépressions plus nombreuses à cette saison.

Le vent est d'autant plus fort qu'on s'éloigne du littoral.

Vitesse moyenne du vent à 100 mètres d'altitude de 2000 à 2015



Zone d'étude en mer

Eolien posé: site attribué ou en projet

Projet de ferme pilote flottante de Groix Belle-Île

Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique

225 kV

400 kV

Theix Nom des postes électriques

Ligne électrique

225 kV

400 kV

Positions des roses des vents

Vitesse du vent en m/s

5,75 - 6

6 - 6,25

6,25 - 6,5

6,5 - 6,75

6,75 - 7

7 - 7,25

7,25 - 7,5

7,5 - 7,75

7,75 - 8

8 - 8,25

8,25 - 8,5

8,5 - 8,75

8,75 - 9

9 - 9,25

Sources:

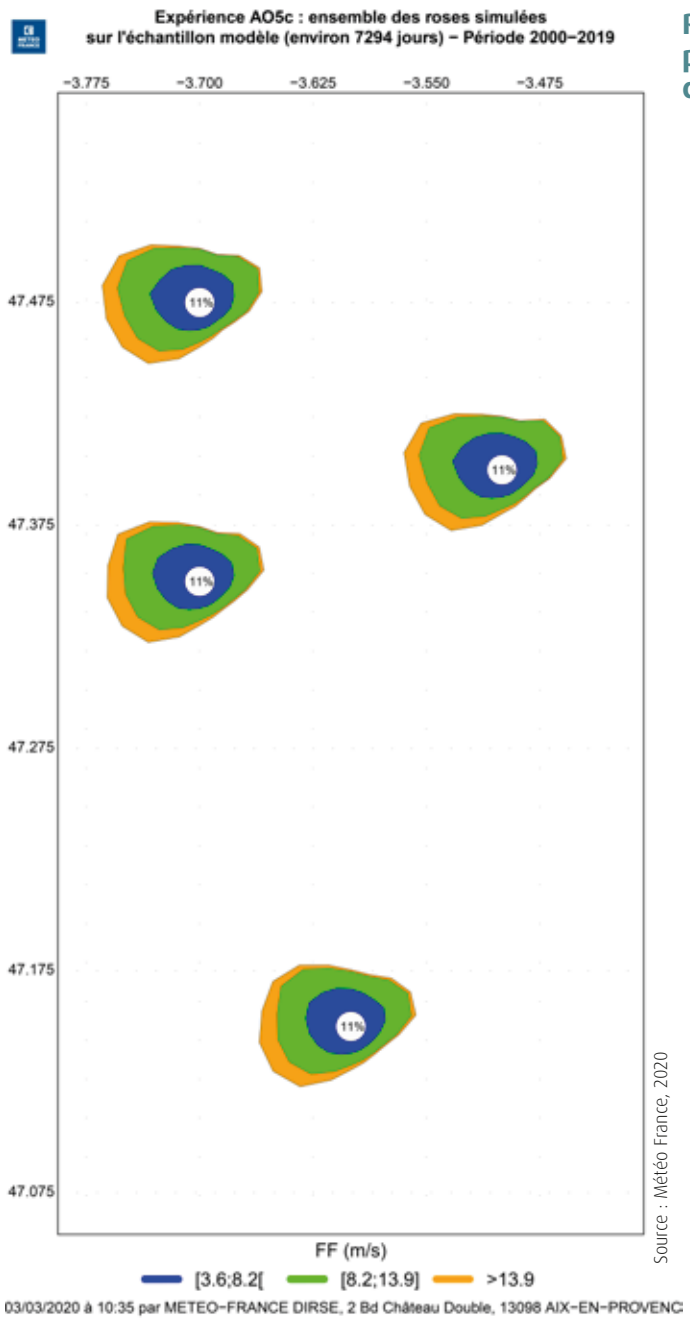
MTES: Limites EMR
Shom: Limites maritimes
RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
IGN: Limites administratives terrestres

0 5 10 15 Nq

0 10 20 30 Km

Réalisation: Météo France - Février 2020

Les roses des vents permettent de connaître la répartition des directions des vents dans cette zone. Les vents à 100 m d'altitude sont majoritairement de secteur ouest-sud-ouest (entre 240° et 260°) sur l'ensemble de la zone d'étude en mer. Ainsi le régime de vents sur cette zone n'est pas influencé par la côte.



Source : Météo France, 2020

Roses des vents annuelles en mer pour les points A, B, C et D (localisation géographique de ces points sur la carte de la page précédente)

2. Une bathymétrie favorable à la technique de l'éolien flottant

La bathymétrie est la mesure des profondeurs et du relief de l'océan pour déterminer la topographie du sol des océans.

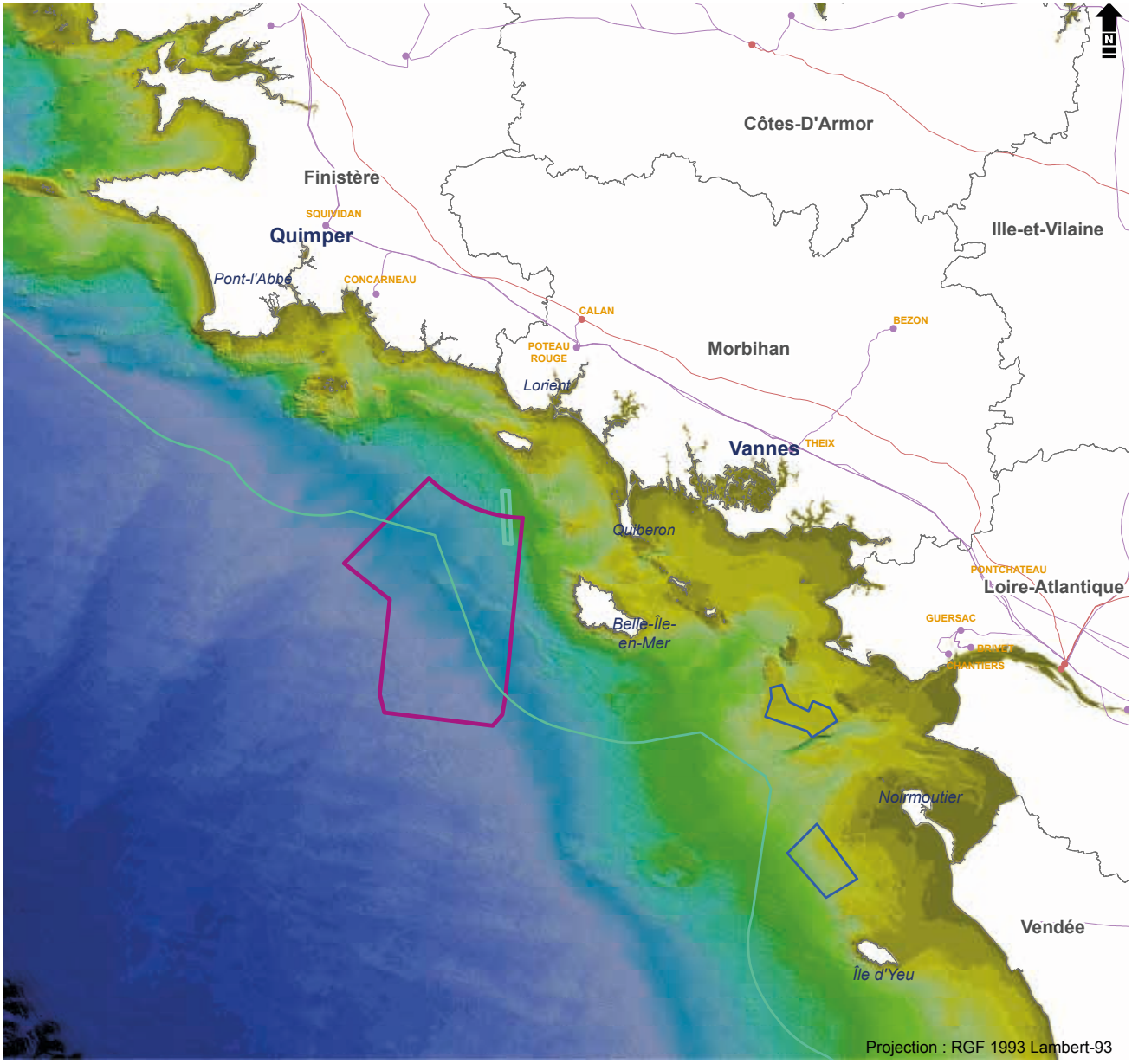
Globalement les fonds de la zone d'étude en mer sont en pente douce comprise entre 50 et 100 mètres de profondeur, adaptés à la technique de l'éolien en mer flottant. La zone peut être découpée en trois parties :

- la partie au nord-est est dominée par un fond vaseux ;
- la partie centrale est marquée par la présence de rochers et de graviers ;
- la partie au sud-ouest devient sableuse.

D'où vient la connaissance bathymétrique ?

La connaissance bathymétrique de la zone d'étude en mer est basée sur onze levés réalisés entre 1939 et 2016. Les techniques utilisées pour ces levés sont multiples : sondages acoustiques, c'est-à-dire que la profondeur est déduite de la mesure du temps de trajet d'un signal acoustique réfléchi par le fond, et mesures au plomb de sonde. La majeure partie de la zone d'étude est faiblement couverte par des levés récents ; seul l'extrême au sud-est est couvert par des levés complets récents. Ces mesures ont permis d'élaborer un modèle numérique de terrain de la façade, c'est-à-dire une représentation de la profondeur et du relief du fond de la mer.

Couverture bathymétrique générale de la zone d'étude en mer



- Zone d'étude en mer
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Projet de ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique
- 225 kV
- 400 kV

Ligne électrique
- 225 kV
- 400 kV

Theix Nom des postes électriques

Profondeur en mètres
(par rapport au niveau moyen)

- Moins de -125
- de -100 à -125
- de -90 à -100
- de -80 à -90
- de -70 à -80
- de -60 à -70
- de -50 à -60
- de -40 à -50
- de -30 à -40
- de -20 à -30
- de -10 à -20
- de 00 à -10
- de 50 à 00

0 5 10 15 Nq

0 10 20 30 Km

Sources:

MTES: Limites EMR
Shom: Limites maritimes, MNT bathymétrique (Projet Homonim)
RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
IGN: Limites administratives terrestres

Réalisation: Cerema- Shom 2020

3. Sédimentologie

La sédimentologie comprend la caractérisation de la nature des fonds et l'étude de la dynamique sédimentaire. Le type de structure sédimentaire influence le choix des ancrages des éoliennes flottantes en mer.

D'où vient la connaissance en sédimentologie ?

La carte sédimentaire de la région repose essentiellement sur des prélèvements anciens et très anciens, réalisés entre 1820 et les années 1980. Ces prélèvements sont réalisés grâce à des bennes à sédiments traînées au fond de l'eau. Des données d'imagerie acoustique acquises entre les années 1990 et aujourd'hui viennent compléter la connaissance sédimentaire de la zone d'étude en mer.

Dans le cas de la zone d'étude en mer, on trouve trois principaux types de structures sédimentaires : le fond sédimentaire, qui forme une sorte de plaine océanique, les paléo-vallées, qui sont des dépressions, des creux, et enfin les bancs et les dunes, qui forment des buttes, ou des collines.

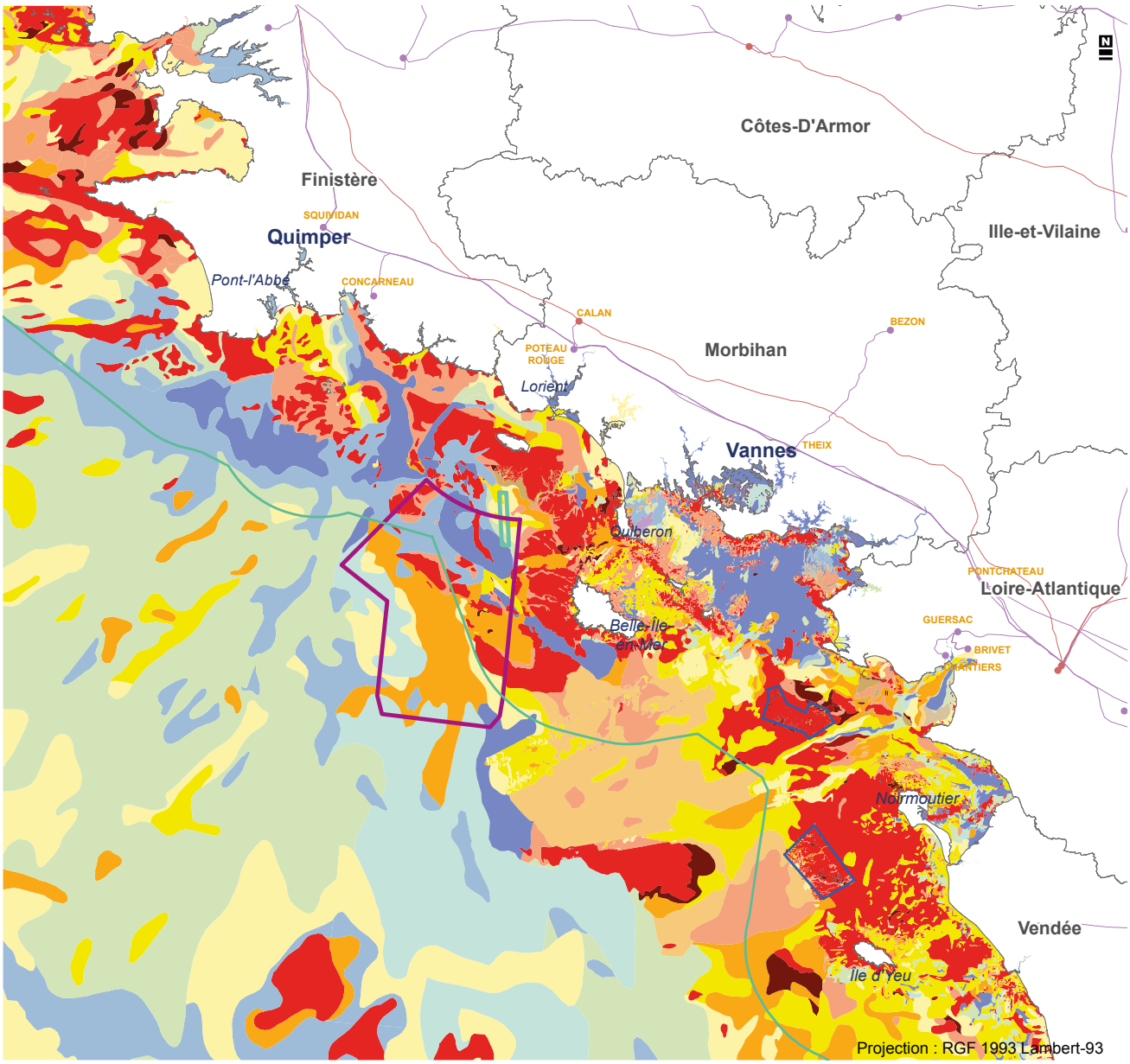
Les structures engendrant une variabilité de l'épaisseur sédimentaire au sud de la Bretagne sont essentiellement les paléo-vallées. Sur la zone d'étude, la zone de dépôts sédimentaires la plus importante est due à la lointaine la paléo-vallée de la Vilaine engendrant des épaisseurs de sédiments jusqu'à 30 mètres. Dans la partie nord de la zone d'étude, ces épaisseurs de sédiments présentent une prédominance des vases, avec quelques affleurements rocheux.

Vers des profondeurs bathymétriques de 50 à 70 mètres, 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. Ce domaine s'étendant du centre-ouest au sud-est de la zone d'étude est plus grossier avec un mélange de sables et de graviers. Enfin en s'éloignant dans la partie la plus à l'ouest de la zone d'étude on rencontre un mélange de sables et de vases.

Dans cette zone d'étude, les accumulations sédimentaires de type bancs et dunes (sables et sables fins) sont rares.

Néanmoins, les tendances générales de la nature du fond et de l'épaisseur de sédiments ne sont pas bien connues au centre et au sud de la zone d'étude et nécessiteraient de levées complémentaires.

Carte sédimentologique générale



Zone d'étude en mer

Eolien posé: site attribué ou en projet

Projet de ferme pilote flottante de Groix Belle-Île

Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique

- 225 kV
- 400 kV

Ligne électrique

- 225 kV
- 400 kV

Theix Nom des postes électriques

0 5 10 15 Nq

0 10 20 30 Km

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

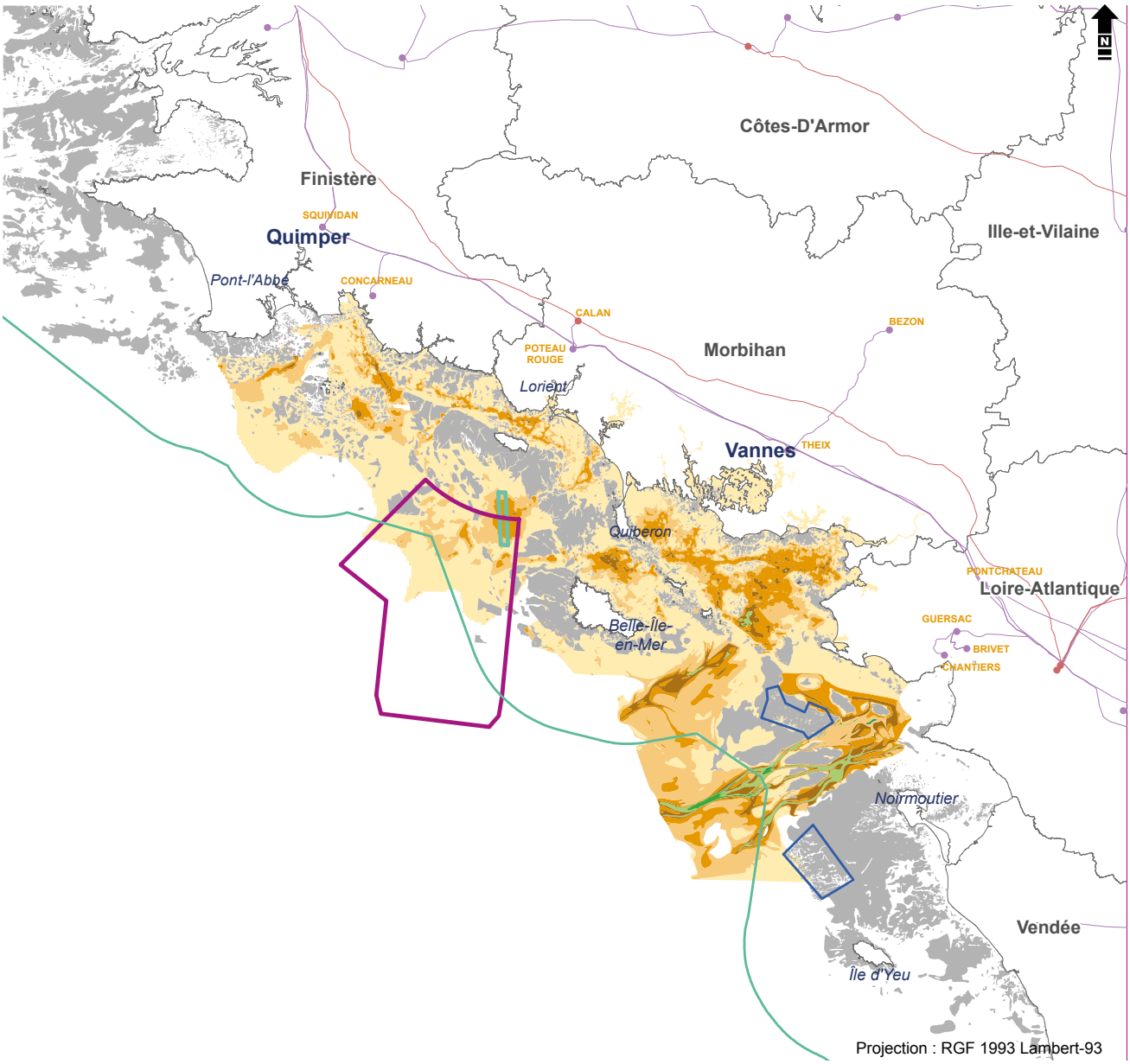
- Roche
- Cailloutis
- Cailloutis Graviers
- Cailloutis Sables
- Graviers Cailloutis
- Graviers
- Graviers Sables
- Graviers Vases
- Sables Graviers
- Sables Graviers Vases
- Sables
- Sables Vases
- Sables fins Cailloutis
- Sables fins
- Sables fins Vases
- Silts
- Vases Graviers
- Vases Sables
- Vases

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

Épaisseurs de sédiments



Zone d'étude en mer

Eolien posé: site attribué ou en projet

Projet de ferme pilote flottante de Groix Belle-Île

Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique

225 kV

400 kV

Theix Nom des postes électriques

Ligne électrique

225 kV

400 kV

Epaisseur des sédiments (en mètres)

Non connue

0 à 0,5m

0,5 à 5m

5 à 10m

10 à 20m

20 à 30m

30 à 40m

40 à 50m

50 à 60m

0 5 10 15 Nq

0 10 20 30 Km

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

4. Marée et courants

La marée est la variation du niveau de la mer due à l'action de la lune et du soleil, ce qui permet une prédiction à long terme. La marée est à prendre en compte dans le dimensionnement des lignes d'ancrage.

Les 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.

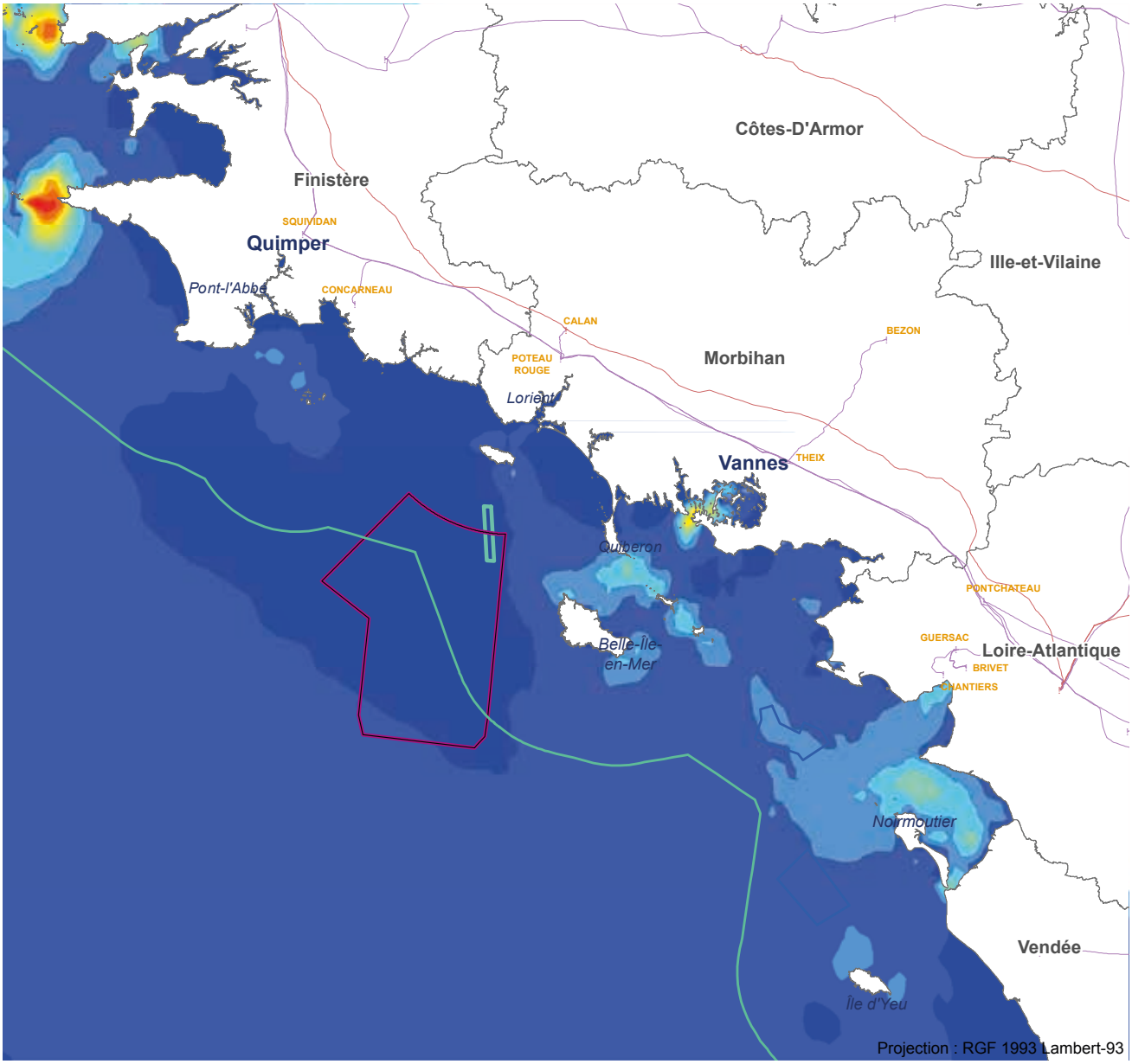
Les courants exercent une force contre les ancrages et les flotteurs des éoliennes, et doivent donc être pris en compte lors de la conception des installations.

Les atlas de courants de marée donnent une assez bonne représentation des courants de la zone d'étude car le phénomène de la marée est le principal vecteur des courants qui s'y produisent. L'intensité maximale du courant de marée en vive-eau moyenne est représentée sur la carte ci-dessous et l'atlas est disponible sur www.diffusion.shom.fr [1]

Sur la zone d'étude, la vitesse des courants généraux caractéristique de la circulation générale océanique, par temps calme, est faible, et demeure voisine de 0,06 nœud (0,03 m/s) tout au long de l'année.

1

Carte de l'intensité maximum du courant de marée en vive-eau moyenne (coefficient 95)



- Zone d'étude en mer
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Projet de ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique
- 225 kV
- 400 kV

Ligne électrique
- 225 kV
- 400 kV

Theix Nom des postes électriques

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

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5

0 5 10 15 Nq

0 10 20 30 Km

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

Réalisation: SHOM 2020

5. Houle, vagues et état de mer

La hauteur significative, qui est paramètre le plus utilisé pour caractériser l'état de la mer est la valeur moyenne du tiers supérieur des hauteurs des vagues toutes origines confondues.

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.

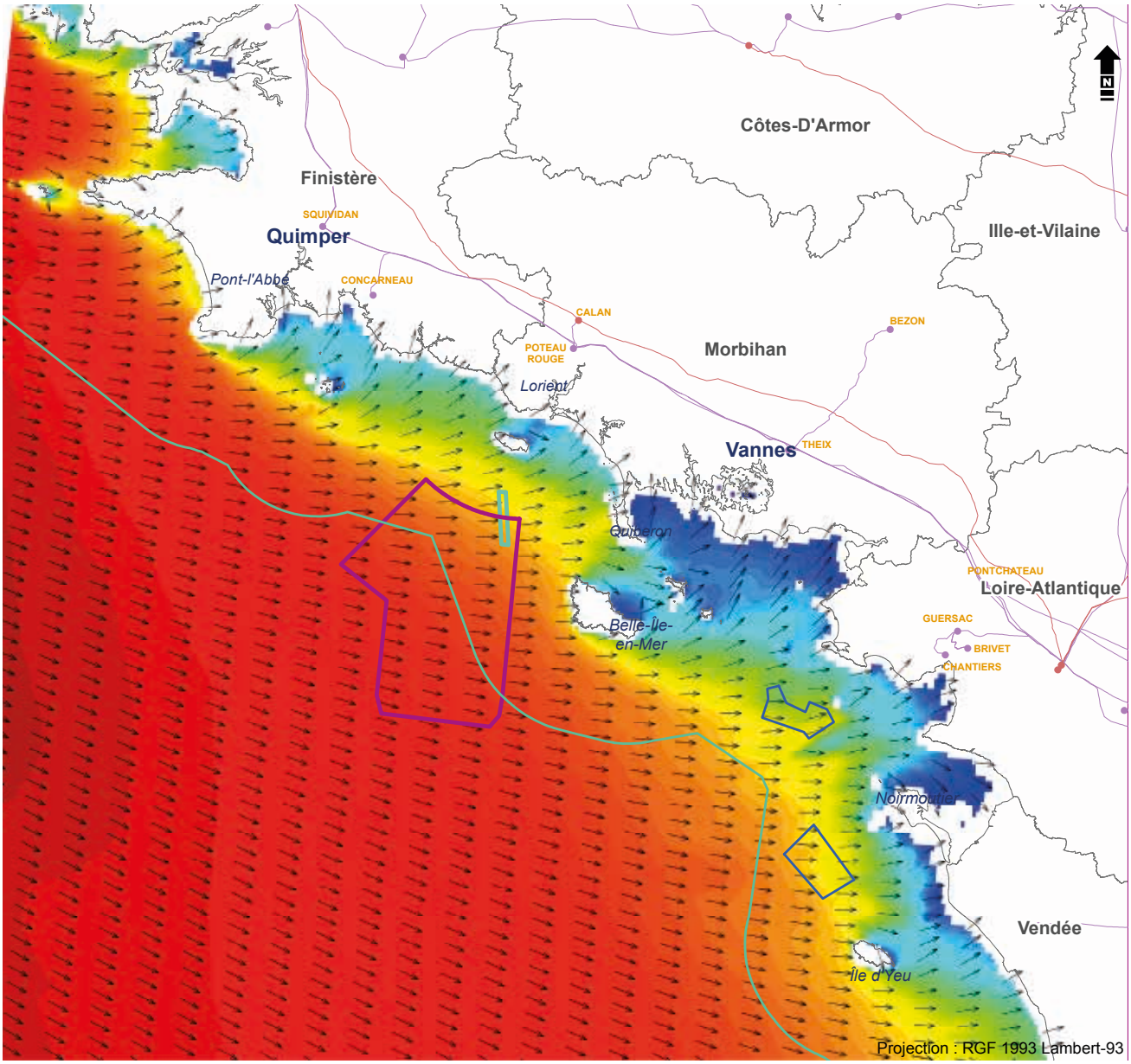
La houle correspond à des vagues générées ailleurs et qui se sont propagées. Elle dépend notamment du *fetch* (taille de l'aire maritime sur laquelle souffle le vent).

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 et peut les faire déferler), relief côtier, courants... En général, il se compose des vagues liées à la mer de vent et celles liées à la houle. Comme les courants, la houle et la mer de vent exercent une force contre les supports et ancrages éoliennes, et doivent donc être prises en compte lors de la conception des installations.

Du fait de sa localisation, la zone est soumise à d'importantes houles d'ouest et d'ouest-nord-ouest provenant de l'Atlantique. Les *fetchs* sont très longs dans les directions d'ouest à sud-ouest et importants dans la direction sud, permettant le développement de mers de vents fortes dans ces directions. À 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.

Comme il existe peu d'observations et de mesures de vagues sur la zone d'étude, un modèle a été réalisé. La hauteur significative moyenne des vagues est inférieure à 2,5 mètres sur l'ensemble de la zone. Les vagues viennent préférentiellement de l'ouest à l'ouest-nord-ouest. Les hauteurs maximales modélisées sur la zone dépassent les 10 mètres pour la partie de la zone la plus au large, mais dépendent fortement des saisons.

Hauteurs significatives en mètres (couleurs) et directions moyennes (flèches) modélisées en moyenne sur la période 2000-2017 avec le modèle MANGAS en hiver



- Zone d'étude en mer
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Projet de ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique
- 225 kV
- 400 kV

Ligne électrique
- 225 kV
- 400 kV

Theix Nom des postes électriques

Hauteur significative moyenne [m]
(Dec./Jan./Fev.)

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5

0 5 10 15 Nq

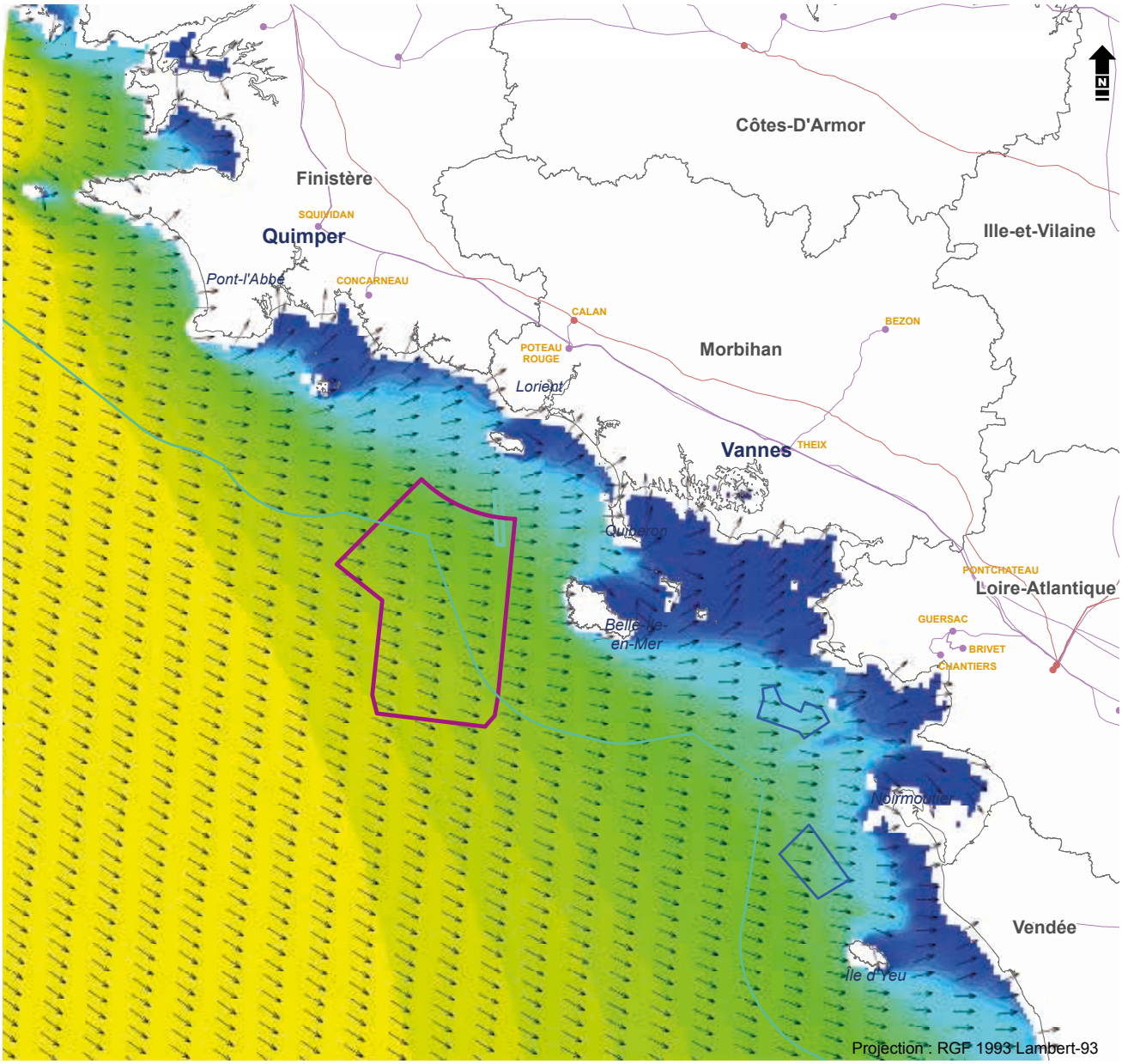
0 10 20 30 Km

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

Hauteurs significatives en mètres (couleurs) et directions moyennes (flèches) modélisées en moyenne sur la période 2000-2017 avec le modèle MANGAS au printemps



- Zone d'étude en mer
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Projet de ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique
- 225 kV
- 400 kV

Ligne électrique
- 225 kV
- 400 kV

Theix Nom des postes électriques

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

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5

0 5 10 15 Nq

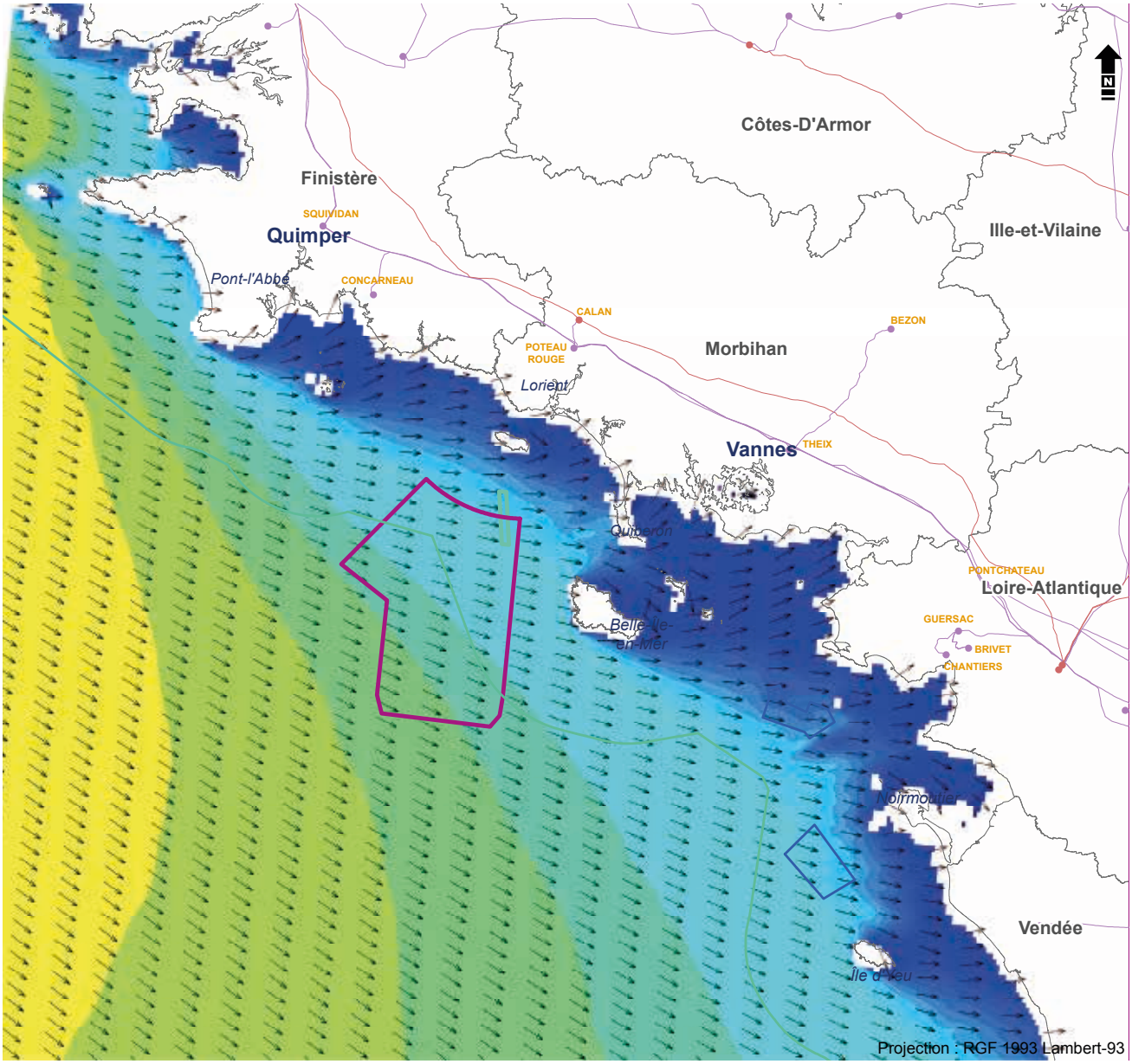
0 10 20 30 Km

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

Hauteurs significatives en mètres (couleurs) et directions moyennes (flèches) modélisées en moyenne sur la période 2000-2017 avec le modèle MANGAS en été



- Zone d'étude en mer
- Eolien posé: site attribué ou en projet
- Projet de ferme pilote flottante de Groix Belle-Île
- Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique
- 225 kV
- 400 kV

Ligne électrique
- 225 kV
- 400 kV

Theix Nom des postes électriques

Hauteur significative moyenne [m]
(Juin/Juil./Août)

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5

Sources:

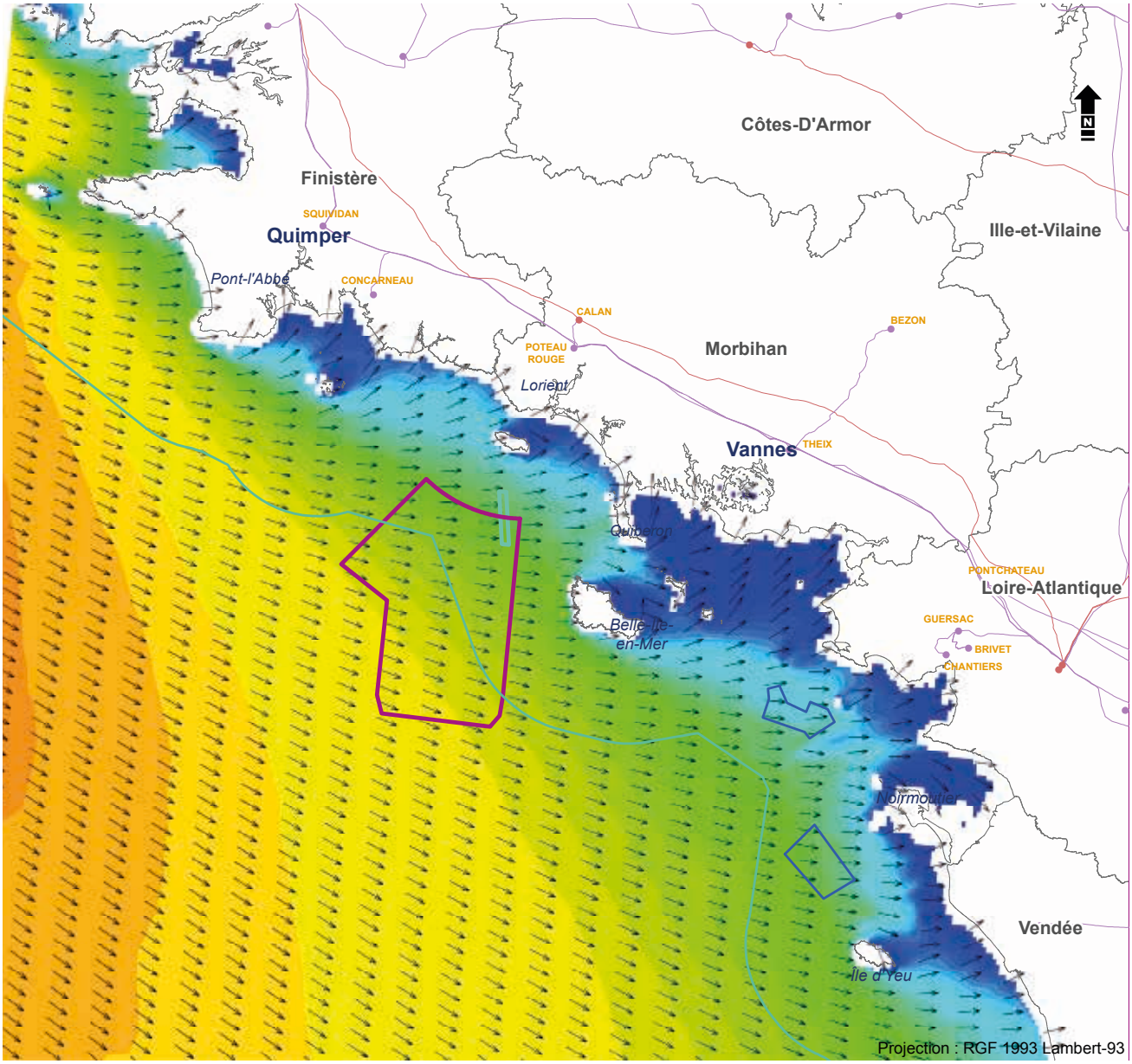
MTES: Limites EMR
Shom: Limites maritimes, houle (modèle MANGAS)
RTE: lignes, postes RTE, zones de raccordement
IGN: Limites administratives terrestres

0 5 10 15 Nq

0 10 20 30 Km

Réalisation: Cerema- Shom 2020

Hauteurs significatives en mètres (couleurs) et directions moyennes (flèches) modélisées en moyenne sur la période 2000-2017 avec le modèle MANGAS en automne



Zone d'étude en mer

Eolien posé: site attribué ou en projet

Projet de ferme pilote flottante de Groix Belle-Île

Limite extérieure de la mer territoriale (12M)

Poste électrique
- 225 kV
- 400 kV

Ligne électrique
- 225 kV
- 400 kV

Theix Nom des postes électriques

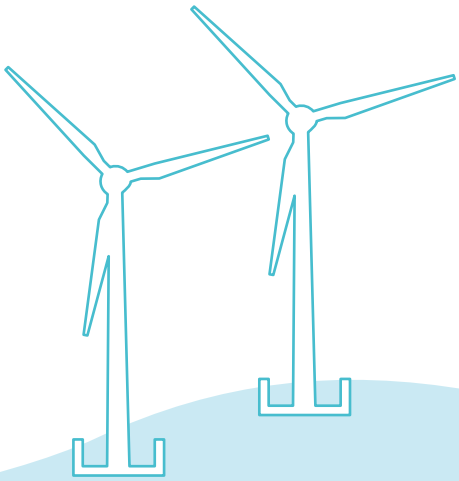
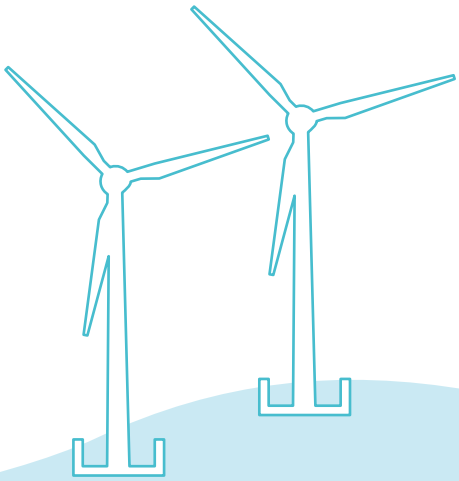
Hauteur significative moyenne [m]
(Sep./Oct./Nov.)

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5

Sources:

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

0 5 10 15 Nq

0 10 20 30 Km

Réalisation: Cerema- Shom 2020