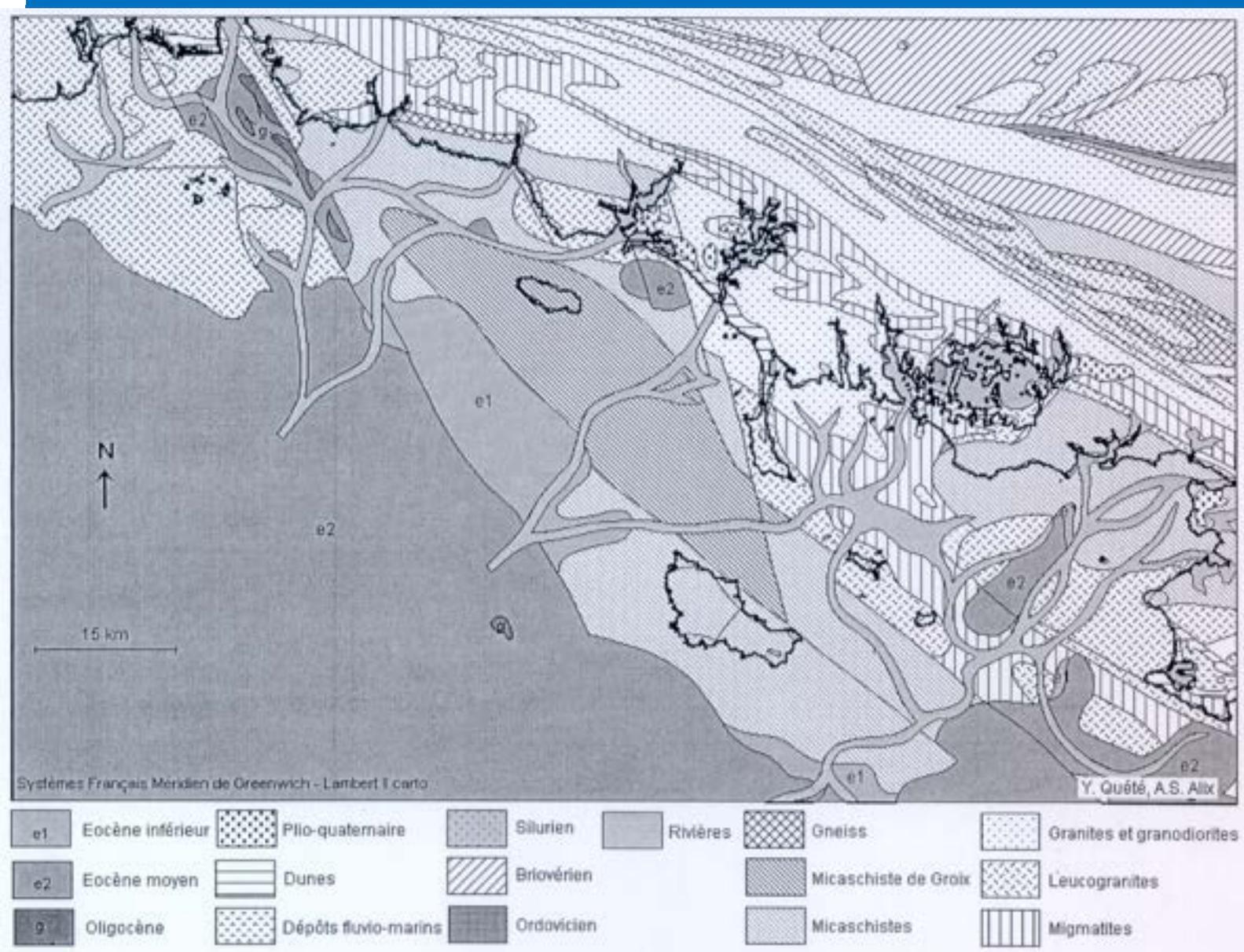


Étude bibliographique sur la géologie et élaboration du modèle géologique initial de la Bretagne Sud



Carte géologique simplifiée au Sud du Massif Armoricain (source : Menier 2003)



Version	Date	Remarques
1.0	17/05/21	Transmission à DNV-GL
1.5	13/11/21	Transmission à DNV-GL après prise en compte des remarques RTE/CEREMA

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable : en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des indications et énonciations de **Gaïa – Terre bleue** ne saurait engager la responsabilité de celle-ci.

Crédit photographique :

Gaïa – Terre bleue (sauf mention particulière)

Auteurs

Didier Grosdemange, Océanologue
Matthieu le Tixerant, géomaticien-géographe

Gaïa - Terre bleue

Bureau n°6 – Criée Ouest
29900 Concarneau - France
06 08 21 05 67

dgrosdemange@gaia-terrebleue.fr
www.gaia-terrebleue.fr



Sommaire

1	OBJECTIF DE LA PRESENTE NOTE	6
2	RAPPEL DE L'HISTORIQUE DES ETUDES GEOLOGIQUES SUR LA BRETAGNE SUD	7
3	CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET BATHYMETRIQUE DE LA BRETAGNE SUD	8
4	HYDRODYNAMISME ACTUEL	9
4.1	MARNAGE	9
4.2	COURANTS DE MAREE	9
4.3	RAPPEL SUR LE TRANSPORT SEDIMENTAIRE	10
4.4	RAPPEL SUR LA GRANULOMETRIE	11
5	CARACTERISTIQUE DE LA NATURE DES FONDS	12
5.1	CARACTERISATION GENERALE (SOURCE SHOM)	12
5.2	ÉPAISSEUR DE SEDIMENT AU-DESSUS DU SUBSTRATUM	12
6	SUBSTRATUM DE LA BRETAGNE SUD	17
6.1	RAPPEL SUR LA TYPOLOGIE DES ROCHES OBSERVEES SUR LA TERRE	17
6.2	APPLICATION A LA BRETAGNE SUD	18
6.3	GEOLOGIE DE LA BRETAGNE ET DE LA BRETAGNE SUD	18
7	CONCLUSION GENERALE	24
7.1	DETAIL SUR LE NORD DE LA ZONE (ZONE DES CORRIDORS)	24
7.2	DETAIL SUR LE SUD DE LA ZONE (ZONE FUTURE DES PARCS EOLIENS FLOTTANTS)	25
8	BIBLIOGRAPHIE	26
9	GLOSSAIRE	27
10	ÉCHELLES STRATIGRAPHIQUE DES TEMPS GEOLOGIQUES	29
11	L'ETAGEMENT PHYTAL	32
11.1	LE SUBTIDAL ROCHEUX : ETAGEMENTS ET NIVEAUX	32

Table des figures

Figure 1 : Aire de l'étude géologique de l'AO5 (source DGEC)	6
Figure 2 : Morpho-bathymétrie du Golfe de Gascogne (source Menier, 2014)	8
Figure 3 : Carte des isotidales (ligne de marnage pour le coefficient 120 théorique) (source SHOM)	9
Figure 4 : modes de transport des particules dans un courant (source Web).....	10
Figure 5 : diagramme d'Huljstrom (source Web)	11
Figure 6 : Reconstitution paléogéographique des principaux réseaux fluviaux nord-ouest européens au dernier maximum glaciaire (d'après Bourillet <i>et al.</i> , 2003 ; Toucanne <i>et al.</i> , 2010) (source Menier, 2014).....	13
Figure 7 : La côte bretonne au début du Quaternaire. Le niveau de la mer atteint l'altitude + 100 m, seule une partie de la Bretagne reste émergée (en marron) (source SIGES Bretagne)	14
Figure 8 : La côte bretonne pendant les dernières glaciations (source SIGES Bretagne).....	14
Figure 9 : Variations de la ligne de rivage et reconstitution paléoenvironnementale de l'Europe de l'Ouest du Dernier Maximum Glaciaire au début de l'Holocène (source Menier 2003).....	15
Figure 10 : Remplissage sédimentaire plio-quaternaire en Bretagne Sud (source Menier, 2014)	16
Figure 11 : Découpage du Massif Armoricaire breton d'après Chantraine et al., 2001, carte géologique à 1:250 000 (source SIGES)	18
Figure 12 : Limites du Massif Armoricaire et des principaux bassins périphériques (source Menier, 2003).....	19
Figure 13 : Principaux alignements structuraux replacés sur le Modèle Numérique de Terrain (source en haut Menier, 2013 et en bas, SIGES).....	20
Figure 14 : Tectonique de basculement : Soulèvement de la marge Nord - affaissement de la marge Sud (source Menier, 2003)	21
Figure 15 : Conséquence dans le comblement des vallées du Sud Bretagne (source Menier, 2003).....	21
Figure 16 : La paléogéographie de la chaîne varisque au Paléozoïque (source Web, Matte 2001).....	22
Figure 17 : Géologie simplifiée de la façade Lorient - Étrel (source Menier, 2014)	23
Figure 18 : Extraits des planches sur la nature sédimentaire superficielle (Planche 7), l'épaisseur du remplissage des paléovallées (planche 8) et la nature du substratum (planche 13) pour la partie Nord de la Zone.....	24
Figure 19 : Extraits des planches sur la nature sédimentaire superficielle (Planche 7), l'épaisseur du remplissage des paléovallées (planche 8) et la nature du substratum (planche 13) pour la partie Sud de la Zone.....	25
Figure 20 : Échelle stratigraphique des temps géologiques (source Web).....	29
Figure 21 : Coupes géologiques simplifiées illustrant les principaux faciès caractéristiques préservés sur la marge sud-armoricaine et sur le Massif Armoricaire (Absence d'échelle verticale) (Source Menier, 2003)	30
Figure 22 : Échelle stratigraphique du Quaternaire (inspiré de Zagwijn 1985 et de Grellet et al. 1993)	31
Figure 23 : Zonation phytale (source : Adms).....	32
Figure 24 : Exemple de schématisation de la forêt de Laminaires hyperborées (source ADMS)	34

Table des planches

Planche 1 : Aire de l'étude géologique de l'AO5 (source DGEC).....	6
Planches 2A à E : Carte bathymétrique de la zone d'études (source SHOM).....	8
Planches 3A & B : MNT Bathymétrique de la zone d'études (source SHOM).....	8
Planche 4 : Marnage (source SHOM)	9
Planche 5 : Courants de marée - vitesses maximales (source SHOM)	10
Planche 6 : Carte sédimentaire du SHOM	12
Planche 7 : Habitats physiques de type EUNIS des fonds marins (source Ifremer)	12
Planche 8a : Épaisseurs de "bancs sableux" (source SHOM) et planche 8b : Bancs de Maërl.....	17
Planche 9 : Zones d'intérêt pour l'exploitation de matériaux marins déterminées selon leur potentiel extractif (source IFREMER)	17
Planche 10 : Isopaques de nappes alluviales de la Paléo-vallée d'Étal principalement (source IFREMER)	17
Planche 11 : Zones d'extraction de granulats en mer et de PER (source IFREMER)	17
Planche 12 : Carte géologique imprimée 1/1 000 000 (source BRGM).....	18
Planche 13 : Carte géologique imprimée 1/250 000 (source BRGM).....	18
Planches 14A à D : Carte géologique imprimée 1/50 000 (source BRGM).....	18



Table des tableaux

Tableau 1 : Classification granulométrique générale (Migniot, 1987) A noter que les couleurs dans le tableau renvoient aux couleurs des cartes sédimentaires.....	11
Tableau 2 : Notice des cartes de Natures de Fond (source SHOM)	12
Tableau 3 : Synthèse de la géomorphologie des vallées incisées en Bretagne Sud (source Menier, 2014).....	16
Tableau 4 : Autre représentation des ceintures (Derrien, 2011).....	34

1 OBJECTIF DE LA PRESENTE NOTE

Dans le cadre du développement de la filière éolienne en mer, la Programmation Pluriannuelle de l'énergie (PPE) fixe un calendrier indiquant, pour les prochaines années, la localisation et la puissance maximale des projets de parcs éoliens en mer, posés ou flottants, à mettre en concurrence.

Pour chaque Appel d'offres, des études de « dérisquage » sont réalisées respectivement par la DGEC et par RTE sur la zone d'implantation du parc, du poste en mer, et les corridors de raccordement.

L'objectif de l'étude bibliographique géologique est de rassembler le maximum d'informations disponibles sur la composition du fond marin et du sous-sol pouvant permettre de faire ressortir les aléas géologiques majeurs et d'orienter la définition des choix de solutions de fondations et de raccordement réalistes.

Cette présente note traite de la Bretagne Sud qui est le sujet de l'appel d'offres 5, lancé par la DGEC. La zone d'étude est reportée sur la carte suivante (voir également les planches associées, dont la planche 1).

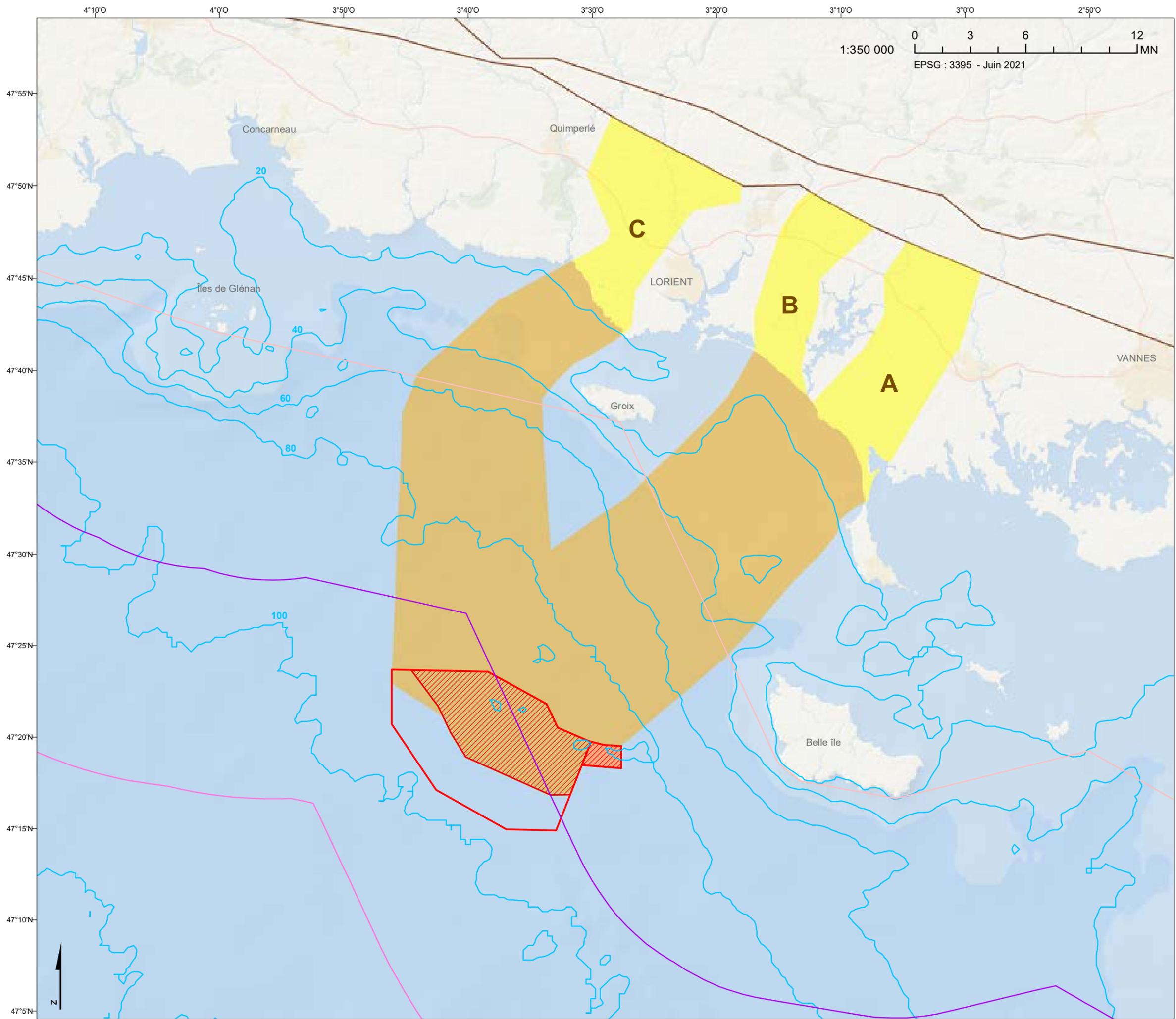


Figure 1 : Aire de l'étude géologique de l'AO5 (source DGEC)

Les planches ont été insérées à l'emplacement où elles sont citées en référence. Il est à noter que plusieurs figures sont des fac-similés d'articles scientifiques ou de thèses. Elles ne sont donc pas modifiées et ne peuvent pas faire figurer la zone du projet et les corridors. Il a donc été opté d'associer généralement à ces figures une planche dédiée qui quant à elle porte ainsi la zone du projet et les corridors.

Planche 1 : Aire de l'étude géologique de l'AO5 (source DGEC)

Les termes techniques et scientifiques sont définis dans un glossaire en annexe. Il a également des échelles de temps géologiques pour mieux comprendre les successions temporelles.



1:350 000
 EPSG : 3395 - Juin 2021



Carte 1

Contexte - Zone d'étude

- Zone d'étude**
 Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA
- Zone pour poursuite des études (233 km²)
 - Zone pour dialogue concurrentiel (130 km²)
 - Zone de vigilance pour enjeux paysagers
 - Zone étudiée pour raccordement en mer
 - Zone étudiée pour raccordement à terre
 - Réseau électrique RTE

- Droit de la mer**
 Source : SHOM
- Ligne de base droite
 - Limite des 12 milles - Mer territoriale
 - Limite des 24 milles - Zone contiguë
 - Isobathe

Source : © Ifremer-SHOM, © British Crown and Seazone Solutions Limited, 2010 - Isobathes d'intervalle 20m issues du MNT de Bathy-morphologie régionale du Golfe de Gascogne et de la Manche dont la résolution est de 500m.



2 RAPPEL DE L'HISTORIQUE DES ETUDES GEOLOGIQUES SUR LA BRETAGNE SUD

Dans les années 1970, de nombreuses campagnes de sismique réflexion et de sondages en domaine côtier ont permis d'établir le cadre géologique et structural du socle ancien et des formations post-paléozoïques (-251 M années) de la marge sud-armoricaine. Cependant, il faut attendre les travaux de David Menier, actuellement Enseignant-chercheur au sein du laboratoire de Géosciences de l'Université de Bretagne Sud, des années 2000 à 2010 pour avoir une meilleure connaissance de la Bretagne Sud.

On peut citer notamment les travaux réalisés durant sa thèse, soutenue en 2003, puis les travaux réalisés dans le cadre de la recherche de gisement sableux pour de l'extraction de granulats en mer dans les années 2006 en collaboration avec Ifremer (Claude Augris), puis plus tard les travaux avec le groupe LAFARGE dans les années 2012 dans le cadre de la recherche d'un gisement sableux au large d'Etel.

Les principales publications sont donc les suivantes et font l'objet de l'étude de cette présente note :

- ▷ Menier D., 2003. Morphologie et remplissage des vallées fossiles sud-armoricaines : Apport de la stratigraphie sismique. Minéralogie. Université Rennes 1.
- ▷ Guilhem Estournès a,b et al., 2012. The paleo-Etel River incised valley on the Southern Brittany inner shelf (Atlantic coast, France): Preservation of Holocene transgression within the remnant of a middle Pleistocene incision? *Marine Geology* 329–331 (2012) 75–92
- ▷ Augris. C., 2012. Inventaire des ressources en matériaux marins. Façades « Bretagne » et « Sud-Gascogne ». IFREMER
- ▷ Menier D., Augris C. et Briend C. (coord.), 2014. Les réseaux fluviatiles anciens du plateau continental de Bretagne Sud. Éd. Quae. 104 pages.

3 CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET BATHYMETRIQUE DE LA BRETAGNE SUD

Le golfe de Gascogne correspond à un domaine océanique d'âge crétacé, limité au nord par la marge continentale Nord Gascogne et au sud par la marge continentale Nord Ibérie. La marge continentale Nord Gascogne se subdivise en deux segments morphologiques : la marge sud-armoricaine (orientée NW-SE) et la marge des entrées de la Manche (orientée WNW - ESE).

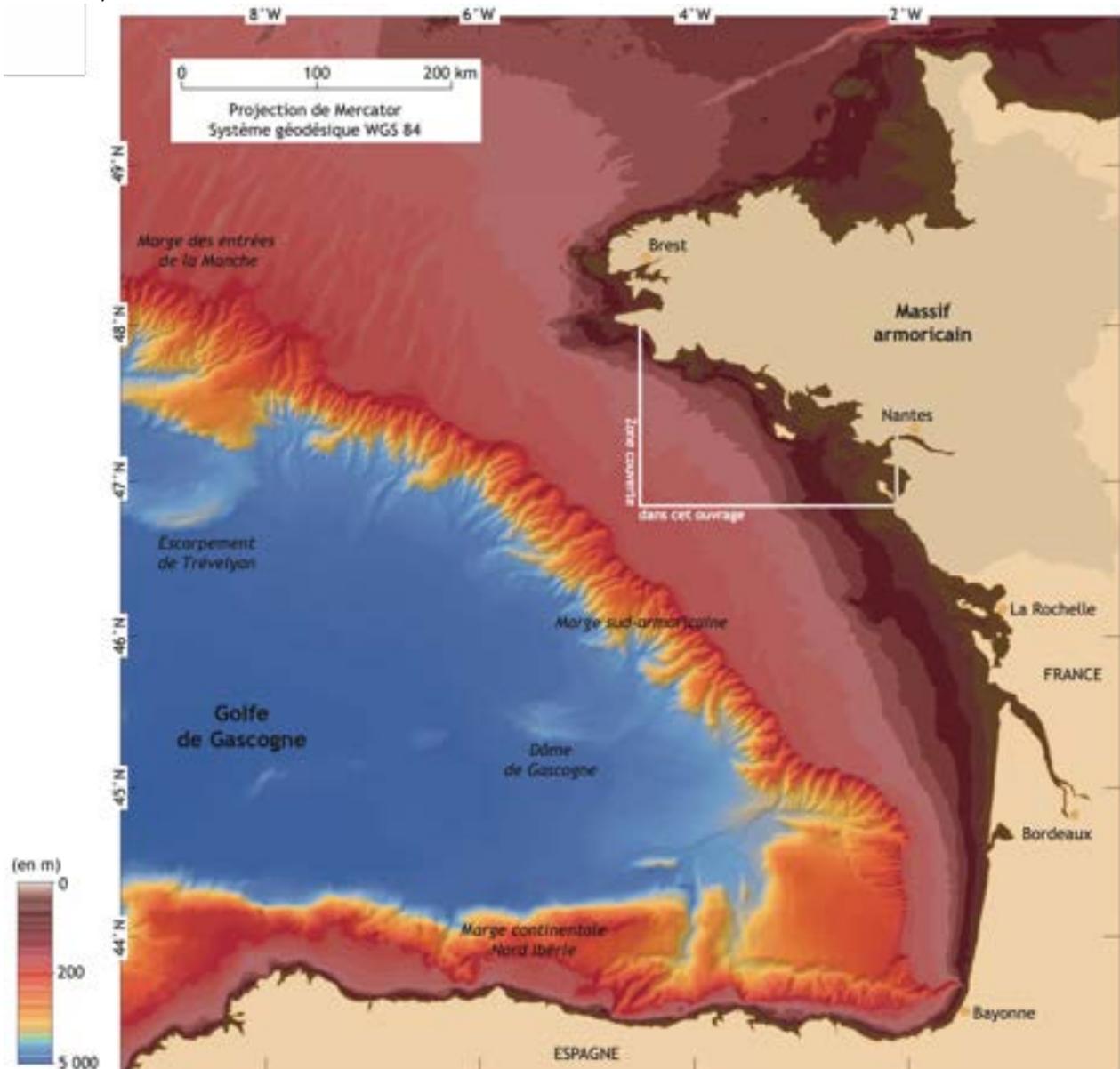


Figure 2 : Morpho-bathymétrie du Golfe de Gascogne (source Menier, 2014)

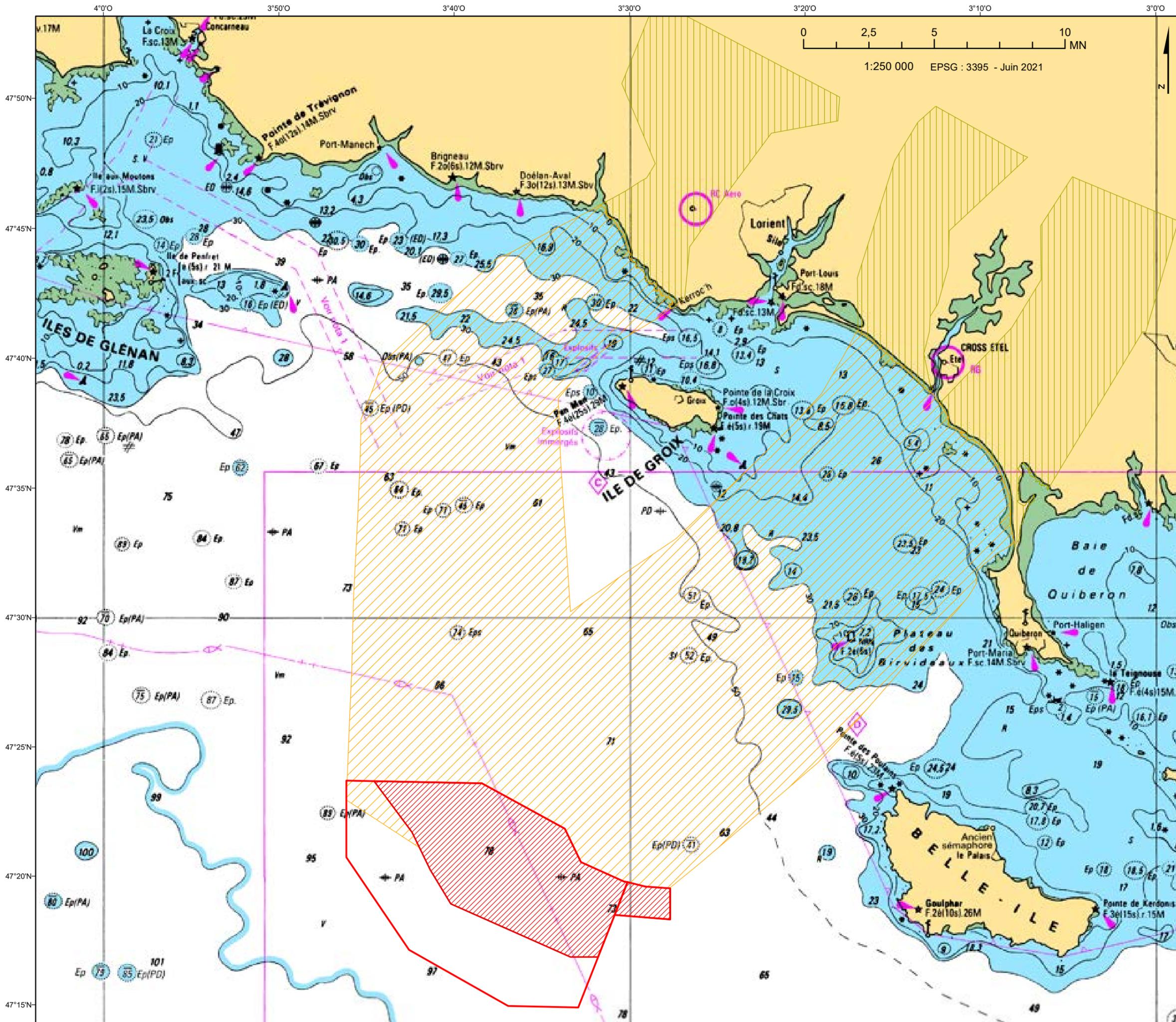
Planches 2A à E : Carte bathymétrique de la zone d'études (source SHOM)

Planches 3A & B : MNT Bathymétrique de la zone d'études (source SHOM)

Les cartes du secteur d'études et notamment le MNT montrent bien :

- ▷ Une zone côtière entre 0 et 30 m de fond, marqué par une « barrière » formée par les îles de l'Archipel des Glénan à l'Ouest, puis l'île de Groix jusqu'à Belle-île
- ▷ Une zone profonde intercalée entre les Glénan et Groix qui va jusqu'au large et le Sud de notre zone d'étude, avec des profondeurs entre 40 à 100m.

Le MNT permet aussi d'apercevoir les traces des paléovallées en partie comblées.



0 2,5 5 10 MN
1:250 000 EPSG : 3395 - Juin 2021



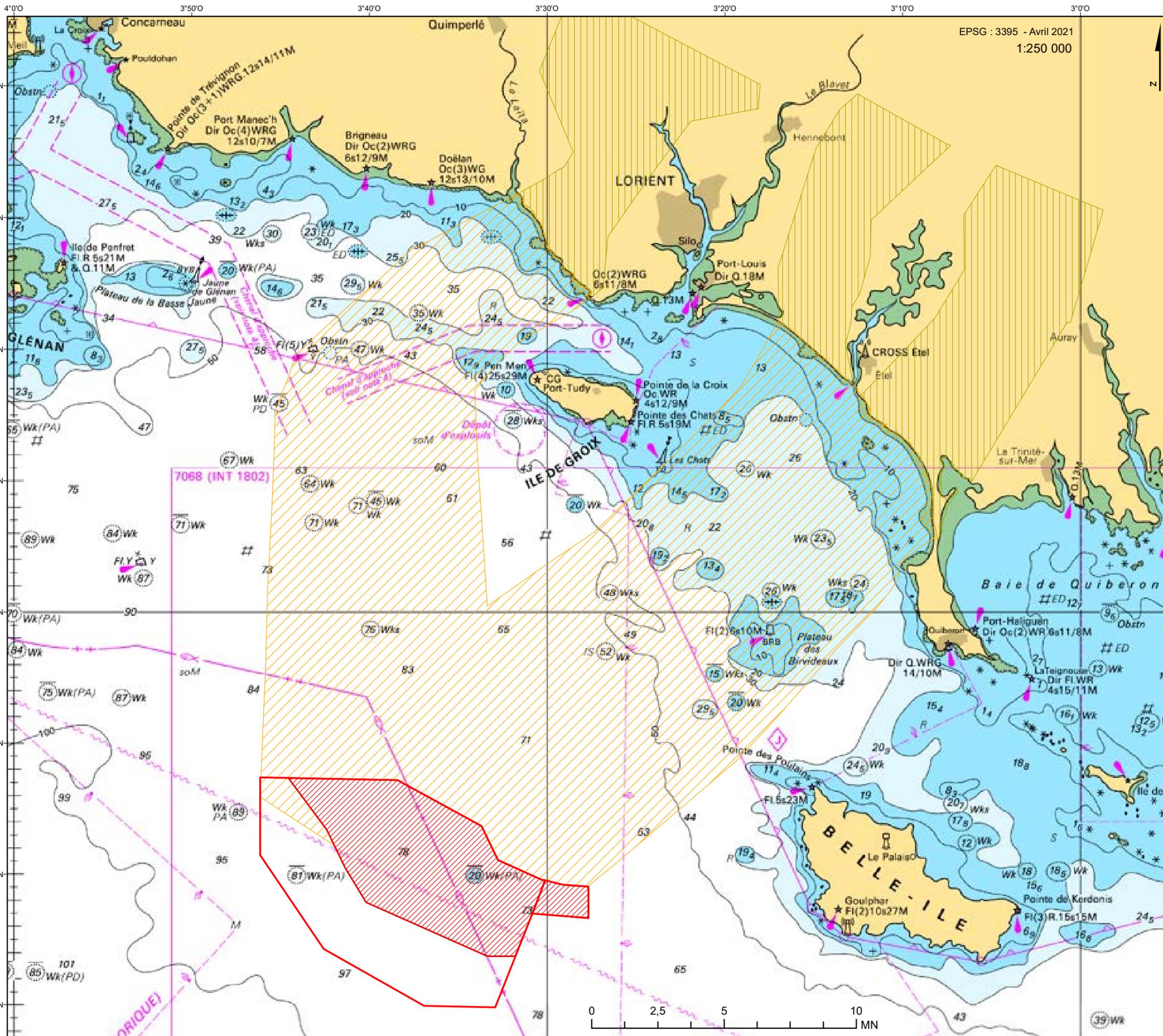
Carte 2A

Carte marine

Source : Carte marine SHOM n°6990

Zone d'étude
Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA

- Zone pour poursuite des études
- Zone pour dialogue concurrentiel
- Zone étudiée pour raccordement en mer
- Zone étudiée pour raccordement à terre



EPSG : 3395 - Avril 2021
1:250 000



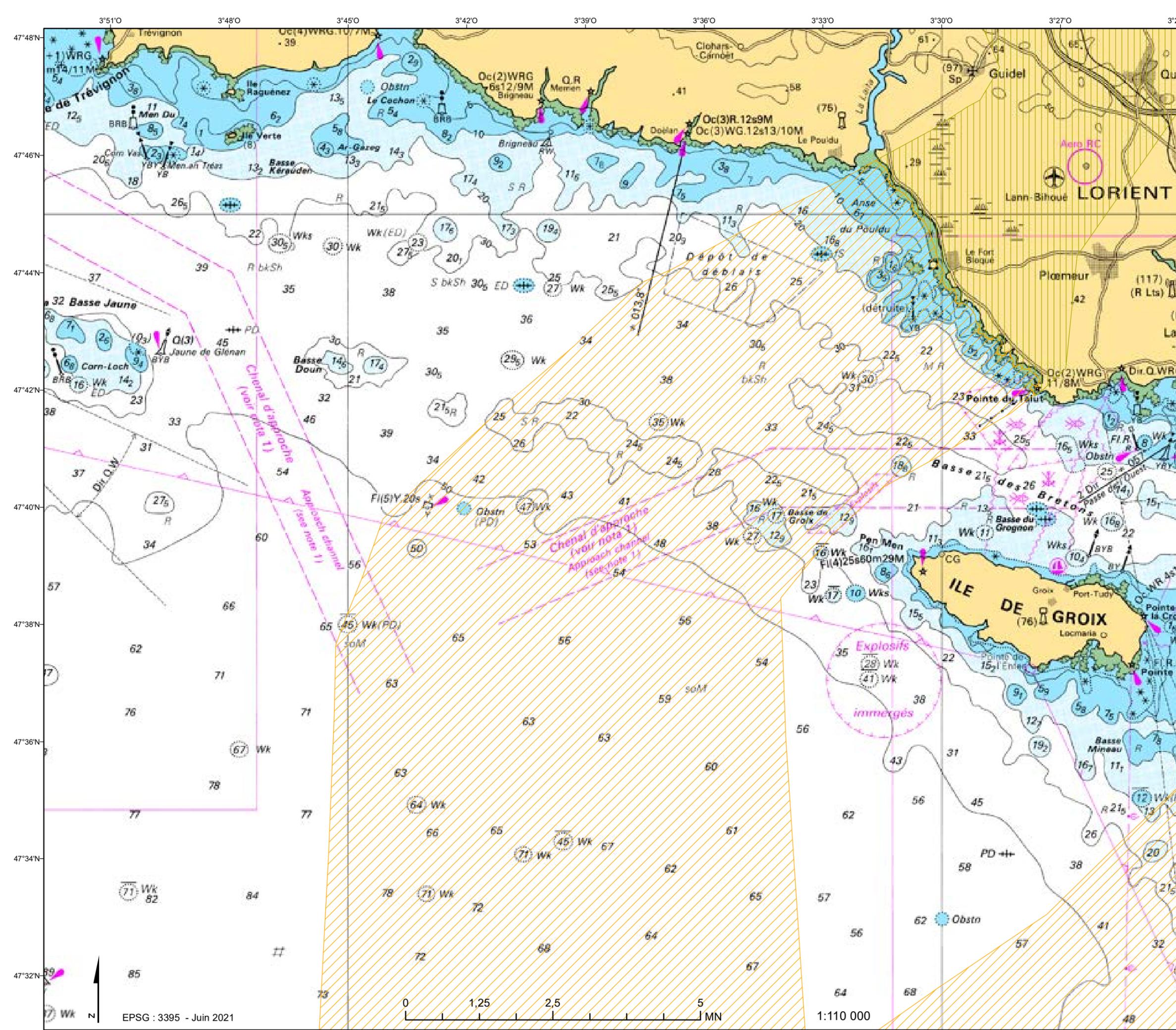
Carte 2B

Carte marine

Source : Carte marine SHOM n°7076

Zone d'étude
Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA

-  Zone pour poursuite des études
-  Zone pour dialogue concurrentiel
-  Zone étudiée pour raccordement en mer
-  Zone étudiée pour raccordement à terre



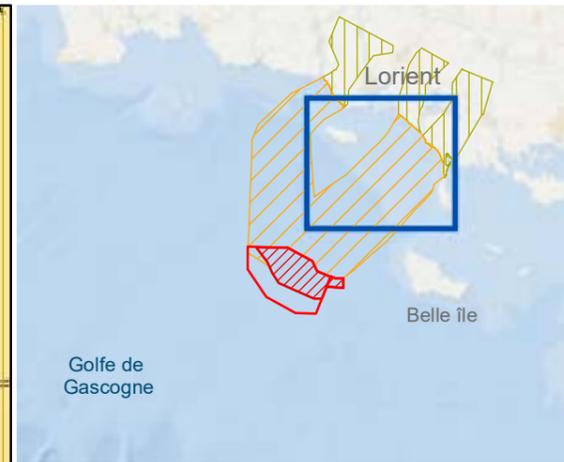
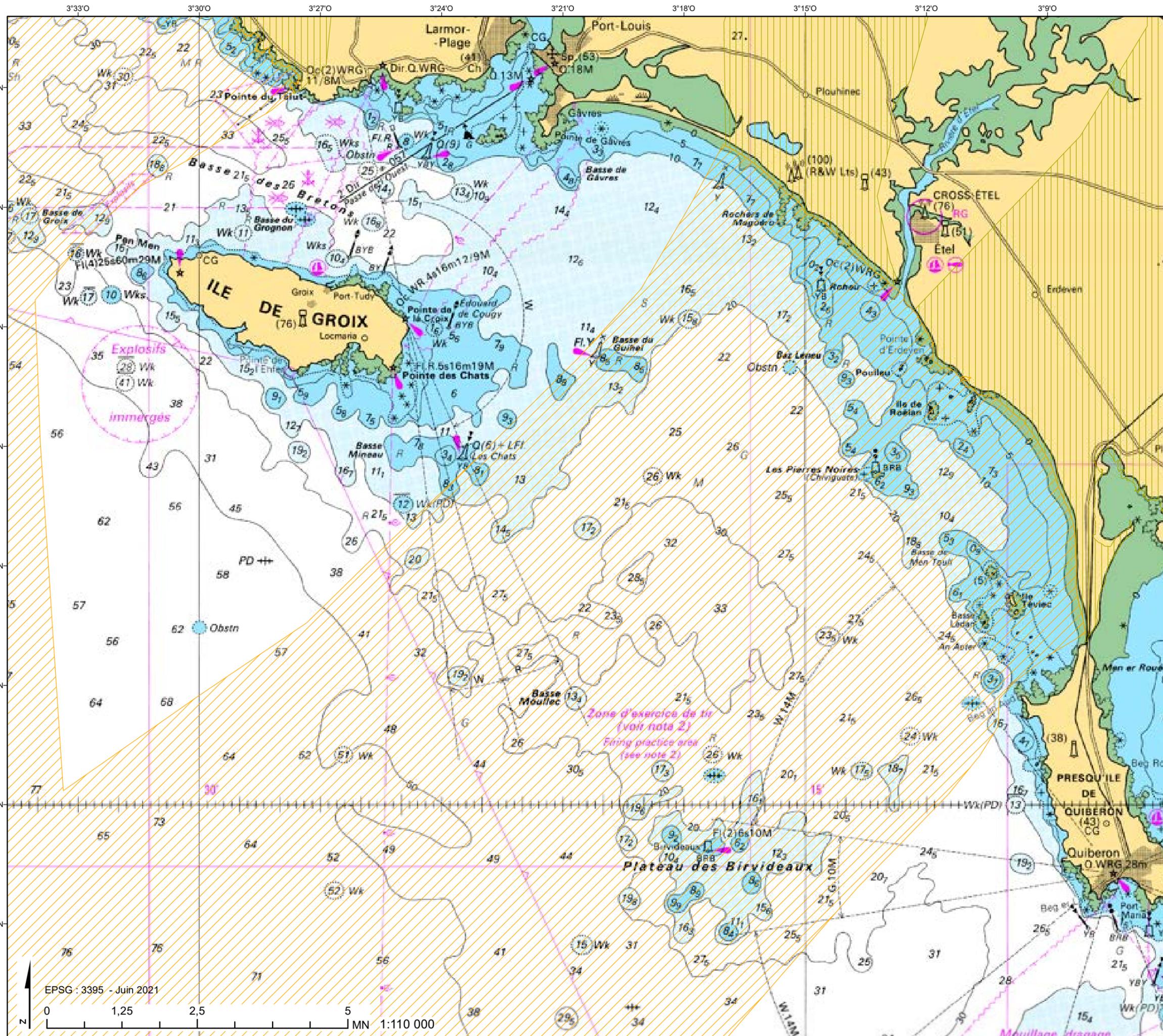
Carte 2C

Carte marine

Source : Carte marine SHOM n°7067

Zone d'étude
Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA

- Zone étudiée pour raccordement en mer
- Zone étudiée pour raccordement à terre
- Zone pour poursuite des études
- Zone pour dialogue concurrentiel



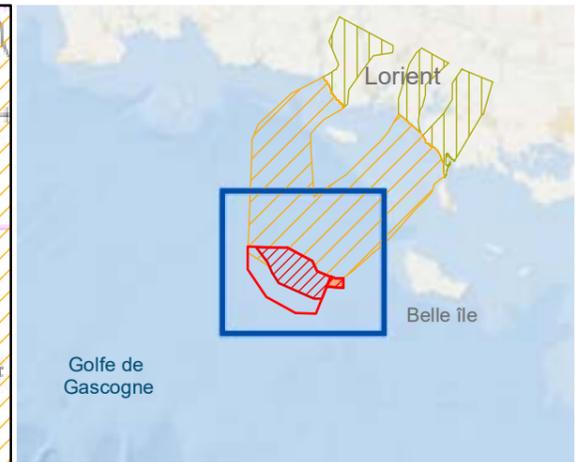
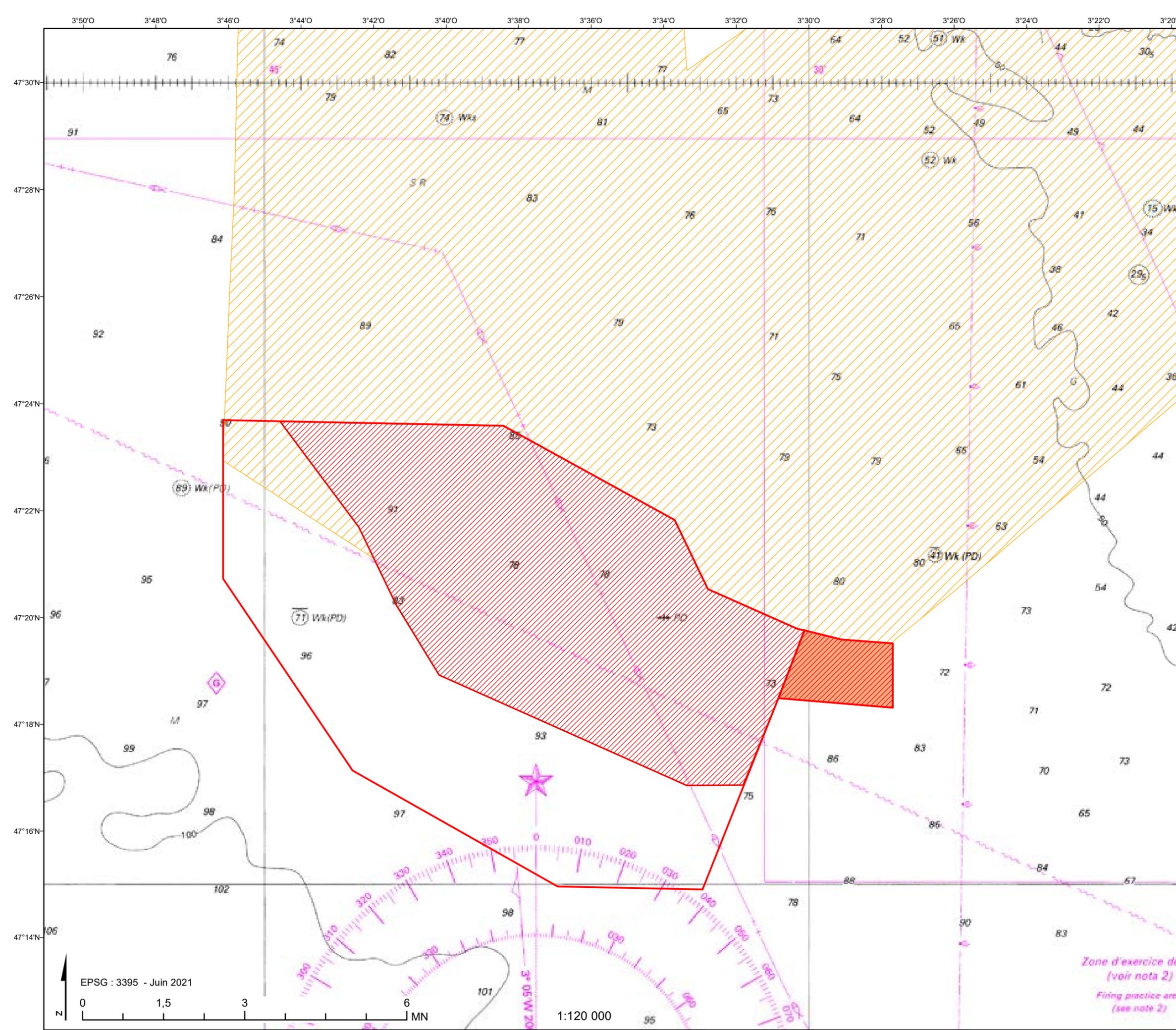
Carte 2D

Carte marine

Source : Carte marine SHOM n°7067

- Zone d'étude**
Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA
- Zone pour poursuite des études
 - Zone pour dialogue concurrentiel
 - Zone étudiée pour raccordement en mer
 - Zone étudiée pour raccordement à terre

EPSG : 3395 - Juin 2021
 0 1,25 2,5 5 MN 1:110 000



Carte 2E

Carte marine

Source : Carte marine SHOM n°7067

- Zone d'étude**
Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA
- Zone pour poursuite des études
 - Zone pour dialogue concurrentiel
 - Zone de vigilance pour enjeux paysagers
 - Zone étudiée pour raccordement en mer
 - Zone étudiée pour raccordement à terre

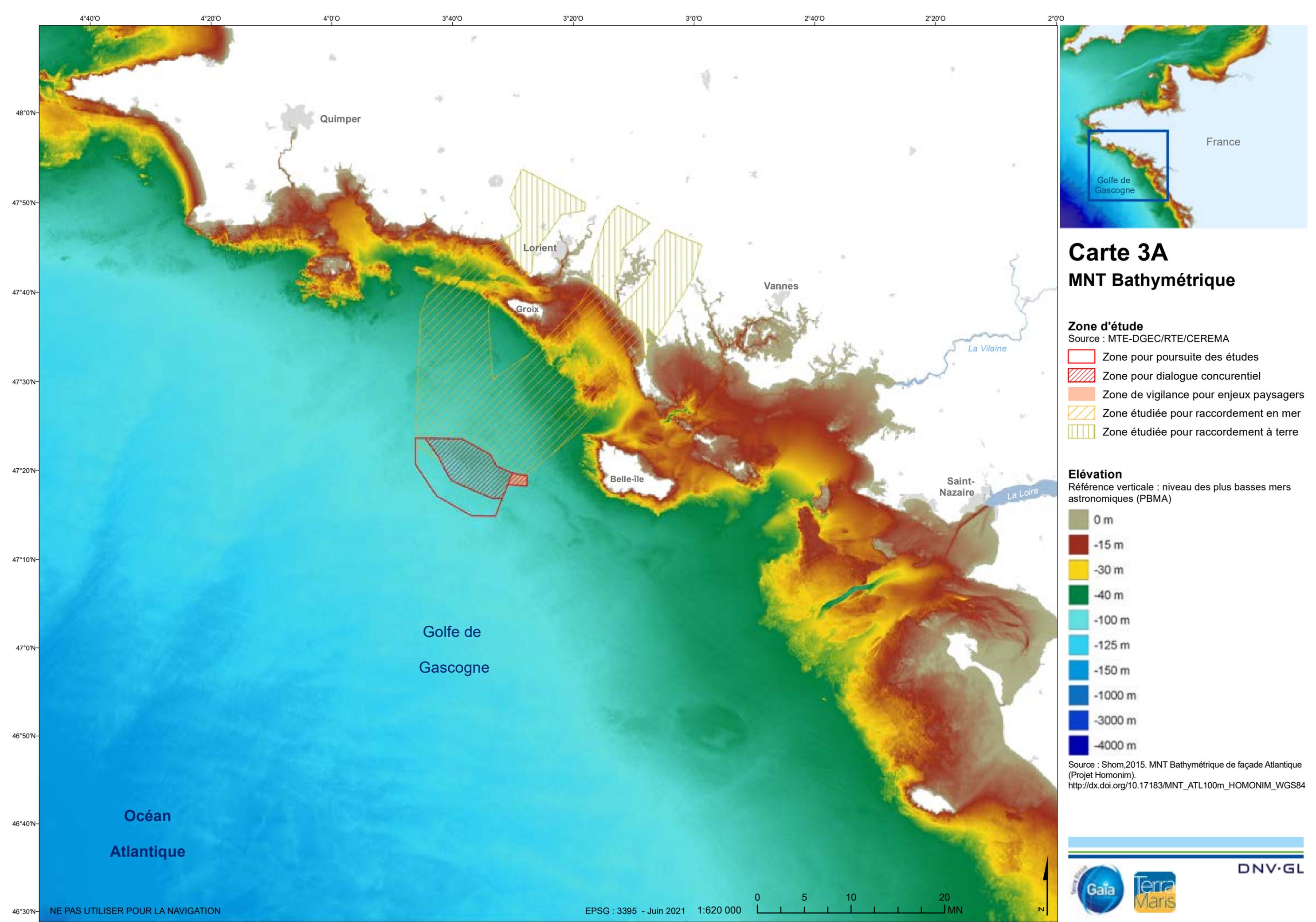
EPSG : 3395 - Juin 2021

0 1,5 3 6 MN

1:120 000

Zone d'exercice de
(voir nota 2)

Firing practice area
(see note 2)



Carte 3A

MNT Bathymétrique

Zone d'étude
 Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA

- Zone pour poursuite des études
- Zone pour dialogue concurrentiel
- Zone de vigilance pour enjeux paysagers
- Zone étudiée pour raccordement en mer
- Zone étudiée pour raccordement à terre

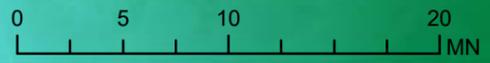
Élévation
 Référence verticale : niveau des plus basses mers astronomiques (PBMA)

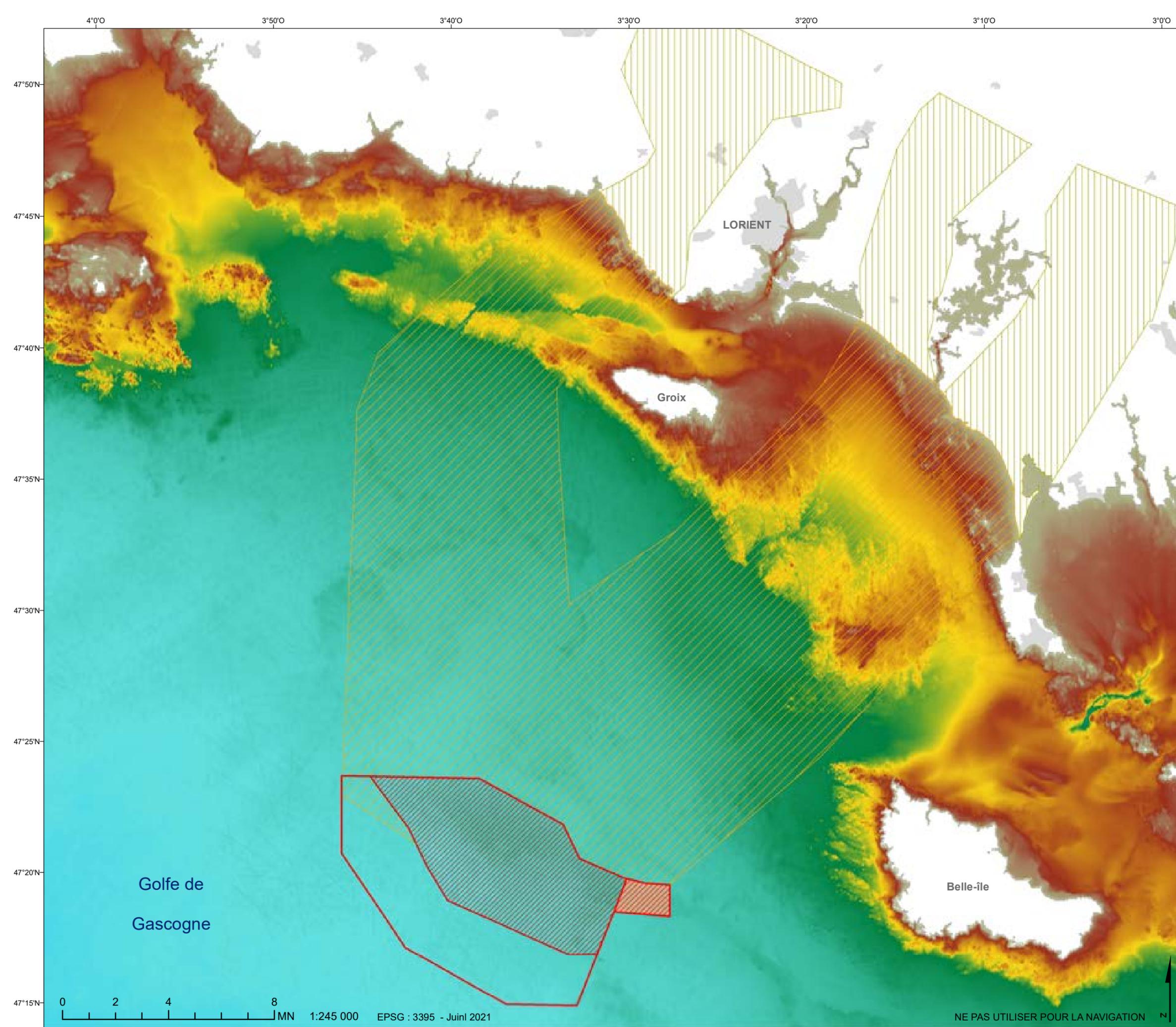
- 0 m
- 15 m
- 30 m
- 40 m
- 100 m
- 125 m
- 150 m
- 1000 m
- 3000 m
- 4000 m

Source : Shom,2015. MNT Bathymétrique de façade Atlantique (Projet Homonim).
http://dx.doi.org/10.17183/MNT_ATL100m_HOMONIM_WGS84

NE PAS UTILISER POUR LA NAVIGATION

EPSG : 3395 - Juin 2021 1:620 000





Carte 3B MNT Bathymétrique

- Zone d'étude**
Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA
-  Zone pour poursuite des études
 -  Zone pour dialogue concurrentiel
 -  Zone de vigilance pour enjeux paysagers
 -  Zone étudiée pour raccordement en mer
 -  Zone étudiée pour raccordement à terre

- Élévation**
Référence verticale : niveau des plus basses mers astronomiques (PBMA)
-  0 m
 -  -15 m
 -  -30 m
 -  -40 m
 -  -100 m
 -  -125 m
 -  -150 m
 -  -1000 m
 -  -3000 m
 -  -4000 m

Source : Shom, 2015. MNT Bathymétrique de façade Atlantique (Projet Homonim).
http://dx.doi.org/10.17183/MNT_ATL100m_HOMONIM_WGS84

NE PAS UTILISER POUR LA NAVIGATION

4 HYDRODYNAMISME ACTUEL

4.1 MARNAGE

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 (Cf. figure ci-dessous).

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 Belle île 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.

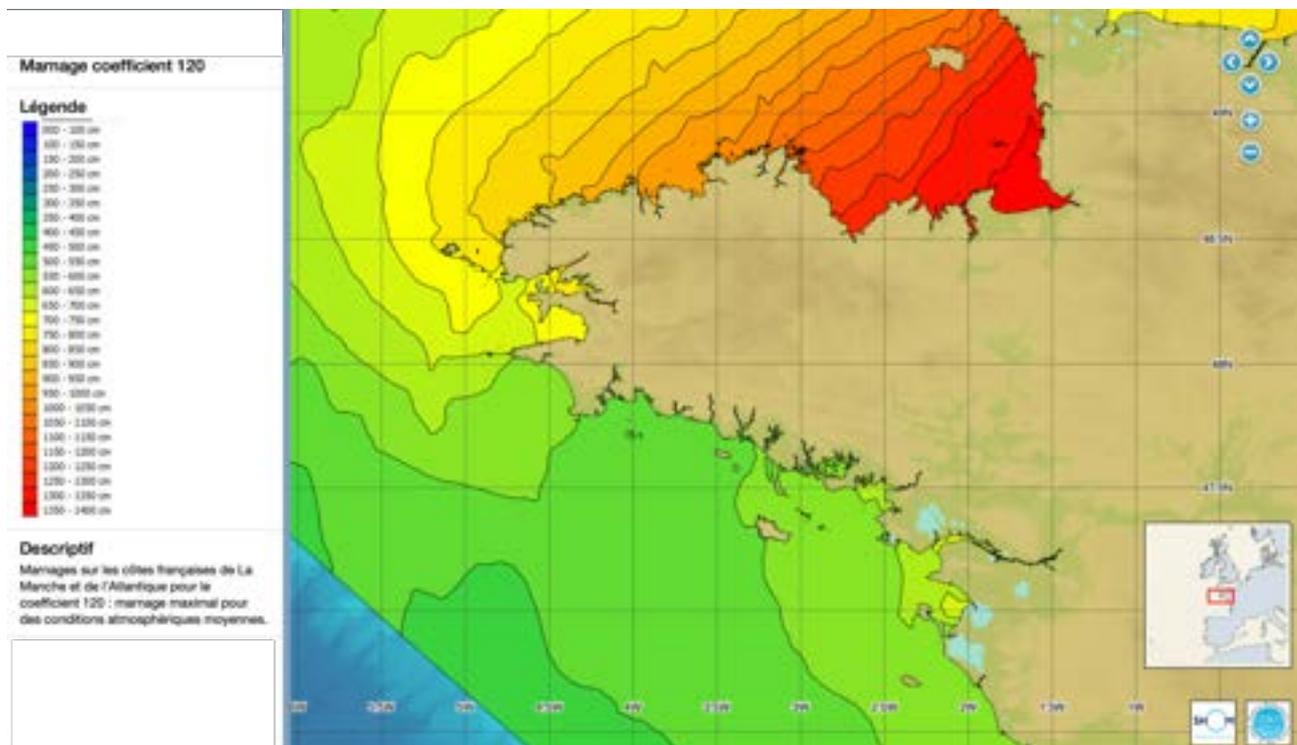


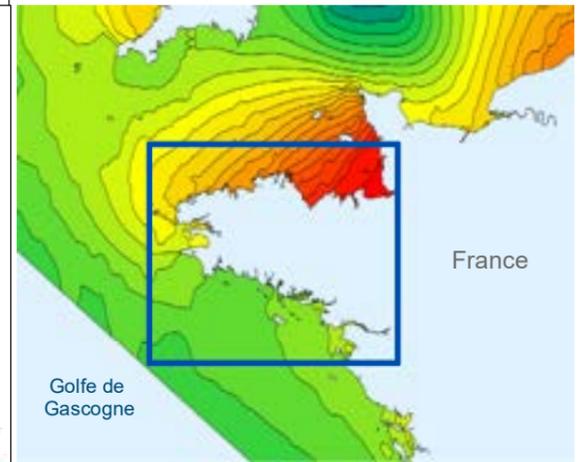
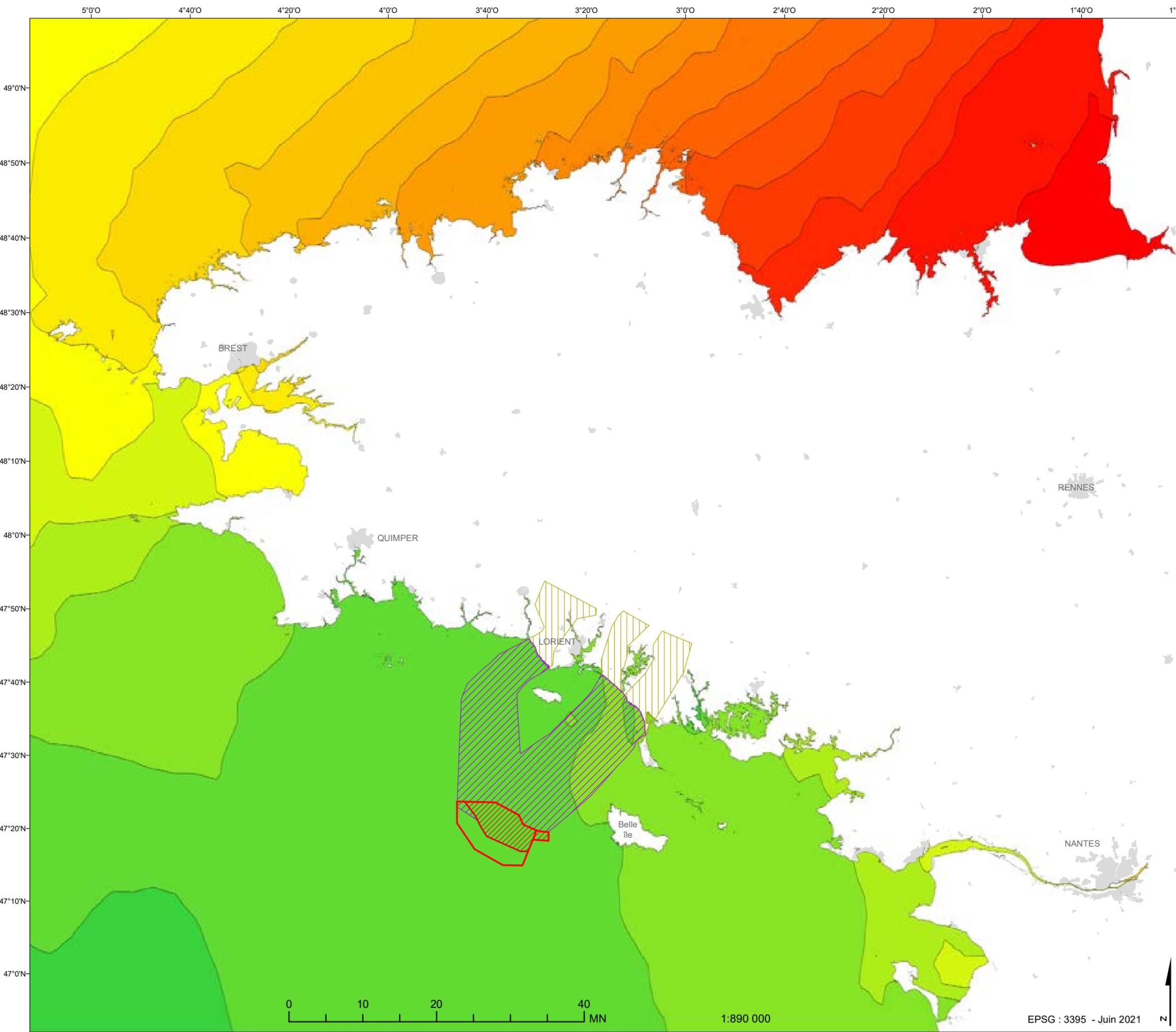
Figure 3 : Carte des isotidales (ligne de marnage pour le coefficient 120 théorique) (source SHOM)

Planche 4 : Marnage (source SHOM)

4.2 COURANTS DE MAREE

Les courants de marée sont globalement le paramètre forçant du transport sédimentaire. Sur la Bretagne Sud (et également sur la façade côtière de la Manche-Atlantique), ils sont dominants par rapport aux courants induits par les vagues ou par le vent.

Au large, au-delà des 12 milles de la côte, le courant, toujours inférieur à un nœud, est giratoire (c’est dire tourne dans le sens des aiguilles d’une montre en fonction de la marée et du passage de l’onde) 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



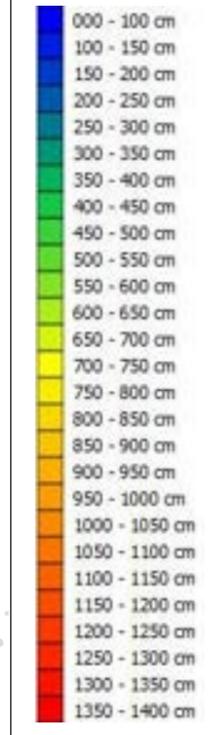
Carte 4

Marnage

Zone d'étude
 Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA

- Zone pour poursuite des études
- Zone pour dialogue concurrentiel
- Zone étudiée pour raccordement en mer
- Zone étudiée pour raccordement à terre

Marnage pour le coefficient de 120
 Source : SHOM - Marnages sur les côtes françaises de La Manche et de l'Atlantique pour le coefficient 120 : marnage maximal pour des conditions atmosphériques moyennes.



1:890 000

EPSG : 3395 - Juin 2021



courant de marée. Générés par les vents et les houles, ils peuvent être présents sur la zone d'études, y compris dans la partie située plus au large, au-delà des 12 milles.

À l'approche de la côte et particulièrement entre les îles (Glénan, Groix, Belle-Île) 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. À proximité des côtes, à l'ouverture 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.

Planche 5 : Courants de marée - vitesses maximales (source SHOM)

4.3 RAPPEL SUR LE TRANSPORT SEDIMENTAIRE

Le transport des sédiments peut être divisé en trois types :

- ▷ le transport en solution,
- ▷ le transport en suspension (qui peut être divisé en suspension uniforme et suspension graduelle)
- ▷ et le transport de fond ou transport par charriage.

La charge dissoute correspond aux ions (cations et anions, comme par exemple les ions K, Na, Ca) qui sont transportés en solution dans l'eau.

La charge en suspension et la charge de fond correspondent aux flux solides (particules).

La charge en suspension (Matière en suspension ou MES) est constituée par des matériaux dont la taille et la densité leur permettent, dans des conditions d'écoulement déterminées, de se déplacer sans toucher le fond. Le transport en suspension est en général constitué de matériaux fins, argiles et colloïdes et quelquefois de limons.

La charge de fond est formée de matériaux trop grossiers pour être mis en suspension à cause de leur densité et de la vitesse du courant. Ces particules glissent, roulent ou se déplacent par saltation (par saut) sur le fond.

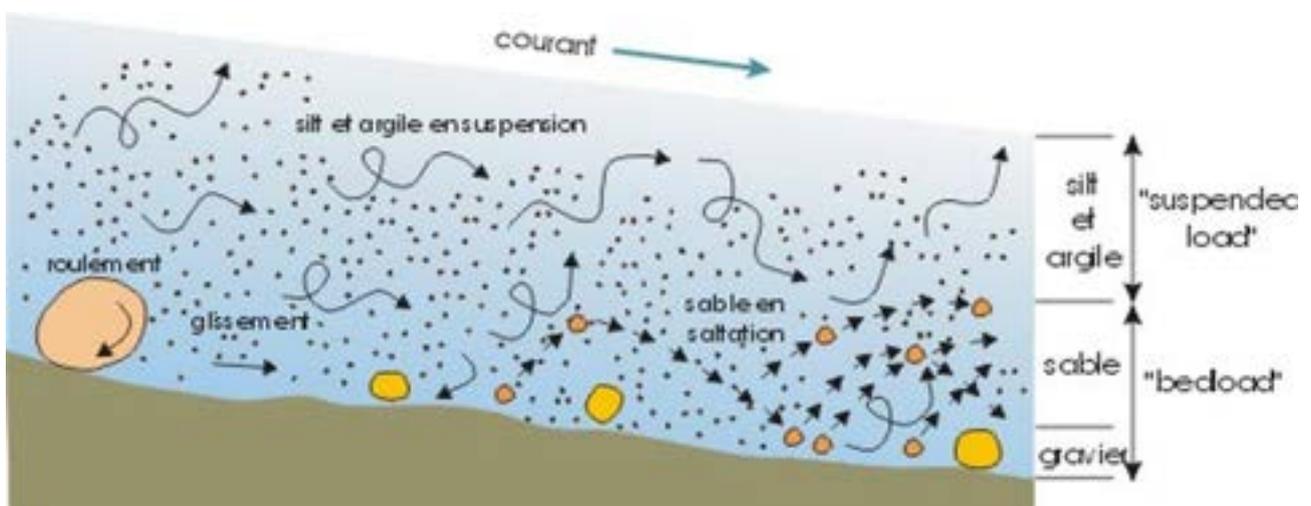
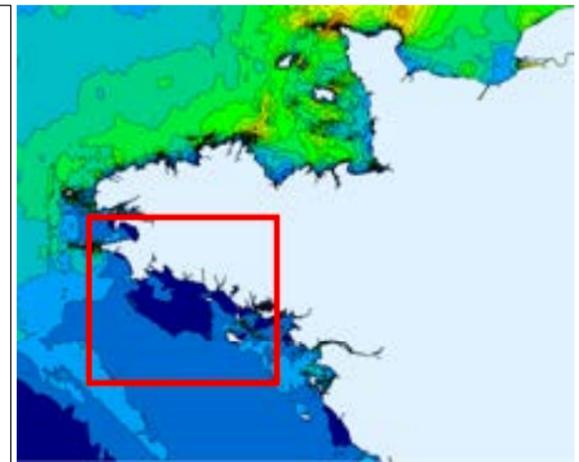


Figure 4 : modes de transport des particules dans un courant (source Web)



Source : SHOM - Ce produit contient, sous forme maillée, l'ensemble des fichiers numériques du Shom relatif aux courants de marée des côtes françaises métropolitaines de la Manche et de la façade Atlantique. Ces fichiers numériques indiquent les composantes du courant de marée de surface, heure par heure et pour deux coefficients de marée caractéristiques (45 et 95) ainsi que les vitesses de courant maximales en vive-eau moyenne.

Carte 5

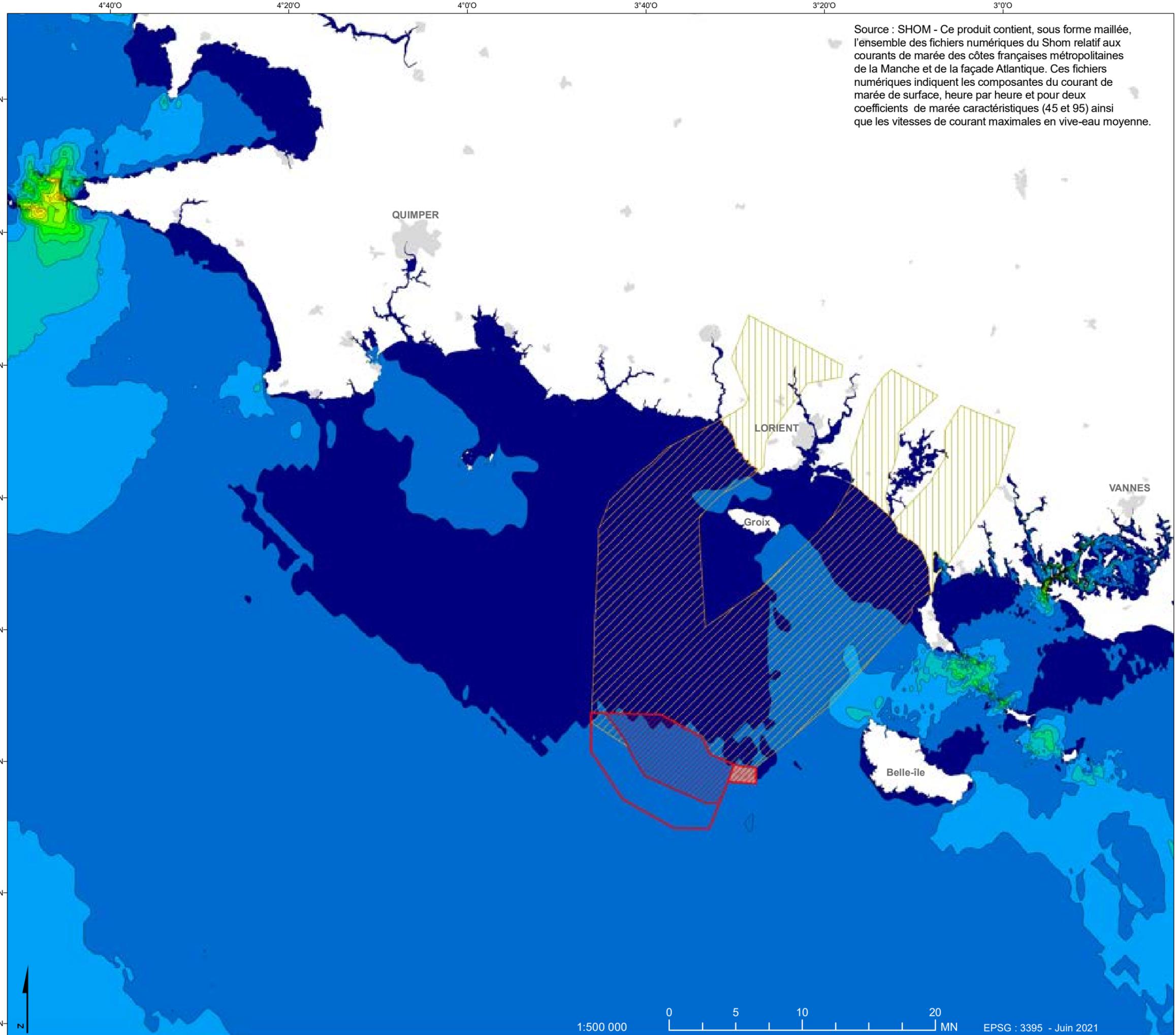
Courants 2D

Vitesses maximales

- Zone d'étude**
Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA
-  Zone pour poursuite des études
 -  Zone pour dialogue concurrentiel
 -  Zone de vigilance pour enjeux paysagers
 -  Zone étudiée pour raccordement en mer
 -  Zone étudiée pour raccordement à terre

Courants - Vitesses maximales

- Source : SHOM
-  inf. à 0,5 nd
 -  de 0,50 à 1,00 nd
 -  de 1,00 à 1,50 nds
 -  de 1,50 à 2,00 nds
 -  de 2,00 à 2,50 nds
 -  de 2,50 à 3,00 nds
 -  de 3,00 à 3,50 nds
 -  de 3,50 à 4,00 nds
 -  de 4,00 à 4,50 nds
 -  de 4,50 à 5,00 nds
 -  de 5,00 à 5,50 nds
 -  de 5,50 à 6,00 nds
 -  de 6,00 à 6,50 nds
 -  de 6,50 à 7,00 nds
 -  de 7,00 à 7,50 nds
 -  de 7,50 à 8,00 nds
 -  de 8,00 à 8,50 nds
 -  de 8,50 à 9,00 nds
 -  de 9,00 à 9,50 nds
 -  de 9,50 à 10,00 nds
 -  sup. à 10,00 nds



La granulométrie des particules sédimentaires a donc une influence majeure sur leur transport (et sur leur vitesse de sédimentation). Ces relations sont synthétisées par le diagramme de Hjulstrom . Ce graphe (essentiellement basé sur des expériences en laboratoire) montre la vitesse minimale d'un courant nécessaire pour mobiliser, transporter et déposer des grains de quartz de granulométrie variable. Si l'on examine d'abord la partie supérieure de ce graphe (érosion des particules), la portion de la courbe représentant l'érosion des particules moyennes à grossières (sable fin à galets) semble logique : la vitesse du courant nécessaire pour mobiliser des grains augmente avec leur granulométrie.

Pour les particules fines, par contre, la courbe montre une augmentation de la vitesse du courant avec la diminution de la granulométrie. Ce comportement paradoxal est la conséquence de la cohésion élevée des particules fines, surtout liée à un effet électrostatique. La partie inférieure du graphe montre la relation entre la granulométrie des particules et la vitesse du courant lors de leur dépôt.

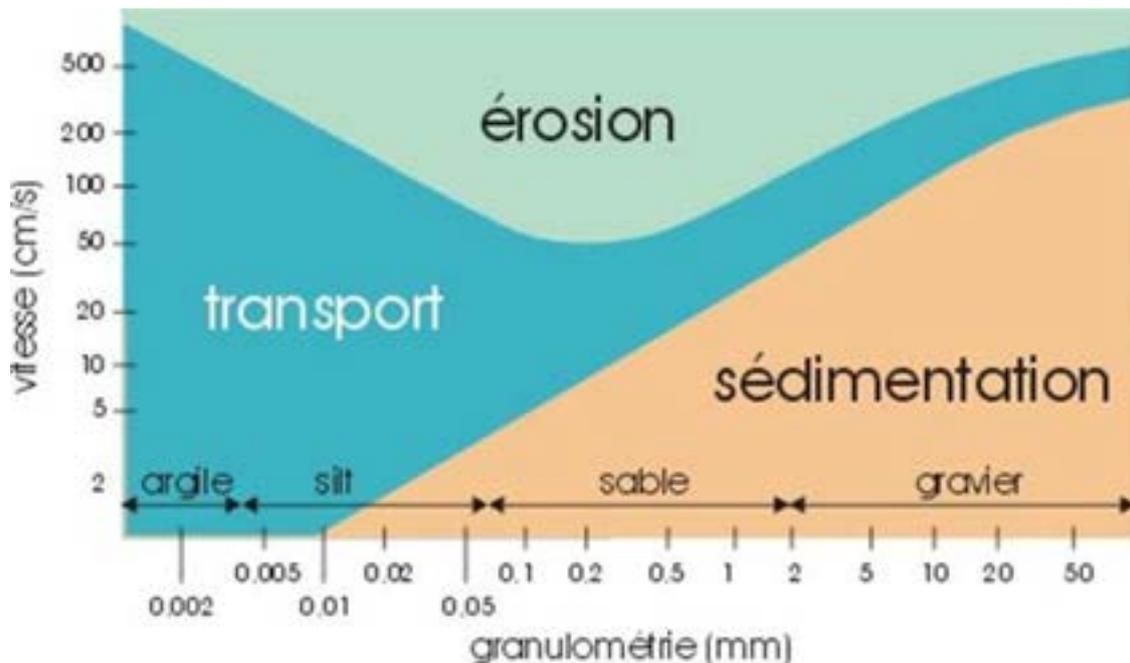


Figure 5 : diagramme d'Hjulstrom (source Web)

4.4 RAPPEL SUR LA GRANULOMETRIE

La granulométrie est la taille des grains des sédiments. La table suivante définit les classes par taille.

Dénomination	classe	Diamètre des grains
Vases	Colloïdes	< 0,12 µm
	Précolloïdes	0,12 – 4 µm
	Silts	4 – 63 µm
Sables	Sables très fins	63 – 125 µm
	Sables fins	125 - 250 µm
	Sables moyens	250 – 500 µm
	Sables grossiers	500 – 1 000 µm
	Sables très grossiers	1 – 2 mm
Graviers, galets, cailloutis et blocs	Graviers	2 – 20 mm
	Galets / Cailloutis	20 – 200 mm
	Blocs	> 200 mm

Tableau 1 : Classification granulométrique générale (Migniot, 1987) A noter que les couleurs dans le tableau renvoient aux couleurs des cartes sédimentaires

Le SHOM donne également une définition quantitative pour ces cartes :

Sédiment :	Ensemble constitué par la réunion de particules, détritiques ou biogènes, plus ou moins grossières ayant subi un transport par un ou plusieurs agents de transport.
Cailloutis :	Sédiments contenant de 50 à 100% de particules supérieures à 20 millimètres.
Cailloutis graviers :	Sédiments contenant des cailloutis et de 15 à 50% de graviers.
Graviers :	Sédiments contenant de 50 à 100% de particules comprises entre 20 et 2 millimètres.
Sables graviers :	Sédiments contenant des sables et de 15 à 50% de graviers.
Sables :	Sédiments contenant de 50 à 100% de particules comprises entre 2 et 0,5 millimètres.
Sables vaseux :	Sables contenant entre 5 et 20% de particules inférieures à 0,05 millimètres.
Sables fins :	Sédiments contenant de 50 à 100% de particules comprises entre 0,5 et 0,05 millimètres.
Sables fins vaseux :	Sables fins contenant entre 5 et 20% de particules inférieures à 0,05 millimètres.
Vases :	Sédiments contenant de 20 à 100% de particules inférieures à 0,05 millimètres.

Tableau 2 : Notice des cartes de Natures de Fond (source SHOM)

5 CARACTERISTIQUE DE LA NATURE DES FONDS

5.1 CARACTERISATION GENERALE (SOURCE SHOM)

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 composée 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-Île-en-Mer et de Noirmoutier (voir figure 3).

Planche 6 : Carte sédimentaire du SHOM

Planche 7 : Habitats physiques de type EUNIS des fonds marins (source Ifremer)

5.2 ÉPAISSEUR DE SEDIMENT AU-DESSUS DU SUBSTRATUM

5.2.1 Généralités

Les sédiments marins que l'on observe actuellement sur les fonds des espaces côtiers se sont accumulés à la faveur de processus continentaux ou marins.

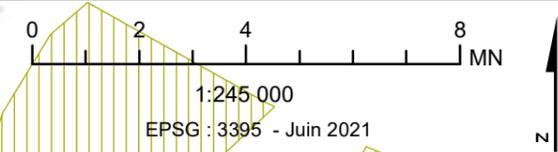
Dans le premier cas, c'est-à-dire **un processus continental**, il s'agit le plus souvent **d'alluvions**. Les alluvions résultent de l'altération et de l'érosion de roches, puis de leur transport et dépôt dans les vallées d'un ancien réseau fluvial, creusé au cours des phases de régression du Quaternaire (périodes glaciaires), lorsque le plateau continental était émergé.

Dans le second cas, c'est-à-dire un **processus marin**, il s'agit de **dunes hydrauliques** d'importance variable, formées par les courants de marée qui ont redistribué une partie des sédiments. Dans les régions à hydrodynamisme fort (la Manche par exemple), les fonds sont composés de graviers et galets dans lesquels vivent des organismes dont les tests calcaires sont repris par les courants et déposés dans des zones de moindre énergie à la mort de l'animal. Ces accumulations prennent la forme de dunes et sont essentiellement calcaires. Il peut également s'agir d'anciens cordons littoraux établis

4°0' 3°50' 3°40' 3°30' 3°20' 3°10' 3°0'

Carte 6

Carte sédimentaire SHOM



Zone d'étude

Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA

- Zone pour poursuite des études
- Zone pour dialogue concurrentiel
- Zone étudiée pour raccordement en mer
- Zone étudiée pour raccordement à terre

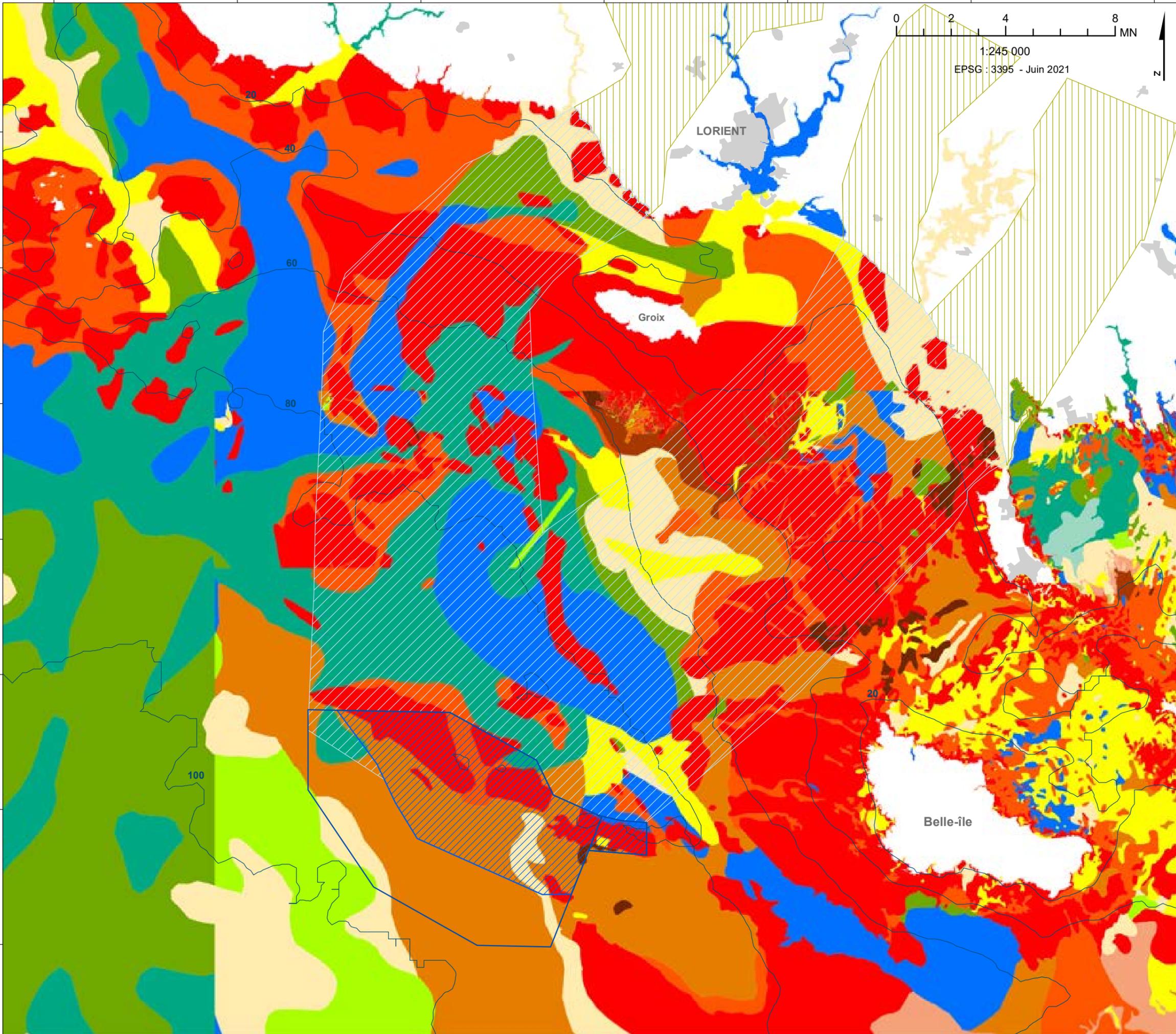
— Isobathe

Source : © Ifremer-SHOM, © British Crown and Seazone Solutions Limited, 2010 - Isobathes d'intervalle 20m issues du MNT de Bathy-morphologie régionale du Golfe de Gascogne et de la Manche dont la résolution est de 500m.

Carte sédimentaire

Source : SHOM - Carte sédimentaire mondiale

- Argiles
- Argiles Silts
- Cailloutis
- Cailloutis Gravieres
- Cailloutis Sables
- Cailloutis Vases
- Gravieres
- Gravieres Cailloutis
- Gravieres Sables
- Gravieres Vases
- Roches
- Sables
- Sables Cailloutis
- Sables fins
- Sables fins Cailloutis
- Sables fins Vases
- Sables Gravieres
- Sables fins Gravieres Vases
- Sables fins Silts
- Sables Vases
- Silts
- Silts Argileux
- Vases
- Vases Gravieres
- Vases Sables
- Vases Sables fins



47°45'N
47°40'N
47°35'N
47°30'N
47°25'N
47°20'N
47°15'N

4°0' 3°50' 3°40' 3°30' 3°20' 3°10' 3°0'

Source : Hamdi Anouar, Vasquez Mickael, Populus Jacques (2010). Cartographie des habitats physiques Eunis - Côtes de France. Convention Ifremer/AAMP n° 09/1217764/FY. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00026/13751/>

Carte 7

Carte d'habitats physiques des fonds marins Echelle 1 / 300 000 - Version 2011

Zone d'étude

Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA

-  Zone pour poursuite des études
-  Zone pour dialogue concurrentiel
-  Zone étudiée pour raccordement en mer
-  Zone étudiée pour raccordement à terre

 Isobathe (Source : shom - ifremer)

Sources : SHOM - Ifremer - British Crown and Seazone Solutions Limited, 2010

Habitats physiques dans la typologie EUNIS

Source : Ifremer - Aamp

-  A1 : Littoral rock and other hard substrata
-  A2 : Littoral sediment
-  A2.3 : Littoral mud
-  A3.1 : High energy infralittoral rock
-  A3.2 : Moderate energy infralittoral rock
-  A3.3 : Low energy infralittoral rock
-  A4.1 : High energy circalittoral rock
-  A4.2 : Moderate energy circalittoral rock
-  A4.3 : Low energy circalittoral rock
-  A5.13 : Infralittoral coarse sediment
-  A5.14 : Circalittoral coarse sediment
-  A5.15 : Deep circalittoral coarse sediment
-  A5.23 : Infralittoral fine sand
-  A5.24 : Infralittoral muddy sand
-  A5.25 : Circalittoral fine sand
-  A5.26 : Circalittoral muddy sand
-  A5.27 : Deep circalittoral sand
-  A5.33 : Infralittoral sandy mud
-  A5.34 : Infralittoral fine mud
-  A5.35 : Circalittoral sandy mud
-  A5.36 : Circalittoral fine mud
-  A5.37 : Deep circalittoral mud
-  A5.43 : Infralittoral mixed sediments
-  A5.44 : Circalittoral mixed sediments
-  A5.45 : Deep circalittoral mixed sediments



47°45'N
47°40'N
47°35'N
47°30'N
47°25'N
47°20'N
47°15'N

20
40
60
80
100

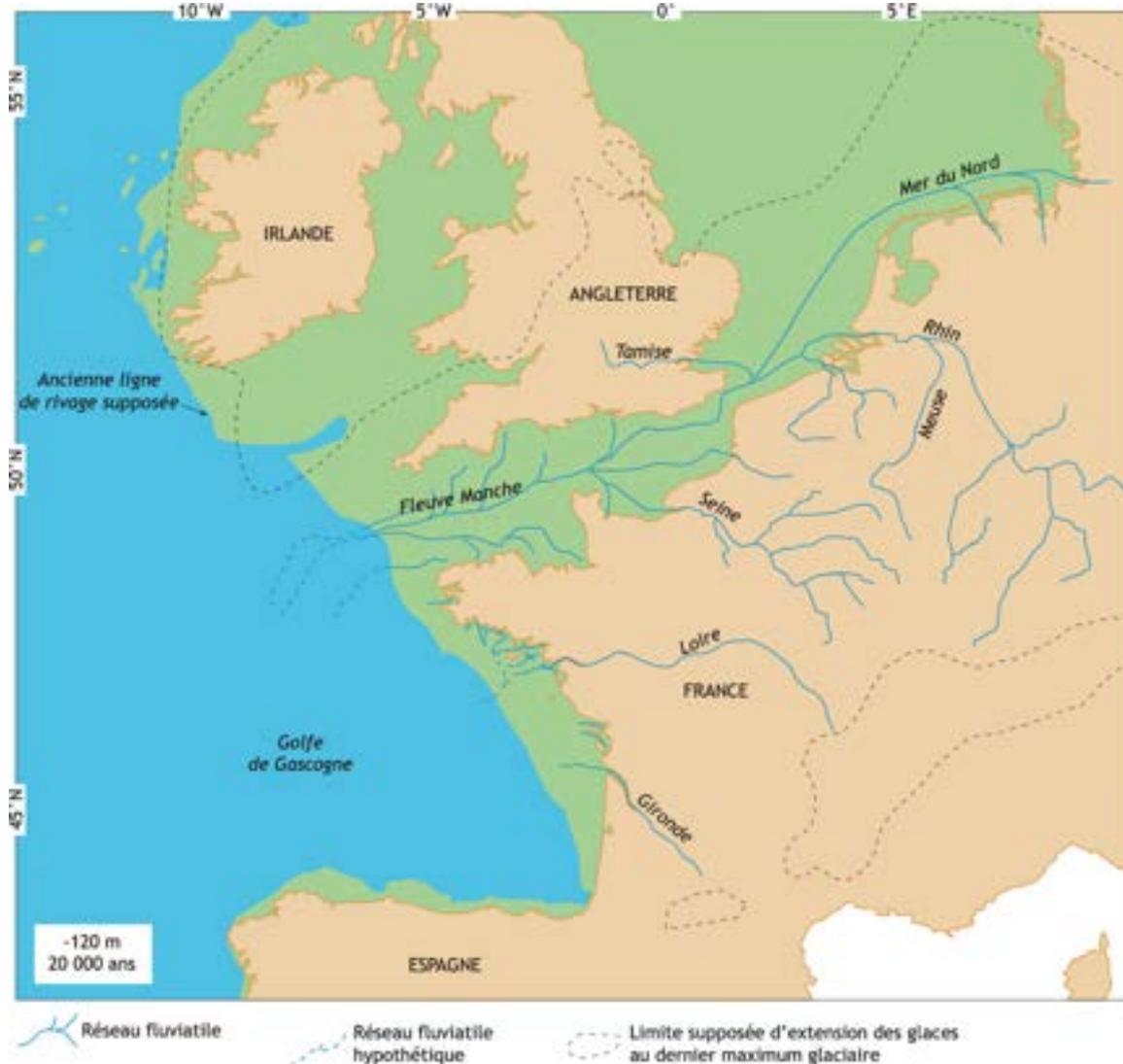
Groix

Belle île

0 2,5 5 10 MN

1:245 000 EPSG : 3395 - Juin 2021

en période de bas niveau marin et pendant les transgressions marines lors de la stagnation du niveau de la mer. Ces dépôts sont constitués de galets ou de sables graveleux, et sont plus nombreux sur les plateaux continentaux ayant un gradient de pente faible.



5.2.2 Application à la Bretagne Sud

Le Quaternaire correspond au début des cycles glaciaires (Cf. figure 7) et donc à un changement climatique général vers 2,4 millions d'années. On constate une alternance de périodes froides et de réchauffements (périodes tempérées ou interglaciaires). Pendant les périodes froides, la ligne de rivage va être plus basse que l'actuel et, sur les parties continentales, un gel va provoquer la fracturation des roches affleurantes et leur transit sur les versants, par cryoturbation, fauchage et gélifluxion (heads). Pendant les périodes tempérées interglaciaires, les niveaux des mers vont être proches de l'actuel.

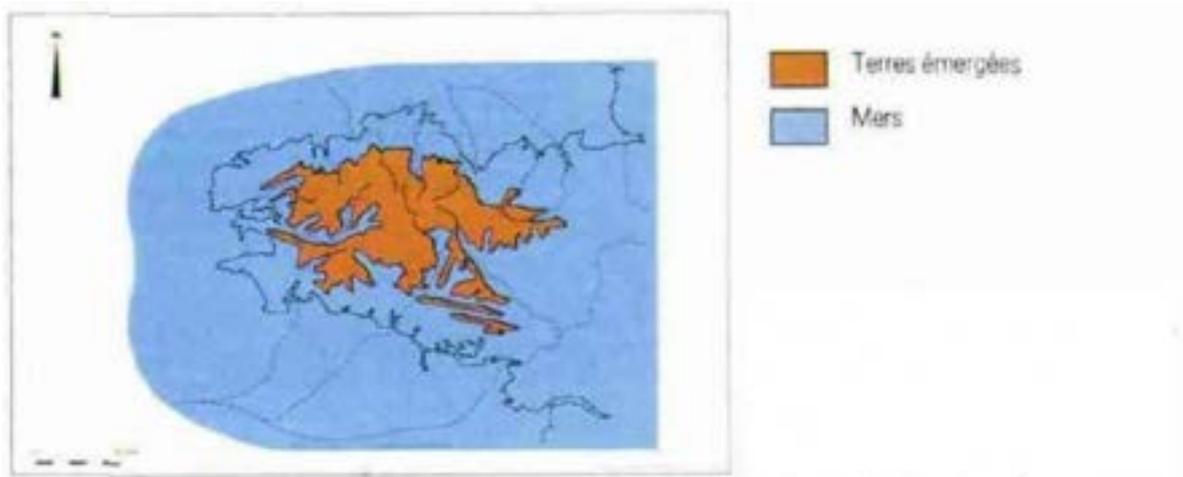


Figure 7 : La côte bretonne au début du Quaternaire. Le niveau de la mer atteint l'altitude + 100 m, seule une partie de la Bretagne reste émergée (en marron) (source SIGES Bretagne)

L'Holocène (interglaciaire actuel) marque le retour d'un climat tempéré depuis 10 000 ans environ. Même si la fin de la dernière glaciation est mal connue, on dispose de nombreuses informations sur la flore et les variations du niveau marin depuis 8 000 ans (Morzadec-Kerfourn, 1974). La ligne du rivage est ainsi remontée de 80 m CM jusqu'au 0 m CM actuel.

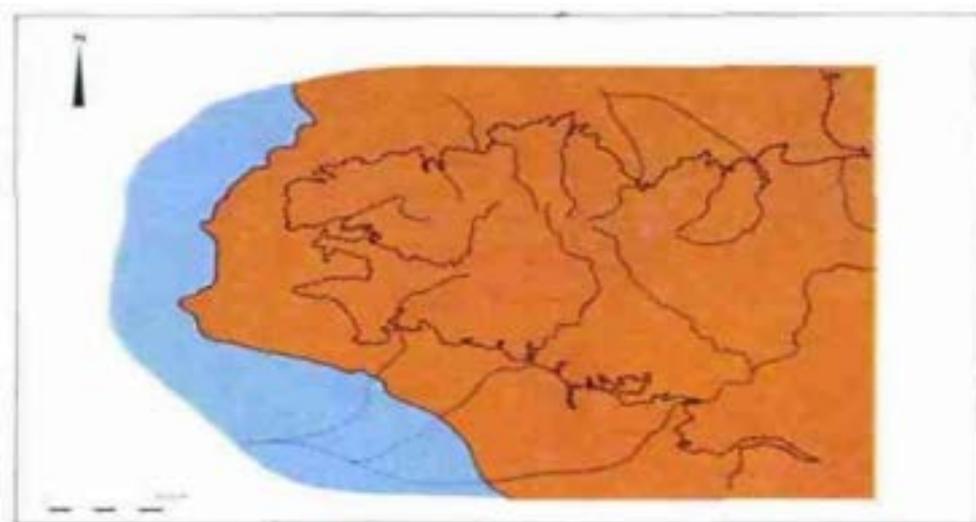


Figure 8 : La côte bretonne pendant les dernières glaciations (source SIGES Bretagne)

De ce fait, les principales vallées des rivières côtières actuelles se prolongent en mer, ce réseau de paléovallées ennoyées ayant été creusé lors de périodes froides, en relation avec les abaissements importants du niveau marin (Cf. figure 8).

Ces paléovallées ont été ensuite progressivement comblées par les apports terrigènes en même temps que la remontée des eaux marines. Ces paléovallées 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).

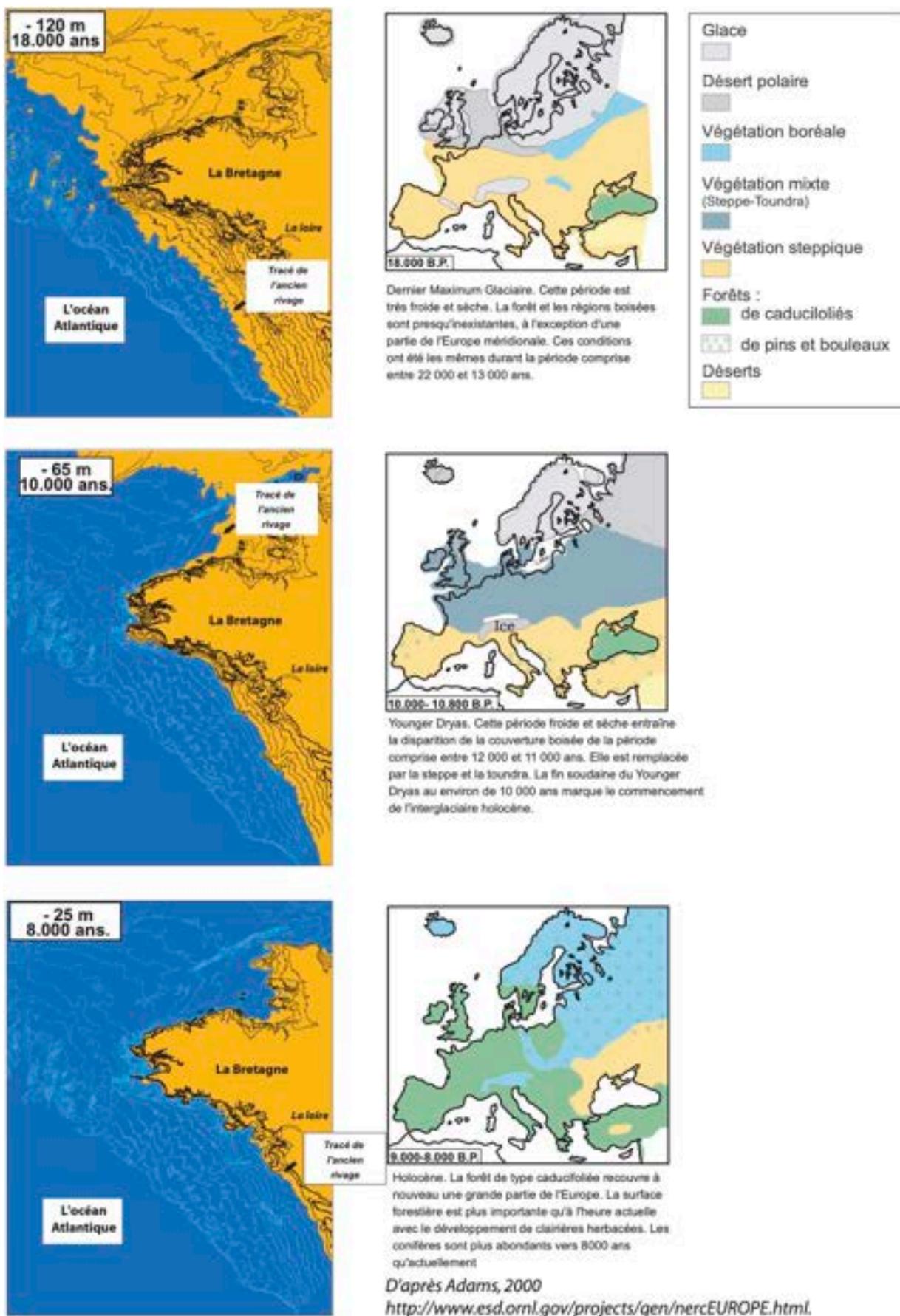


Figure 9 : Variations de la ligne de rivage et reconstitution paléoenvironnementale de l'Europe de l'Ouest du Dernier Maximum Glaciaire au début de l'Holocène (source Menier 2003)

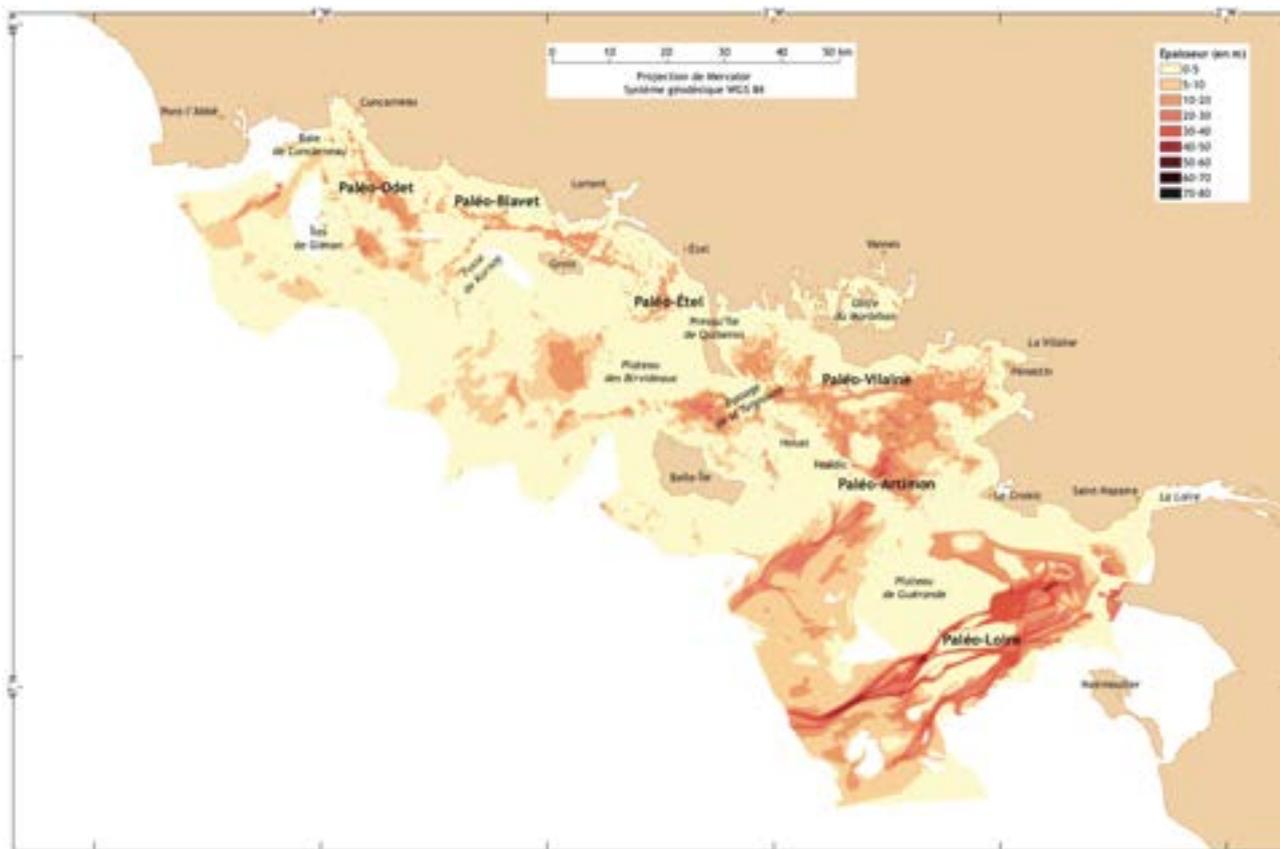


Figure 10 : Remplissage sédimentaire plio-quaternaire en Bretagne Sud (source Menier, 2014)

	Baie de Concarneau	Façade Lorient - Étel		Façade Quiberon - Vilaine		Grande rade de la Loire
	Paléo-Odet	Paléo-Blavet	Paléo-Étel	Paléo-Vilaine	Paléo-Artimon	Paléo-Loire
Réseau de drainage (incision du substratum)						
Contexte	Abri par hauts-fonds	Abri par hauts-fonds	Plate-forme ouverte	Abri par hauts-fonds	Plate-forme ouverte	Abri par hauts-fonds
Largeur des incisions (en m)	200 à 4 000	200 à 2 500	300 à 2 500	300 à 3 000	300 à 7 500	1 500 à 6 000
Longueur à partir de la côte actuelle (en km)	25	27	22	50	30	70
Profondeur d'incision maximale (en m)	40	35	25	20	20 (supposée)	60
Épaisseur maximale du remplissage (en m)	32	32	20	30	45	70
Limites bathymétriques actuelles de la paléovallée reconnue (en m)	10-55	5-70	5-75	5-25	15-60	5-60

Tableau 3 : Synthèse de la géomorphologie des vallées incisées en Bretagne Sud (source Menier, 2014)

La zone de dépôts sédimentaires la plus importante est la paléovallée 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. Plus à l'ouest, la paléovallée 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-Île-en-Mer et le Banc de Guérande. De Belle-Île-en-Mer à Pont-l'Abbé, la structuration en paléovallées 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 CM, toutes les paléovallées 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-Île-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.

Pour la zone de l'AO5, il est possible de décrire les sédiments superficiels de la manière suivante :

- ▷ Dans l'angle SE, une zone de vase et de sables envasés
- ▷ Dans le quart Nord, une zone d'affleurements rocheux et de pointement
- ▷ Dans la partie centrale s'étendant vers le Sud de la zone, des sables mixtes, moyens à grossiers
- ▷ Dans la partie W et SW de la zone des sables fins à envasés

Concernant la zone du futur parc éolien, 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, les éléments descriptifs sont très mal connus avec une absence de levés de sismique et peu des prélèvements sédimentaires.

Planche 8a : Épaisseurs de "bancs sableux" (source SHOM) et planche 8b : Bancs de Maërl

Planche 9 : Zones d'intérêt pour l'exploitation de matériaux marins déterminées selon leur potentiel extractif (source IFREMER)

Planche 10 : Isoques de nappes alluviales de la Paléo-vallée d'Étal principalement (source IFREMER)

Planche 11 : Zones d'extraction de granulats en mer et de PER (source IFREMER)

6 SUBSTRATUM DE LA BRETAGNE SUD

6.1 RAPPEL SUR LA TYPOLOGIE DES ROCHES OBSERVEES SUR LA TERRE

Trois grands types de formations rocheuses affleurent à la surface de la Terre :

- ▷ les roches sédimentaires (exemple : le calcaire),
- ▷ les roches magmatiques (ou ignées, exemple : le basalte)
- ▷ et les roches métamorphiques (exemple : le marbre).

Les **roches sédimentaires** sont le résultat d'une accumulation de particules fines compactées (les sédiments). Les **roches magmatiques** sont formées par le refroidissement du magma des volcans. Les **roches métamorphiques** sont issues de la transformation des deux premières (cristallisation ou recristallisation), dans les profondeurs de la Terre, sous l'action de la chaleur et/ou de la pression notamment.

De manière logique, les **roches sédimentaires sont dominantes au niveau de la surface de la Terre** (elles affleurent), les roches volcaniques sont omniprésentes juste au-dessous, dans la croûte terrestre, et les roches magmatiques se retrouvent avant tout dans les plus grandes profondeurs. Cependant le volcanisme et surtout la tectonique peuvent parfois bouleverser cet ordre et faire affleurer des roches métamorphiques (qui sont alors soumises à l'érosion et se désagrègent en sédiments) ; où à l'inverse, enfouir dans les profondeurs des roches sédimentaires, par exemple. Dans ce second cas de figure, par exemple, une roche calcaire se transformera en marbre sous l'effet de la pression et de la chaleur.

L'étude de l'agencement dans l'espace et dans le temps des couches géologiques (ou strates) est appelée la **stratigraphie**. La notion d'étage géologique y est essentielle : il s'agit d'une unité chrono-stratigraphique définie à partir d'une coupe de référence (stratotype), caractérisée par un ensemble de critères paléontologiques, lithologiques ou structuraux de valeur universelle (d'après Pomerol & al, 2005).

L'ensemble des étages géologiques, depuis la formation de la Terre jusqu'à la période actuelle, sont regroupés au sein d'un document appelé « **échelle des temps géologiques** » ou « **charte chronostratigraphique** ». Il a été mis en annexe

Carte 8A

Epaisseurs de "bancs sableux"

Zone d'étude

Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA

-  Zone pour poursuite des études
-  Zone pour dialogue concurrentiel
-  Zone étudiée pour raccordement en mer
-  Zone étudiée pour raccordement à terre

 Isobathe

Sources : SHOM - Ifremer - British Crown and Seazone Solutions Limited, 2010

Isopaques type indéterminé Epaisseur

Source : Synthèse sur les épaisseurs de la couverture sédimentaire meuble (type indéterminé) sur les façades Mer du Nord, Manche et Atlantique à partir de la compilation des données de l'Ifremer, l'Université de Bretagne Sud et de l'Université de Bordeaux I.

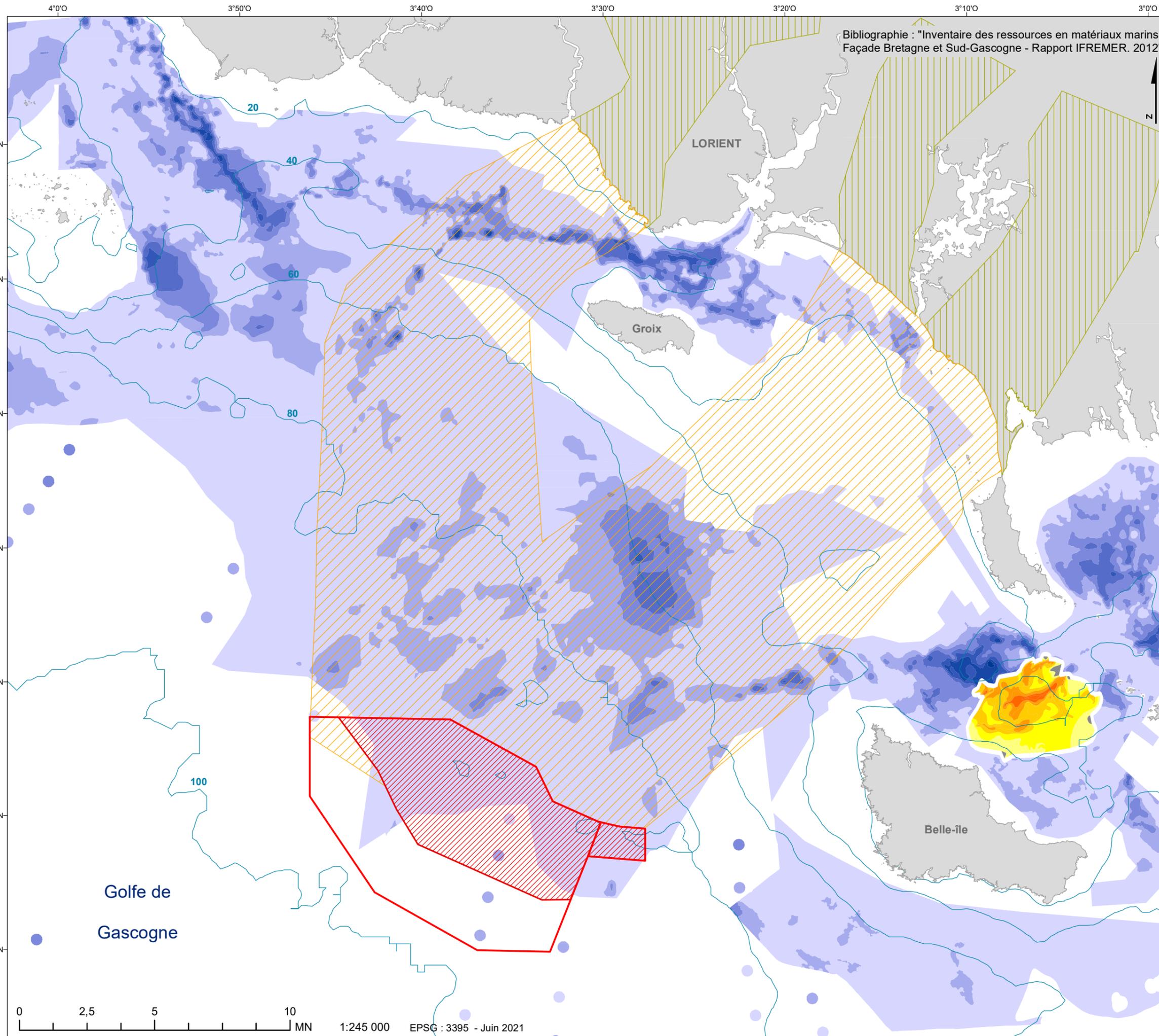
-  0-5 m
-  5-10 m
-  10-15 m
-  15-20 m
-  20-25 m
-  25-30 m
-  30-35 m

Isopaques de bancs sableux Epaisseur

Source : Synthèse sur les épaisseurs de "bancs sableux" sur les façades Mer du Nord, Manche et Atlantique à partir de la compilation des données de l'Ifremer, du SHOM et de l'IUEM

-  Roche
-  0-5 m
-  5-10 m
-  10-20 m
-  20-30 m
-  30-40 m
-  40-50 m
-  50-60 m
-  60-70 m

Donnée livrée dans le cadre d'une étude (2005-2012), pour le compte du Ministère chargé de l'écologie, visant à définir des zones de moindres contraintes où l'extraction de granulats marins serait possible.
Produit numérique "Granulats marins" Ifremer 2013



Carte 8B

Bancs de maerl

Zone d'étude

Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA

-  Zone pour poursuite des études
-  Zone pour dialogue concurrentiel
-  Zone de vigilance pour enjeux paysagers
-  Zone étudiée pour raccordement en mer
-  Zone étudiée pour raccordement à terre

 Isobathe

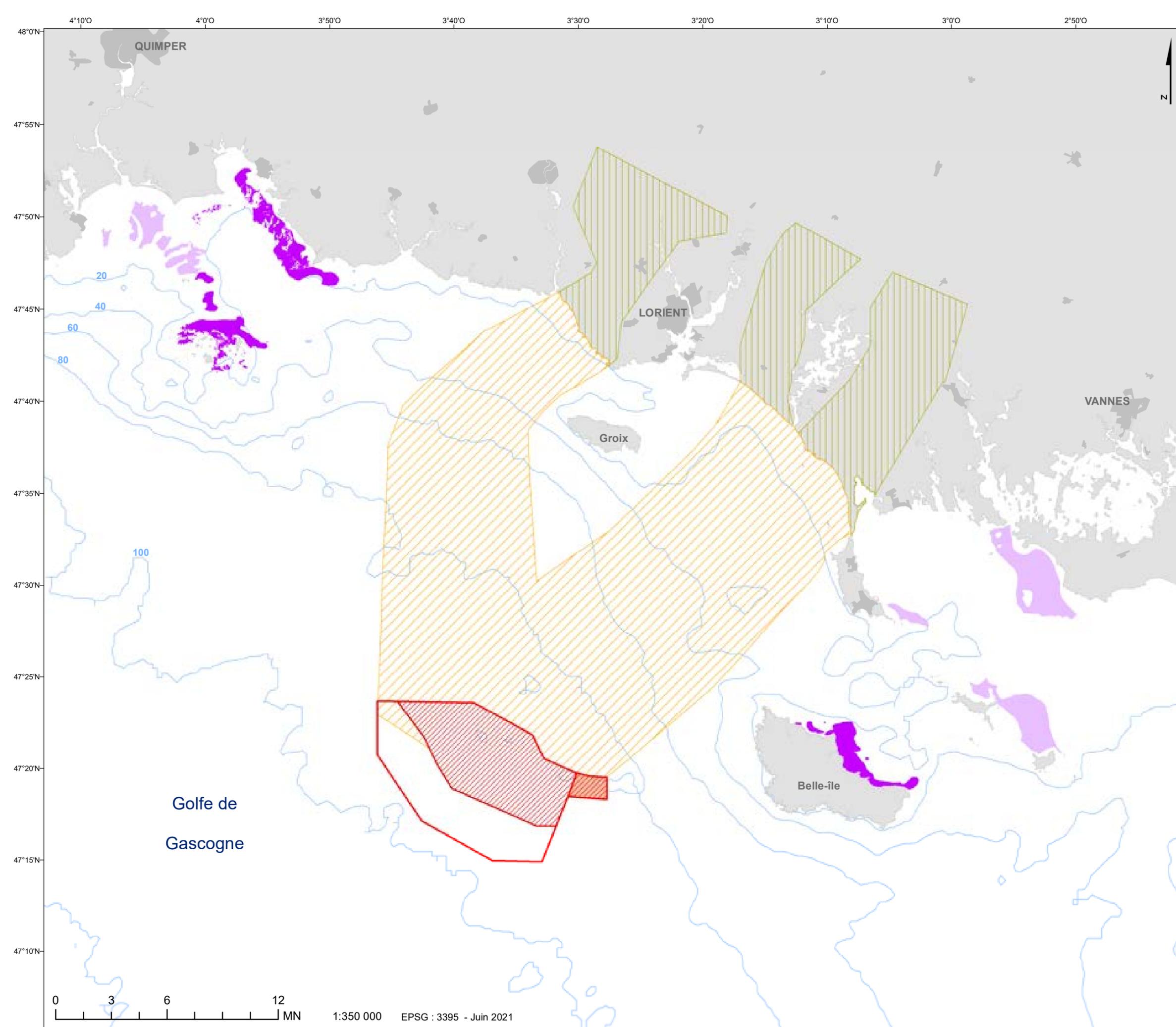
Sources : SHOM - Ifremer - British Crown and Seazone Solutions Limited, 2010

Bancs de maerl

-  Banc de Maerl
-  Présence de Maerl

Source : REBENT

Les bancs de maerl en Bretagne -
Actualisation de l'inventaire, sources diverses,
1968 à 2007 ; Produit numérique REBENT
Ifremer-Université-CNRS, 2007



Golfe de
Gascogne

0 3 6 12 MN

1:350 000 EPSG : 3395 - Juin 2021

Carte 9

Zones d'intérêt pour l'exploitation de matériaux marins déterminées selon leur potentiel extractif

Zone d'étude

Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA

-  Zone pour poursuite des études
-  Zone pour dialogue concurrentiel
-  Zone étudiée pour raccordement en mer
-  Zone étudiée pour raccordement à terre

 Isobathe

 Limite des 12 milles - Mer territoriale

Sources : SHOM - Ifremer - British Crown and Seazone Solutions Limited, 2010

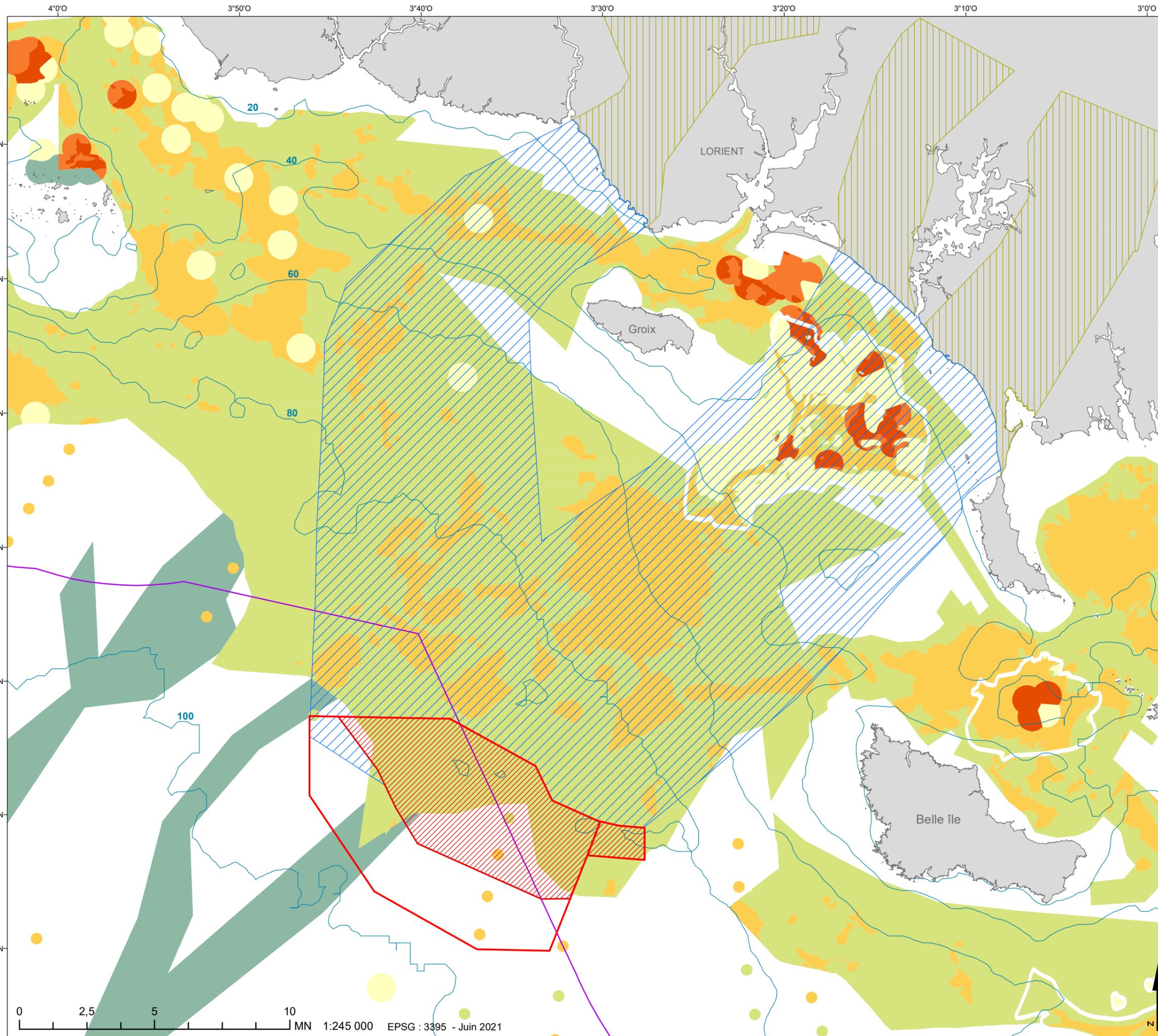
Zones d'intérêts (potentiel extractif)

Zones d'intérêt pour l'exploitation de matériaux marins déterminées selon leur potentiel extractif. Le potentiel est gradué de 0 (potentiel le plus faible) à 4 (potentiel le plus fort). La méthode se base sur l'analyse de carottages, de données morphologiques et de données sismiques (cartes d'isopaques).
Source : Ifremer - Geosciences marines

-  0
-  1 Couverture sédimentaire inférieure à 5m*
-  1,5 Couverture sédimentaire supérieure à 5m*
-  2
-  3
-  4

*sur la zone d'étude (d'après donnée attributive)

Note : Absence de données sur la zone en blanc
Bibliographie : "Inventaire des ressources en matériaux marins - Façade Bretagne et Sud-Gascogne. Rapport IFREMER. 2012"
"Produit numérique "Granulats marins" Ifremer 2013"



Carte 10

Isopaques de nappes alluviales

Zone d'étude

Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA

-  Zone pour poursuite des études
-  Zone pour dialogue concurrentiel
-  Zone de vigilance pour enjeux paysagers
-  Zone étudiée pour raccordement en mer
-  Zone étudiée pour raccordement à terre

 Limite des 12 milles - Mer territoriale

 Isobathe

Sources : SHOM - Ifremer - British Crown and Seazone Solutions Limited, 2010

Isopaques de nappes alluviales

Synthèse sur les épaisseurs de "nappes alluviales" sur les façades Mer du Nord, Manche et Atlantique à partir de la compilation des données de l'Ifremer, du BRGM, de l'Université de Caen, l'Université de la Rochelle et l'Université de Bretagne Occidentale.

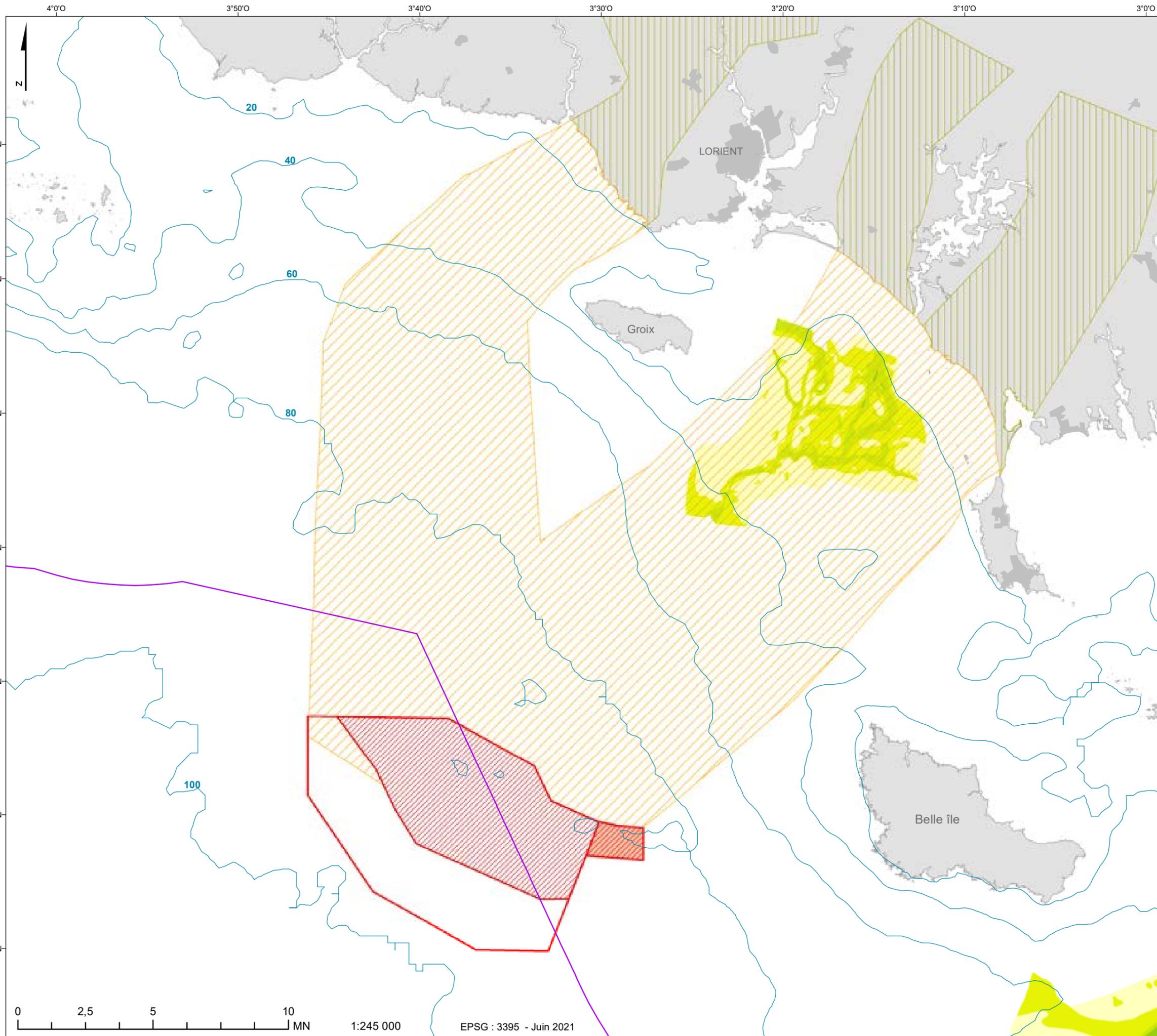
-  0 m - Roche
-  0-10 m
-  10-20 m
-  20-30 m
-  30-40 m
-  40-50 m
-  50-60 m
-  60-70 m
-  70-80 m

Note : Absence de données sur la zone en blanc

Bibliographie :

"Inventaire des ressources en matériaux marins - Façade Bretagne et Sud-Gascogne. Rapport IFREMER. 2012"

"Produit numérique "Granulats marins" Ifremer 2013"



Carte 11

Extraction de matériaux

Zone d'étude

Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA

-  Zone pour poursuite des études
-  Zone pour dialogue concurrentiel
-  Zone étudiée pour raccordement en mer
-  Zone étudiée pour raccordement à terre

Droit de la mer

Source : SHOM

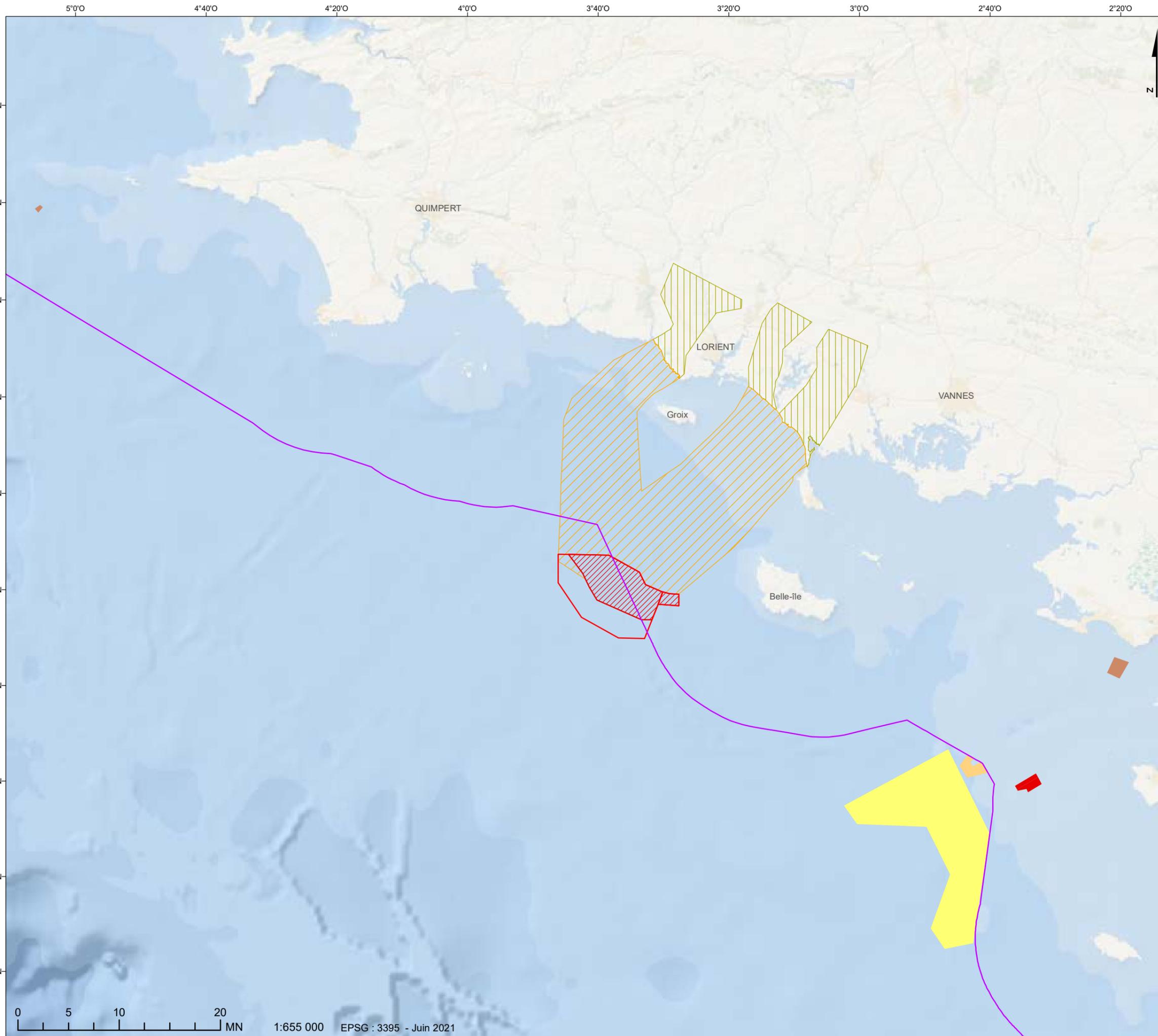
-  Limite des 12 milles - Mer territoriale

Sites d'extraction

Source : Ifremer - Périmètres des sites d'extraction de matériaux marins autorisés ou en cours d'instruction et des permis de recherche sollicités en France métropolitaine.

-  Autorisation d'extraction valide
-  Concession Valide - Extraction
-  Concession Valide - Pas de travaux
-  Demande de concession en cours
-  Permis Exclusif de Recherche valide
-  Zone de concession non exploitée
-  Zone de concession exclue de l'AOTDPM

Les rectangles d'emprises ont été créés à partir des coordonnées figurant dans les arrêtés et les décrets ministériels définissant les périmètres d'exploitations.



0 5 10 20 MN

1:655 000 EPSG : 3395 - Juin 2021

différentes échelles de temps géologiques pour mieux comprendre les termes employés dans les développements ultérieurs.

6.2 APPLICATION A LA BRETAGNE SUD

En région Bretagne, le sous-sol est majoritairement constitué de roches magmatiques, métamorphiques et sédimentaires anciennes : ce sont des roches dites « **de socle** ».

Différentes cartes peuvent être étudiées pour présenter le substratum de la Bretagne Sud. Il s'agit des planches suivantes :

Planche 12 : Carte géologique imprimée 1/1 000 000 (source BRGM)

Planche 13 : Carte géologique imprimée 1/250 000 (source BRGM)

Planches 14A à D : Carte géologique imprimée 1/50 000 (source BRGM)

6.3 GEOLOGIE DE LA BRETAGNE ET DE LA BRETAGNE SUD

6.3.1 Géologie de la Bretagne

Le site Web SIGES (SIGES Bretagne, Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Bretagne, <http://sigesbre.brgm.fr/Histoire-geologique-de-la-Bretagne-59.html>) explique l'histoire de la formation géologique de la Bretagne et mérite d'être signalé tant il est pertinent.

Le Massif Armoricaire pour la région Bretagne peut être découpé en neuf grands domaines géologiques. D'Ouest en Est et du Nord au Sud, on trouve :

- ▷ le domaine varisque du Pays de Léon ;
- ▷ le domaine cadomien nord-breton ;
- ▷ le domaine cadomien normano-breton ;
- ▷ le domaine varisque médio-armoricain occidental ;
- ▷ le domaine varisque médio-armoricain oriental ;
- ▷ le domaine varisque de Bretagne centrale ;
- ▷ le domaine varisque ligéro-sénaise ;
- ▷ le domaine varisque nantais
- ▷ et enfin le domaine sud-armoricain breton.

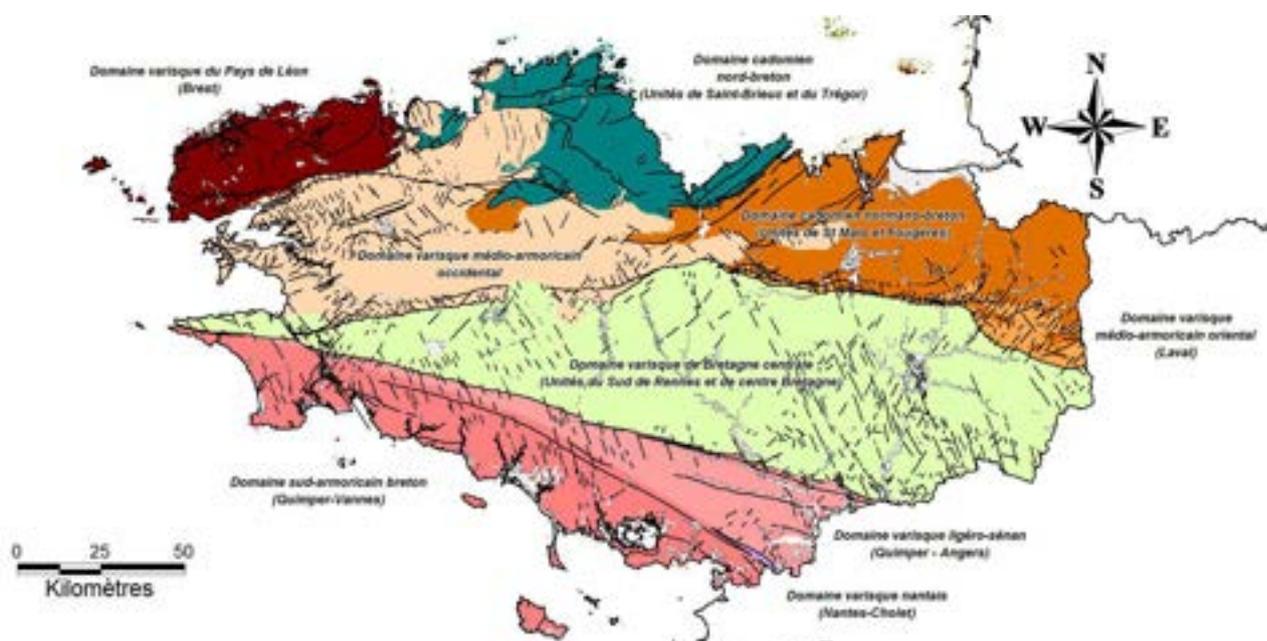


Figure 11 : Découpage du Massif Armoricaire breton d'après Chantraine et al., 2001, carte géologique à 1:250 000 (source SIGES)

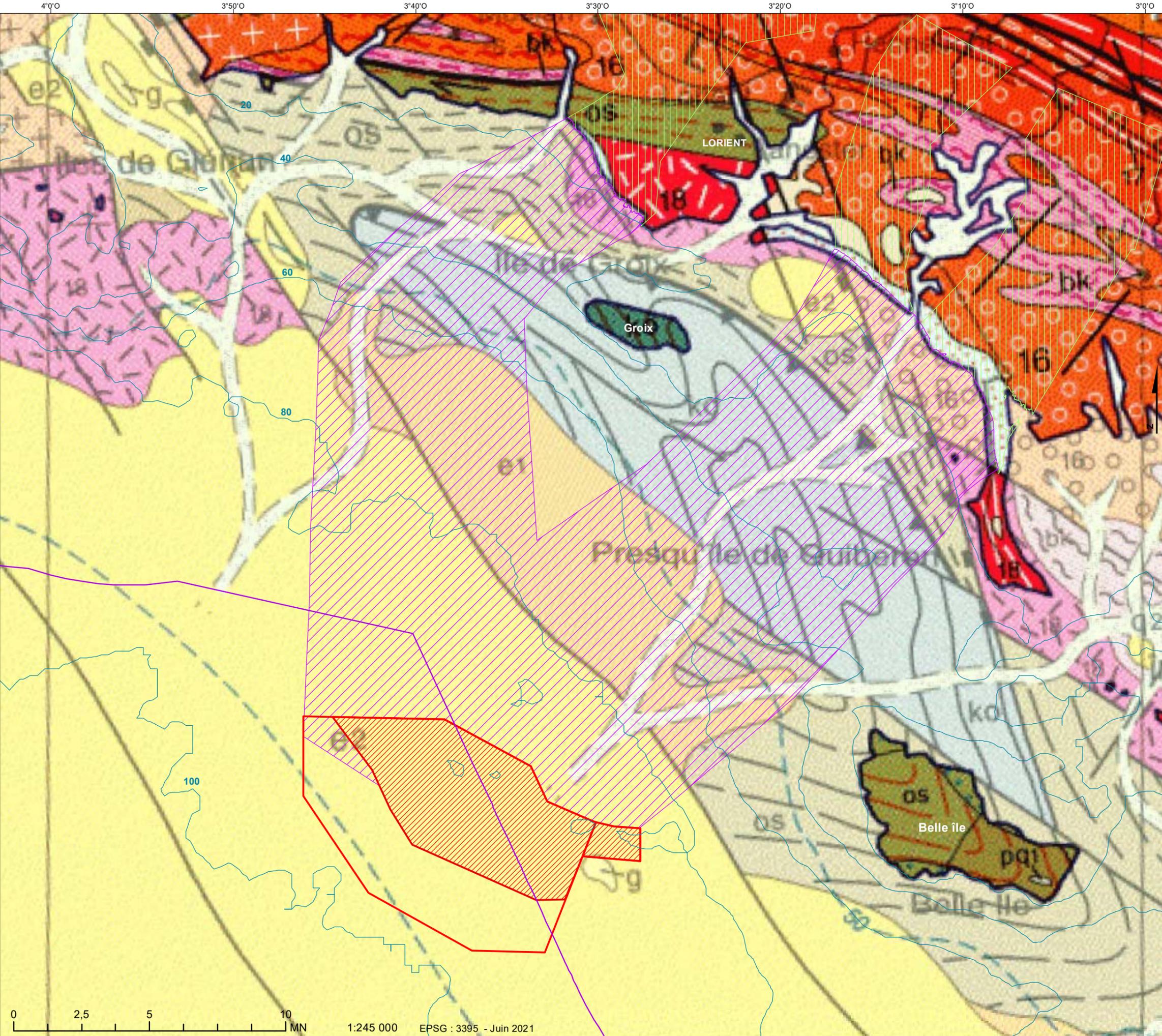
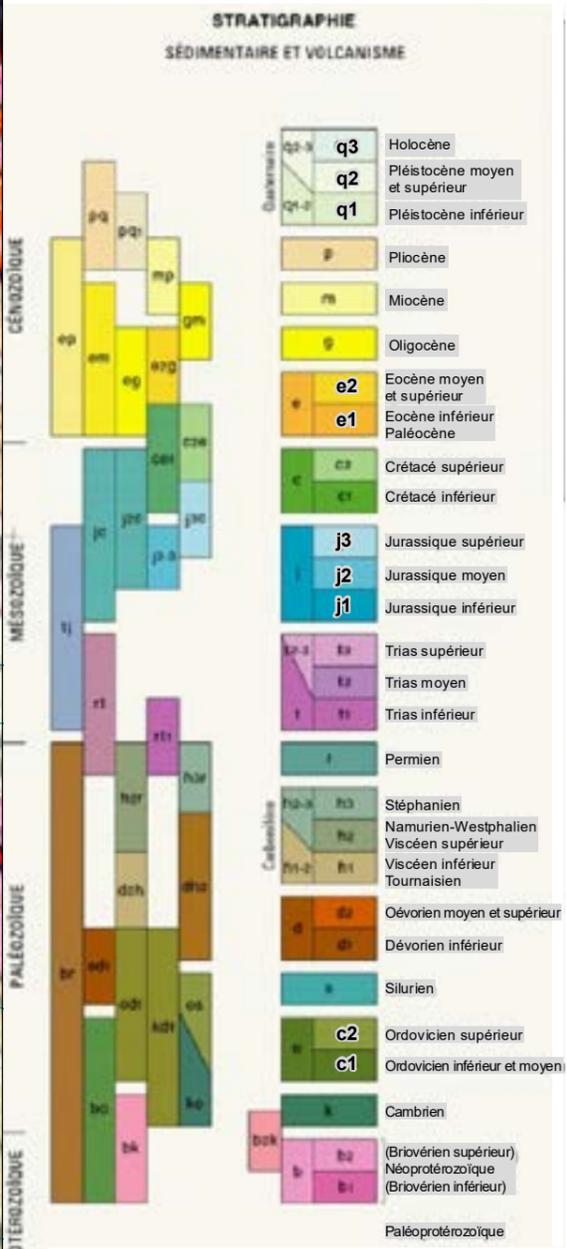
Carte 12

Carte géologique imprimée 1/1 000 000 (BRGM)

Zone d'étude
Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA

-  Zone pour poursuite des études
-  Zone pour dialogue concurrentiel
-  Zone étudiée pour raccordement en mer
-  Zone étudiée pour raccordement à terre
-  Limite des 12 milles - Mer territoriale
-  Isobathe

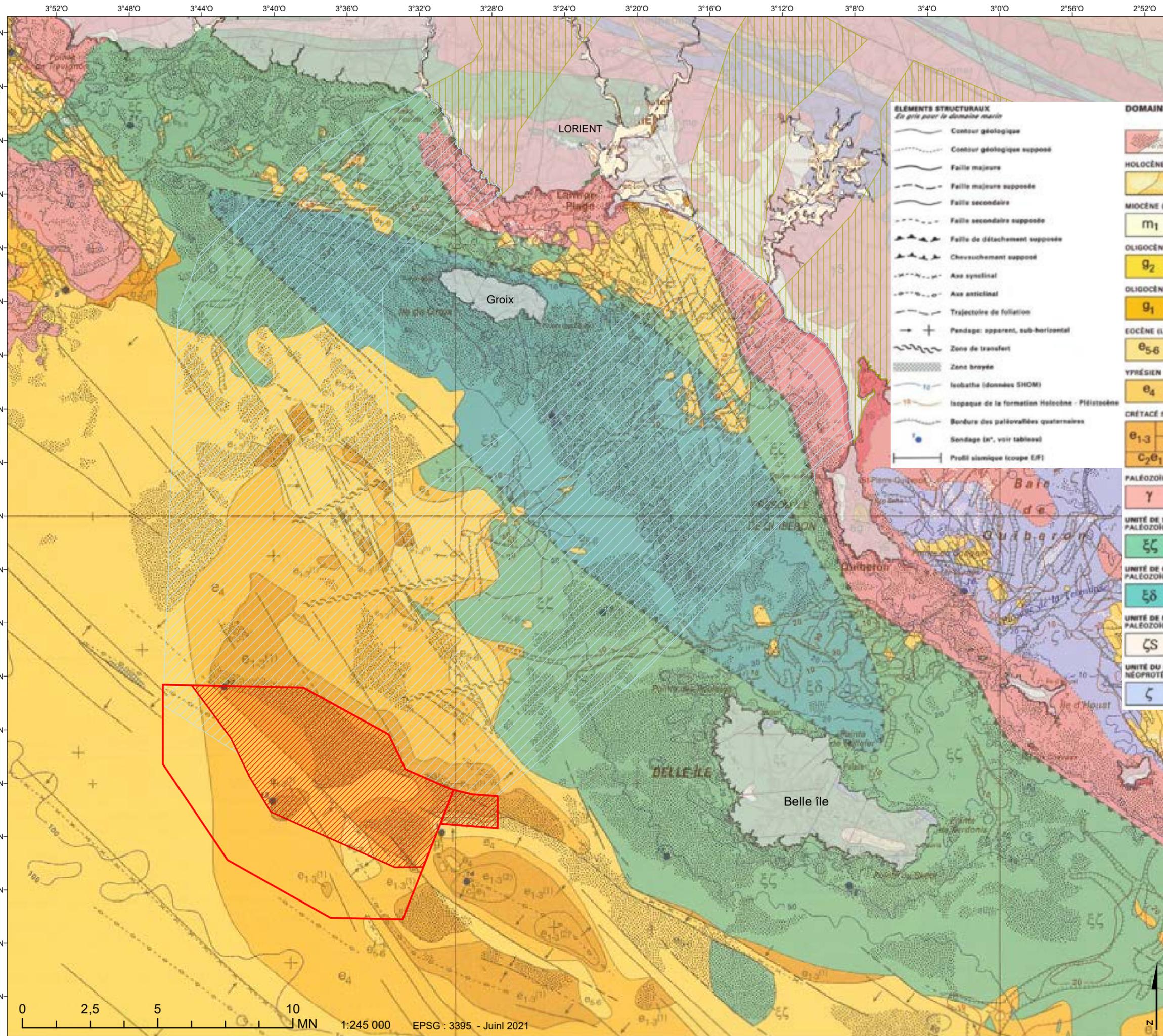
Sources : SHOM - Ifremer - British Crown and Seazone Solutions Limited, 2010



0 2,5 5 10 MN
1:245 000 EPSG : 3395 - Juin 2021

Carte 13

Carte géologique imprimée 1/250 000 (BRGM)

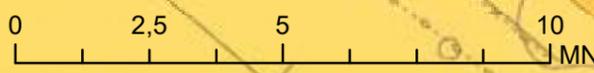


- ELEMENTS STRUCTURAUX**
En gris pour le domaine marin
- Contour géologique
 - - - Contour géologique supposé
 - Faille majeure
 - - - Faille majeure supposée
 - Faille secondaire
 - - - Faille secondaire supposée
 - ▲▲▲ Faille de détachement supposée
 - ▲▲▲ Chevauchement supposé
 - - - Axe synclinal
 - - - Axe anticlinal
 - - - Trajectoire de foliation
 - + Pendage: apparent, sub-horizontale
 - ~ Zone de transfert
 - ▨ Zone broyée
 - 10 Isobathe (données SHOM)
 - 10 Isopeque de la formation Holocène - Pléistocène
 - Bordure des paléovalées quaternaires
 - Sondage (n°, voir tableaux)
 - Profil sismique (coupe E-F)

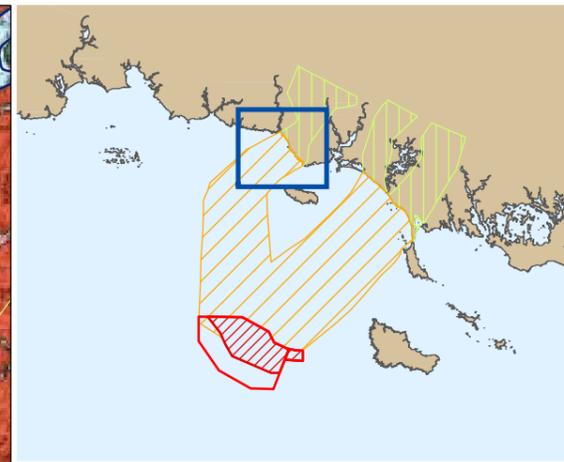
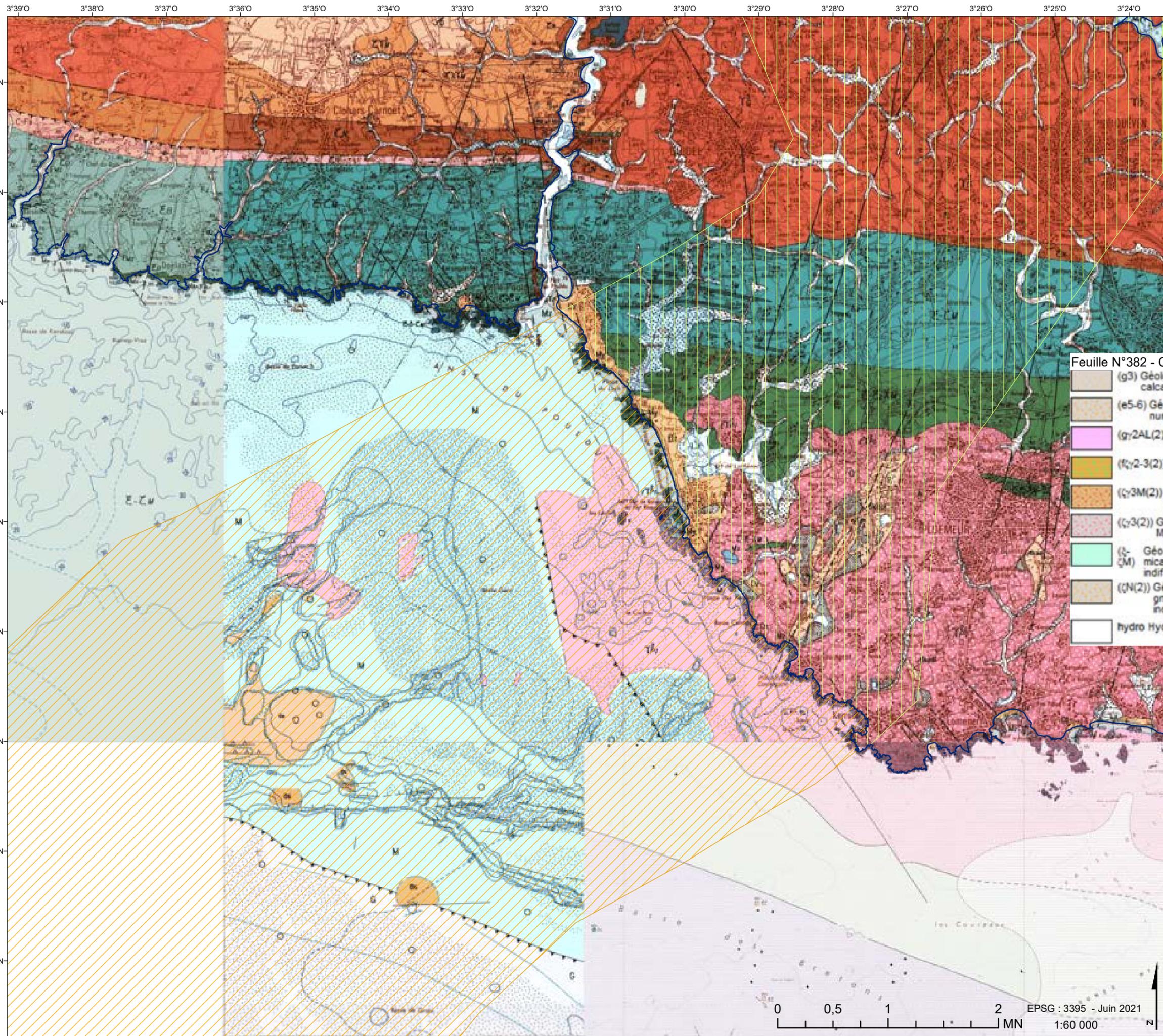
- DOMAINE MARIN**
- Roches (sub-affleurantes (modifiées d'après le fichier du SHOM, 2006))
 - HOLOCÈNE - PLÉISTOCÈNE**
 - Zone acoustique sourde (GAZ)
 - MIOCÈNE (AQUITANIEN)**
 - M₁ Marno-calcaires et calcaires à Miogyptines (échantillons n° 1,2)
 - OLIGOCÈNE (CHATTIEN)**
 - G₂ Sables calcaires très fossilifères à Operculines (échantillons n° 3,4)
Facies sismique: Ensemble de réflecteurs hautes fréquences de fortes amplitudes, concordants, continus
 - OLIGOCÈNE (STAMPIEN)**
 - G₁ Couverture sédimentaire supposée discordante sur les formations éocènes. Son existence est déduite d'un prélèvement par dragage (échantillon n° 6)
Non recoupé par les profils de sismique réflexion
 - ÉOCÈNE (LUTÉTIEN - BARTONIEN)**
 - E₅₋₆ Calcaires à Nummulites, calcaires à Gypsinides (échantillons n° 8 à 9)
Facies sismique: Série litée avec réflecteurs basses fréquences, concordants et continus, de fortes amplitudes dans la partie supérieure et de faibles amplitudes dans la partie inférieure
 - YPRÉSIE**
 - E₄ Sable jaune glauconieux à grands foraminifères, calcariolites gréseuses et gréseuses (échantillons n° 10 à 11)
Facies sismique: Facies chaotique composé de réflecteurs de basses fréquences, faibles à très faibles amplitudes
 - CRÉTACÉ SUPÉRIEUR ? - PALÉOCÈNE**
 - E₁₋₃ Dolomie azoïque (échantillons n° 12, 13)
Ensemble composé de deux unités sismiques (Anticlinal Sud de Belle-Île, coupe C/D): Réflecteurs de basses fréquences, concordants et continus, de faibles (1) à très faibles (2) amplitudes
Craie très fossilifères (échantillon n° 14)
Facies sismique: Ensemble de réflecteurs désorganisés de fortes amplitudes, basses fréquences, tranquille à son sommet par une surface d'érosion majeure
 - PALÉOZOÏQUE (CARBONIFÈRE)**
 - γ Granite alcalin à muscovite et biotite et granite calco-alcalin à biotite
Facies sismique non réfléchit
 - UNITÉ DE SAINT-GILES, DU POUÏDU - PALÉOZOÏQUE (ORDOVICIEN - DÉVONIEN INFÉRIEUR)**
 - ε₅ Micaschistes, métasédiments, niveaux volcano-sédimentaires
Facies sismique hétérogène, isotrope à peu réfléchit sous une surface plane ou localement chaotique et très diffractante
 - UNITÉ DE GROIX-CÈNE PALÉOZOÏQUE (CAMBRO-ORDOVICIEN)**
 - ε₈ Micaschistes, glaucophanites, prasinites
Facies sismique: Ensemble de réflecteurs de hautes fréquences, fortement inclinés sous une surface très réfléchit et chaotique
 - UNITÉ DE NORMOUTIER PALÉOZOÏQUE (ORDOVICIEN)**
 - ε₅ Orthogneiss granitiques supposés
non image par la sismique réflexion marine
 - UNITÉ DU MORBIHAN NÉOPROTÉROZOÏQUE-PALÉOZOÏQUE (BRIOVÉRIEN-CAMBIEN)**
 - ε₅ Gneiss
Facies sismique non réfléchit

Remarque: Intégration uniquement de la partie de la légende concernant le domaine marin

- Zone d'étude**
Source: MTE-DGEC/RTE/CEREMA
- Zone pour poursuite des études
 - Zone pour dialogue concurrentiel
 - Zone étudiée pour raccordement en mer
 - Zone étudiée pour raccordement à terre



1:245 000 EPSG: 3395 - Juin 2021



Carte 14A

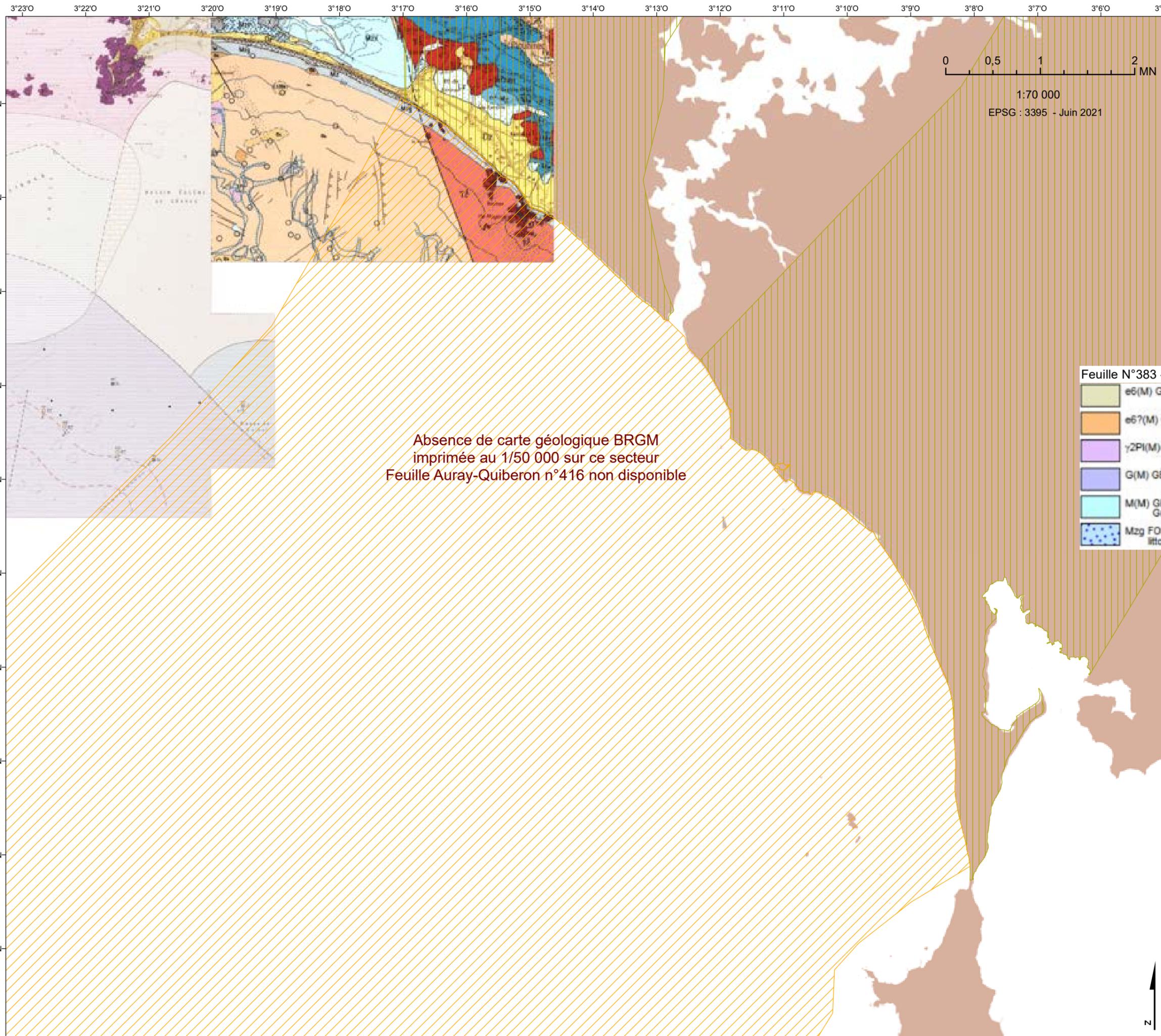
Carte géologique imprimée

1/50 000 (BRGM)

- Feuille N°382 - CONCARNEAU
- (g3) Géologie marine : Terrains sédimentaires tertiaires : Sables calcaires à operculines (Oligocène supérieur)
 - (e5-6) Géologie marine : Terrains sédimentaires tertiaires : Calcaires à nummulites (Éocène moyen)
 - (g/2AL(2)) Géologie marine : Unités granitiques varisques : Granite de Trégunc
 - (f/2-3(2)) Géologie marine : Unités métamorphiques : Orthogneiss de Pouldohan, faciès fin leucocrate
 - (c/3M(2)) Géologie marine : Unités métamorphiques : Orthogneiss de Porz-Manec'h
 - (c/3(2)) Géologie marine : Unités métamorphiques : Orthogneiss de Moëlan
 - (l-3M) Géologie marine : Unités métamorphiques : Groupe de Merrien : micaschistes à ocelles d'albite et gneiss fins leucocrates, indifférenciés
 - (N(2)) Géologie marine : Unités métamorphiques : Groupe de Nerly : gneiss fins leucocrates rubanés et gneiss fins micacés, indifférenciés
 - hydro Hydro

Remarque : dans la légende, intégration des caissons avec la mention "géologie marine". Se référer de préférence aux codes car la correspondance des couleurs entre légende et carte n'est pas toujours évidente.

- Zone d'étude**
Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA
- Zone pour poursuite des études
 - Zone pour dialogue concurrentiel
 - Zone de vigilance pour enjeux paysagers
 - Zone étudiée pour raccordement en mer
 - Zone étudiée pour raccordement à terre



0 0,5 1 2 MN
 1:70 000
 EPSG : 3395 - Juin 2021



Carte 14B
Carte géologique imprimée
1/50 000 (BRGM)

Absence de carte géologique BRGM
 imprimée au 1/50 000 sur ce secteur
 Feuille Auray-Quiberon n°416 non disponible

- Feuille N°383 - LORIENT
- e6(M) GÉOLOGIE DU PLATEAU CONTINENTAL - Bartonien
 - e67(M) GÉOLOGIE DU PLATEAU CONTINENTAL - Bartonien supposé
 - γ2PI(M) GÉOLOGIE DU PLATEAU CONTINENTAL - Granite de Ploemeur
 - G(M) GÉOLOGIE DU PLATEAU CONTINENTAL - Unité de Groix
 - M(M) GÉOLOGIE DU PLATEAU CONTINENTAL - Unité du Pouldu, Groupe de Merrien
 - Mzg FORMATIONS SUPERFICIELLES - Dépôts marins littoraux - Cordon littoral, grève à galets

- Zone d'étude**
 Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA
- Zone pour poursuite des études
 - Zone pour dialogue concurrentiel
 - Zone étudiée pour raccordement en mer
 - Zone étudiée pour raccordement à terre

Carte 15

Sédiments superficiels

Source : BRGM / IFREMER

- Rocher
- Cailloutis calcaires ou coquillites
- Cailloutis litho-bioclásticos (coquiller)
- Cailloutis lithoclastiques non carbonatés
- Cailloutis lithoclastiques peu carbonatés
- Gravier bioclastique
- Gravier litho-bioclastique (coquiller)
- Gravier lithoclastique non carbonaté
- Gravier lithoclastique peu carbonaté
- Marne
- Marne sableuse (graveleux ou caillouteux ou coquiller)
- Sable bioclastique
- Sable bioclastique caillouteux ou coquiller
- Sable bioclastique fin
- Sable bioclastique graveleux
- Sable bioclastique grossier
- Sable litho-bioclastique
- Sable litho-bioclastique fin
- Sable litho-bioclastique graveleux
- Sable litho-bioclastique grossier
- Sable lithoclastique non carbonaté
- Sable lithoclastique non carbonaté caillouteux
- Sable lithoclastique non carbonaté fin
- Sable lithoclastique non carbonaté graveleux
- Sable lithoclastique non carbonaté grossier
- Sable lithoclastique peu carbonaté
- Sable lithoclastique peu carbonaté caillouteux
- Sable lithoclastique peu carbonaté fin
- Sable lithoclastique peu carbonaté graveleux
- Sable lithoclastique peu carbonaté grossier
- Sédiment (sable) bioclastique vaseux
- Sédiment (sable) litho-bioclastique vaseux
- Sédiment (sable) lithoclastique vaseux non carbonaté
- Sédiment (sable) lithoclastique vaseux peu carbonaté
- Vase calcaire sableuse (graveleux ou coquiller)
- Vase non carbonatée
- Vase peu carbonatée
- Vase sableuse non carbonatée (graveleux ou caillouteux)
- Vase sableuse peu carbonatée (graveleux ou caillouteux)

Bouysse P. (coord.), Lesueur P. et Klingebiel A., 1986.
 Carte des sédiments superficiels du plateau continental du Golfe de Gascogne
 Partie septentrionale au 1/500.000. co-éditée par BRGM & IFREMER.

Zone d'étude

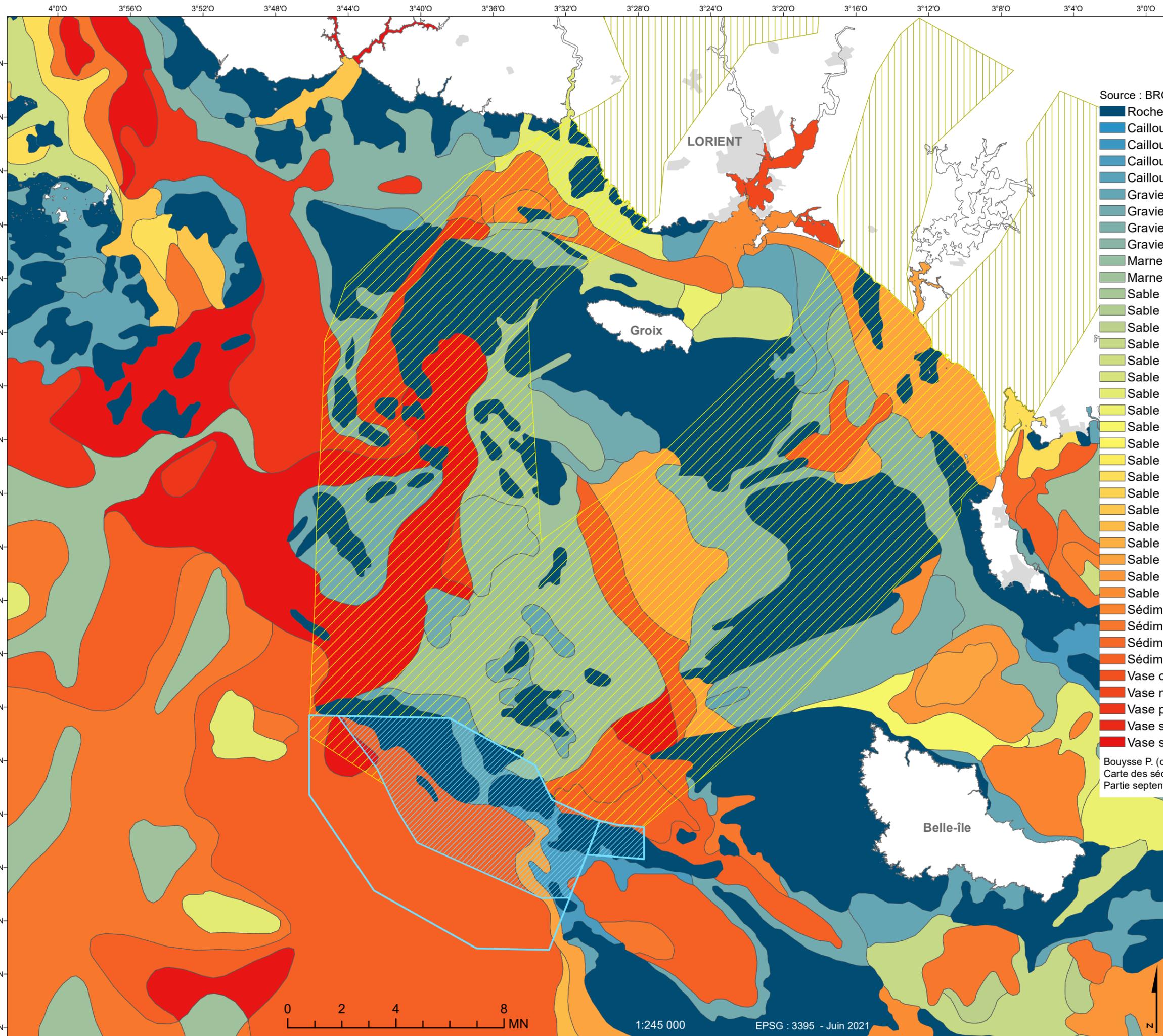
Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA

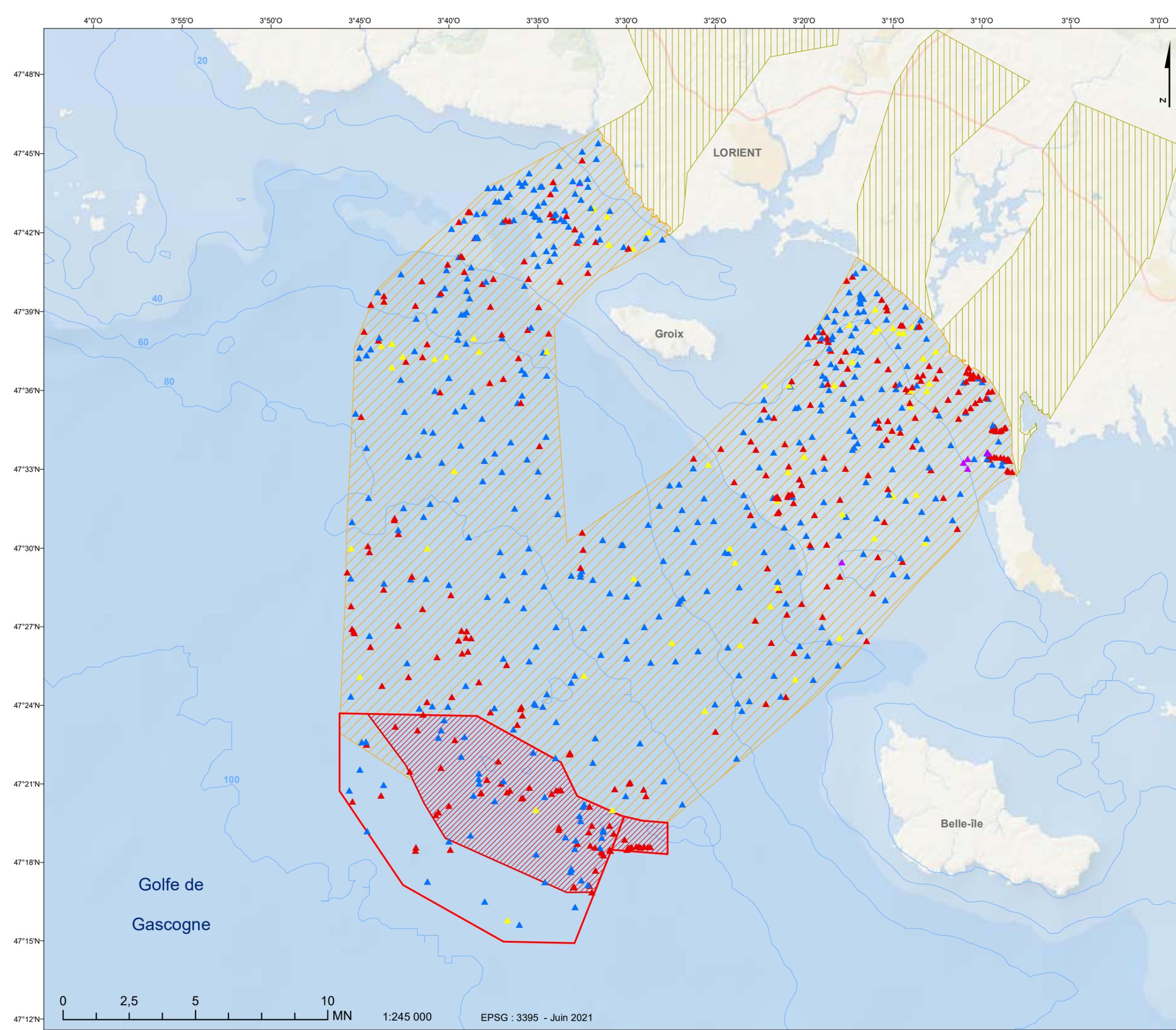
- Zone pour poursuite des études
- Zone pour dialogue concurrentiel
- Zone étudiée pour raccordement en mer
- Zone étudiée pour raccordement à terre



1:245 000

EPSG : 3395 - Juin 2021





Carte 16A

Base géologie marine (BRGM) Stations géologie marine

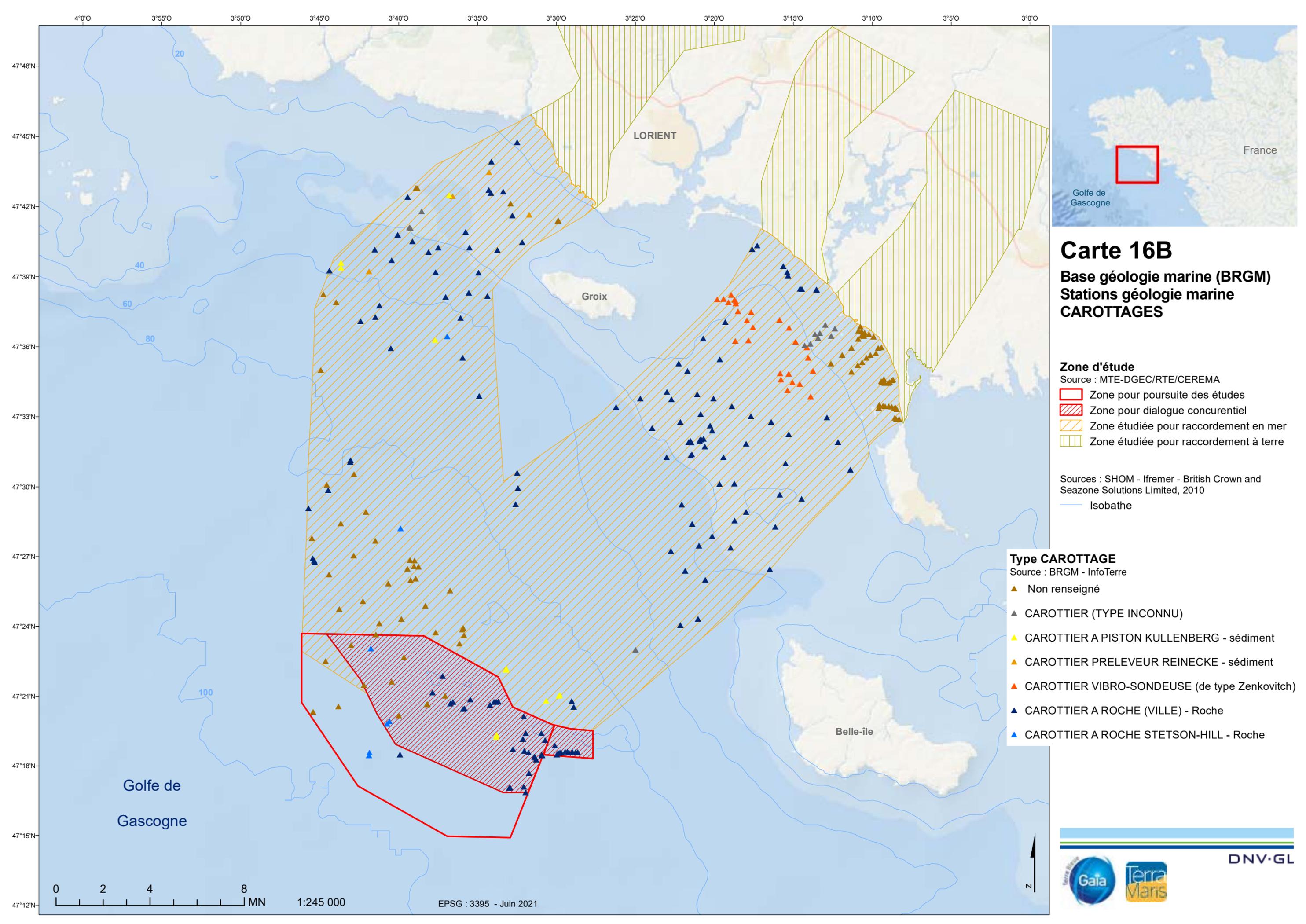
- Zone d'étude**
Source : MTE-DGEC/RTE/CEREMA
- Zone pour poursuite des études
 - Zone pour dialogue concurrentiel
 - Zone étudiée pour raccordement en mer
 - Zone étudiée pour raccordement à terre

— Isobathe
Sources : SHOM - Ifremer - British Crown and Seazone Solutions Limited, 2010

- Types d'OPERATION**
Source : BRGM - InfoTerre
- ▲ Dragage
 - ▲ Plongée
 - ▲ Profil sismique
 - ▲ Station

0 2,5 5 10 MN 1:245 000 EPSG : 3395 - Juin 2021





On retrouve, à travers les noms donnés à ces domaines géologiques, l'histoire géologique du Massif Armoricaïn qui est la superposition de deux évènements orogéniques (c'est-à-dire de deux chaînes de montagne). Ainsi au nord des Côtes d'Armor et de l'Ille-et-Vilaine, les roches appartiennent à l'ancienne chaîne de montagne dite « **cadomienne** » avec ces deux domaines, en vert, à l'Ouest : le domaine cadomien nord-breton et à l'Est, en orangé : le domaine cadomien normano-breton ou encore appelé « mancennien ». La chaîne cadomienne a été active entre **750 et 520 millions d'années** environ. Les autres domaines sont eux principalement des domaines sur lesquels la fameuse ancienne chaîne de montagne « **hercynienne** » ou « **varisque** ». Elle a été active entre 360 et 300 millions d'années environ.

L'histoire géologique du socle armoricaïn est donc, pour l'essentiel, le résultat de deux évolutions géodynamiques successives : l'orogénèse Cadomienne (750 à 520 Ma) et l'orogénèse Hercynienne (360 à 300 Ma).

6.3.1 Limites du massif Armoricaïn

Le massif Armoricaïn ne s'arrête pas aux terres émergées actuelles, mais est en fait bordé par trois bassins sédimentaires, le bassin de Paris à l'Est, le bassin de la Manche occidentale au Nord et le Bassin Aquitain au Sud. Il se prolonge vers l'Ouest sous les sédiments de la marge armoricaïne. Mais ces limites ne traduisent pas l'extension véritable du Massif Armoricaïn : Il se prolonge au Nord jusqu'à l'anomalie gravimétrique et magnétique de la Manche, à l'Est vers l'anomalie magnétique du Bassin de Paris ; au Sud il se poursuit sous la couverture sédimentaire jusqu'à l'anomalie d'Audierne et jusqu'à la discontinuité géophysique sud-armoricaïne (Werber et al., 1980 cité par Thomas, 1999 ; figure 1.3).

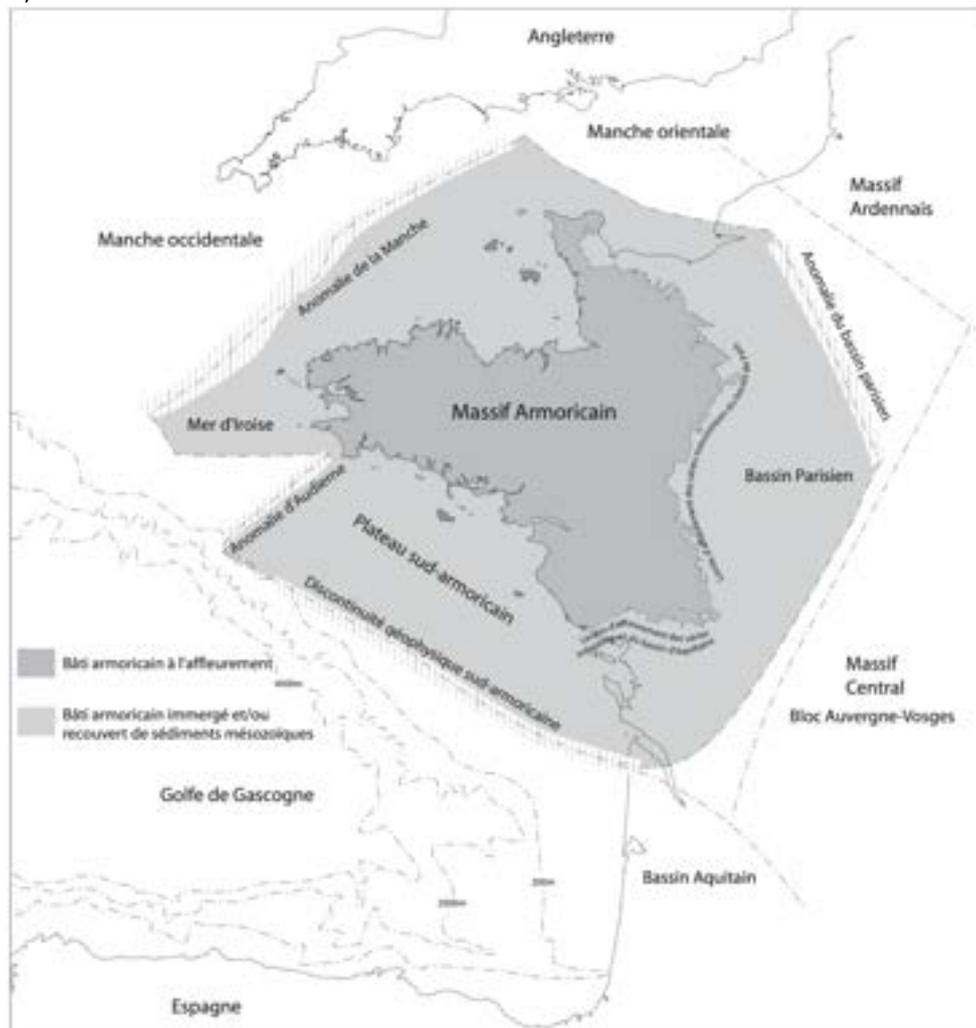
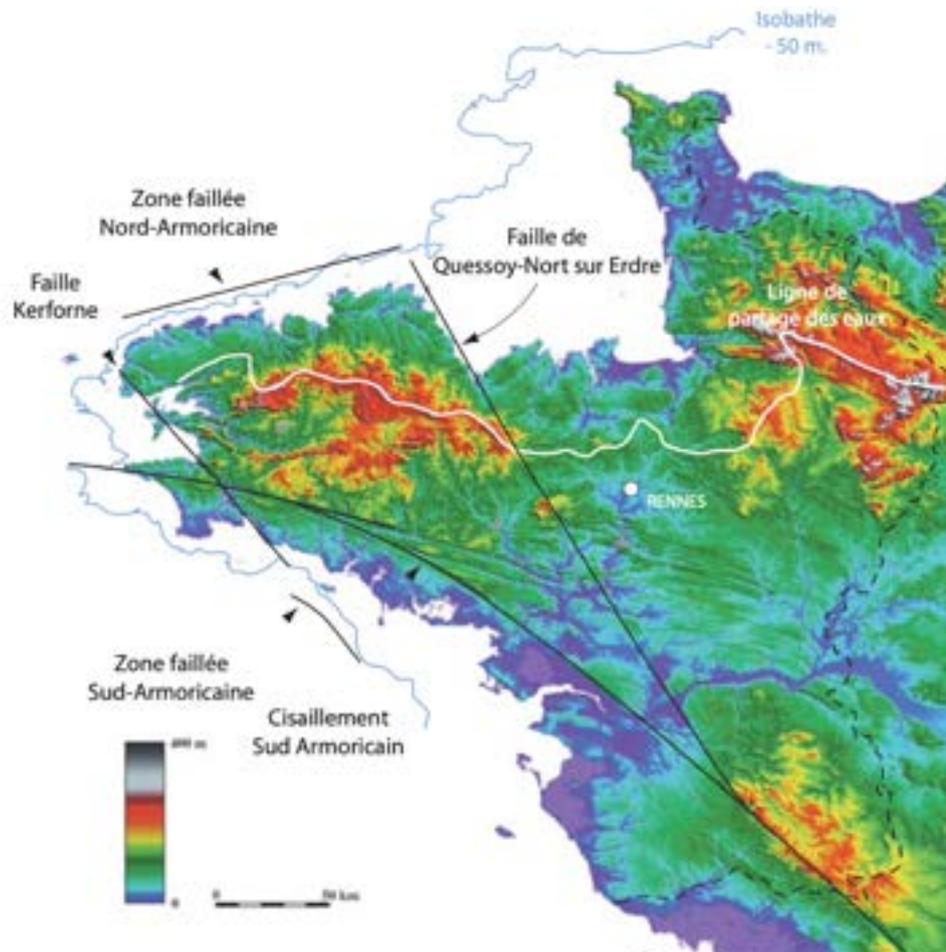


Figure 12 : Limites du Massif Armoricaïn et des principaux bassins périphériques (source Menier, 2003)

On retrouve également sur la partie centrale du Massif armoricain deux accidents structuraux majeurs : le Cisaillement Nord-Armoricain (C.N.A.) et au Sud par le Cisaillement Sud-Armoricain (C.S.A.).



Epoque actuelle

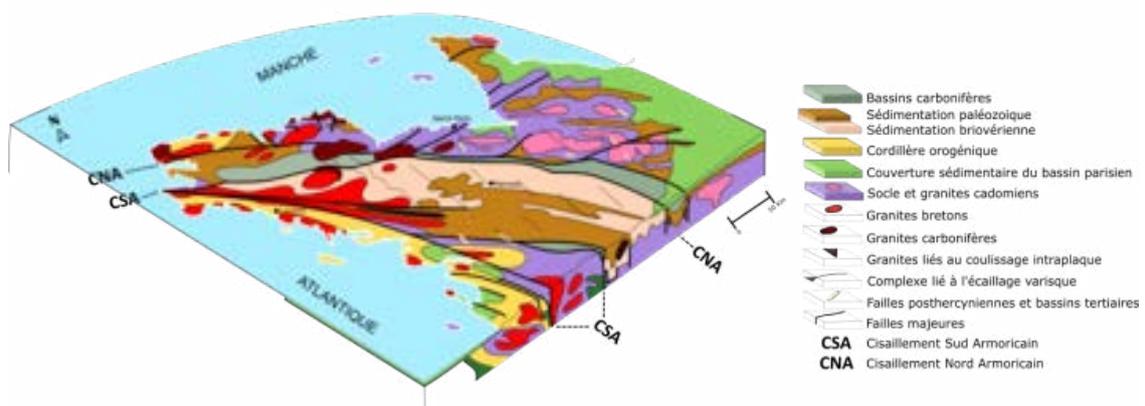


Figure 13 : Principaux alignements structuraux replacés sur le Modèle Numérique de Terrain (source en haut Menier, 2013 et en bas, SIGES)

Le Massif Armoricain a subi depuis le passage Pliocène-Pléistocène (2.5 millions d'années) une surrection différentielle croissante du Sud vers le Nord en réponse à une compression NW-SE. Cette surrection confirmée par les données de sismicité naturelle et les données de nivellement, est accommodée le long d'accidents transverses (Cf. figure 13) de direction NW-SE (fractures « Kerforne ») et de failles associées au Cisaillement sud-armoricain (C.S.A.).

Le Massif Armoricain au relief très asymétrique caractérisé par une ligne de partage des eaux décentrée vers le Nord, est un domaine en surrection/érosion. Ce soulèvement a provoqué la réorganisation partielle des réseaux fluviaux régionaux qui a elle-même entraîné (Cf. figure 14) :

- ▷ (1) l'érosion des dépôts antérieurs (méso/cénozoïques) ;
- ▷ (2) l'incision des reliefs au Nord et l'absence de remplissage sédimentaire dans les vallées nord-armoricaines ;
- ▷ (3) le dépôt d'une nouvelle couverture sédimentaire aujourd'hui ennoyée et scellée par les dépôts post-glaciaires en domaine côtier sud-armoricain (Cf. figure 15).

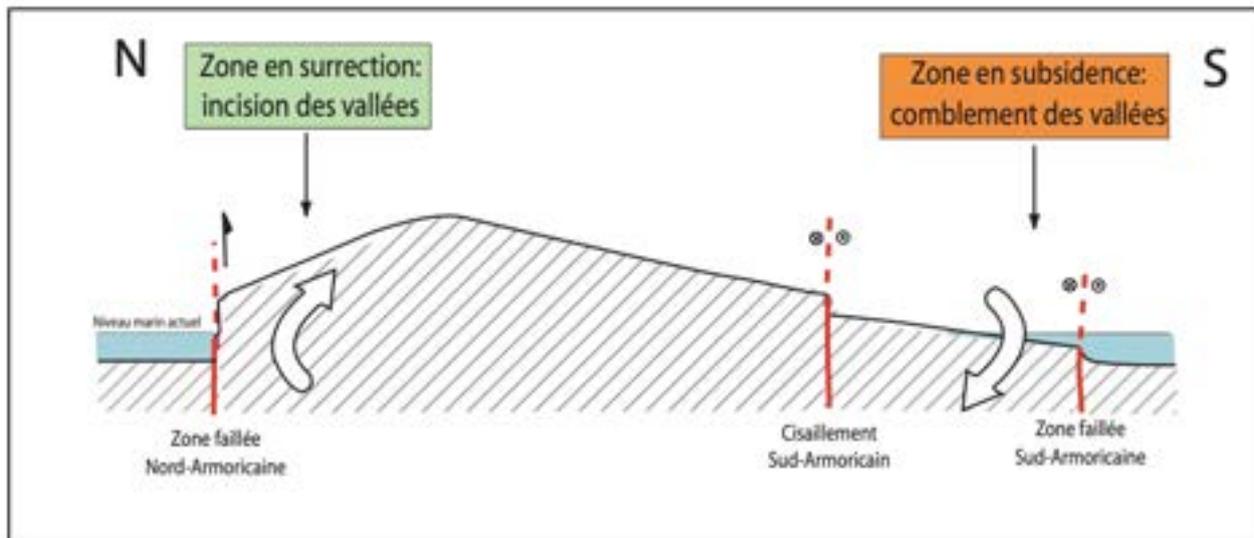


Figure 14 : Tectonique de basculement : Soulèvement de la marge Nord - affaissement de la marge Sud (source Menier, 2003)

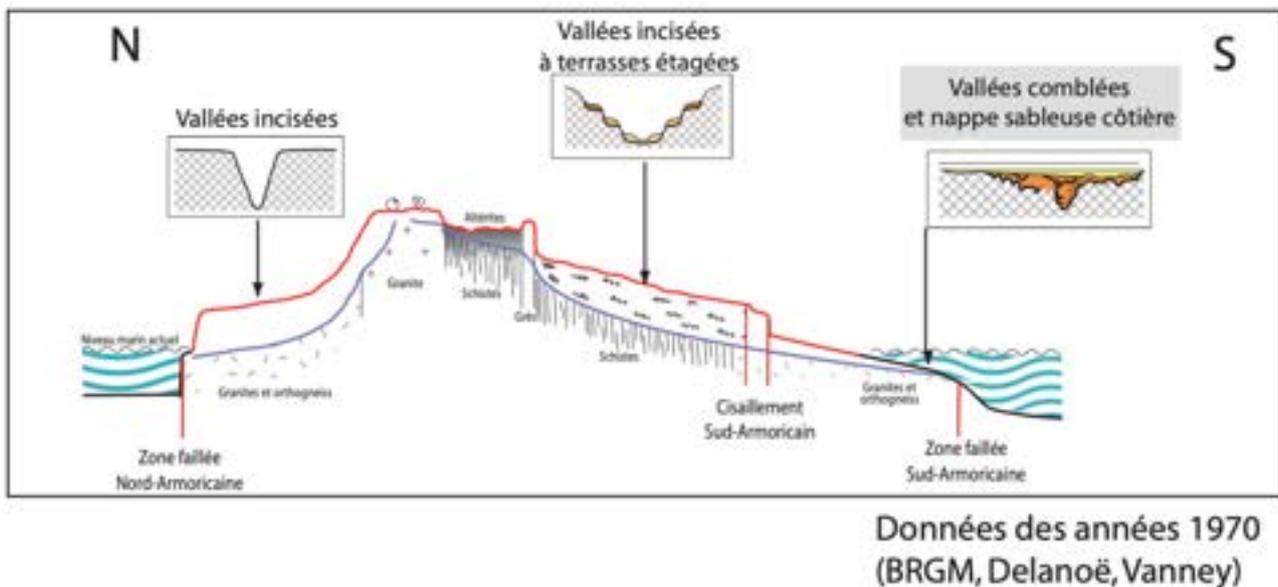


Figure 15 : Conséquence dans le comblement des vallées du Sud Bretagne (source Menier, 2003)

6.3.2 Géologie de la Bretagne Sud (littoral et partie terrestre)

Un faciès de roches magmatiques (en rose sur la Planche 14B) constitué de granites de Ploemeur est présent sur toutes les parties saillantes du littoral de la rade de Lorient, de la pointe de Gâvres, d'Erdeven, de Plouharnel ainsi que de l'isthme de Saint-Pierre Quiberon et de Quiberon. La façade littorale de Guidel à Quiberon est majoritairement constituée d'un ensemble de roches telles que le granite de Ploemeur (leucogranite) et le granite de Carnac à biotite (mica noir). Une partie du bassin du Blavet, mais également le bassin de Clohars-Carnoët et de Guidel, se trouve sur des roches métamorphiques, de type micaschiste (en vert sur la Planche 14B).

6.3.3 Géologie de la Bretagne Sud (zone du débat public, partie maritime)

La partie côtière de l'aire d'étude est formée :

- ▷ Des **granites alcalin** sur sa partie Ouest et Nord-Est à la côte (en rose sur la planche 13) datant du Paléozoïque (Carbonifère)
- ▷ Des **micaschistes** sur la partie Nord et Est (en vert clair sur la planche 13) qui représente l'unité du Saint-Gilles – Pouldu, datant du Paléozoïque (Ordovicien – Dévonien inférieur)
- ▷ Des **micaschistes** sur la partie Nord-Est, en dessous de la formation précédente (en vert foncé sur la planche 13) qui représente l'unité de Groix-Céné datant du Paléozoïque (Cambro-ordovicien)
- ▷ Des **calcaires à nummulites** (e5-6 en jaune clair) sur la zone W et SW, datant de l'Eocène (Lutétien-Bartonien)
- ▷ Des **sables jaunes glauconieux à grandes foraminifères** (e4 en jaune foncé), sur la centrale et sud, datant de l'Yprésien.
- ▷ Du **mélange de Dolomie azoïque avec de la craie fossilifère** (e1-3 ej en orange), sur la partie centrale et SE, supposé dater Crétacé supérieur.

Sur l'ensemble de la zone d'étude, ces formations géologiques peuvent affleurer et traverser la couche de sédiment en place du Quaternaire (couche peu épaisse entre 0 et 5m de hauteur, en dehors des paléovallées), sur de nombreuses zones, formant ainsi des pointements rocheux. Ces pointements sont de endroits qui peuvent être riche en biodiversité (colonisation par de la faune sessile ou fixée).

À noter que Groix et Belle-Île sont répertoriés comme des ensembles géologiques d'envergure présentant chacun plusieurs sites d'intérêt géologique régional, national, voire internationaux, à Groix avec le Vallon de Kérigant. Il existe même une réserve nationale géologique sur l'île.

Il est donc possible de résumer la nature géologique des couches :

- ▷ Au NW à la côte, du **granite**
- ▷ Au Nord puis en allant vers le SE de la zone, deux formations de **micaschistes**
- ▷ À l'Ouest, au Centre et au Sud de la zone, des **calcaires**

6.3.4 Zoom sur l'unité de Groix-Céné

Comme le montre la carte 13, il existe une vaste unité géologique d'environ 50 Km de long sur 10 Km de large, dénommé « Unité de Groix-Céné ». Cette unité représente un vestige de la subduction de l'océan Galice – Massif-Central sous le microcontinent Armorica qui a eu lieu au Paléozoïque (durant l'Ordovicien, il y a environ 465 Millions d'années).

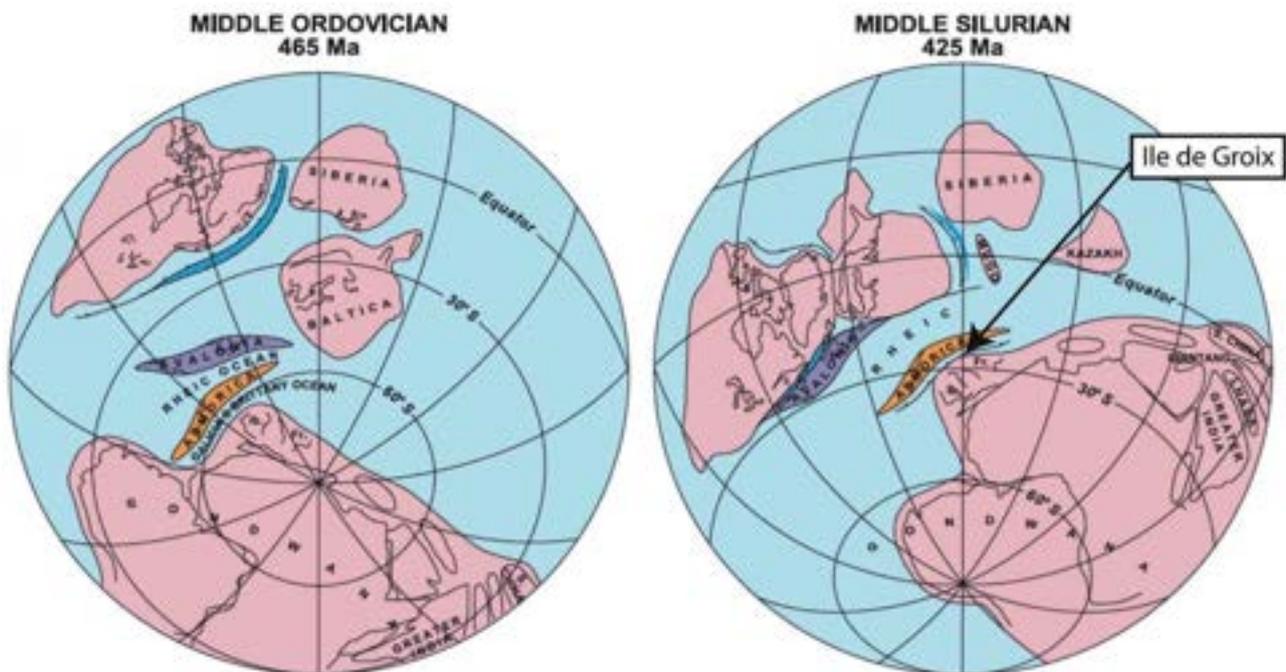


Figure 16 : La paléogéographie de la chaîne varisque au Paléozoïque (source Web, Matte 2001)

La chaîne varisque (ou hercynienne) résulte de la convergence de deux grands blocs lithosphériques continentaux : le Gondwana au Sud et la Laurussia au Nord. Cette convergence s'initie au Silurien. Ces blocs lithosphériques continentaux sont séparés par les océans Rhéique au Nord et Galice – Massif-Central (ou Centralien) au Sud, de part et d'autre d'un microcontinent : l'Armorica. L'étendue de l'océan Galice – Massif-Central est un paramètre encore débattu aujourd'hui.

L'unité de Groix-Céné a été transportée (elle est allochtone) sur les terrains en place (dits autochtones) du domaine Sud-armoricain. Elle est composée de micaschistes et amphibolites à faciès, à schistes bleus, et individualisée par une discontinuité majeure (de direction N-120) relevant de l'histoire fin-hercynienne.

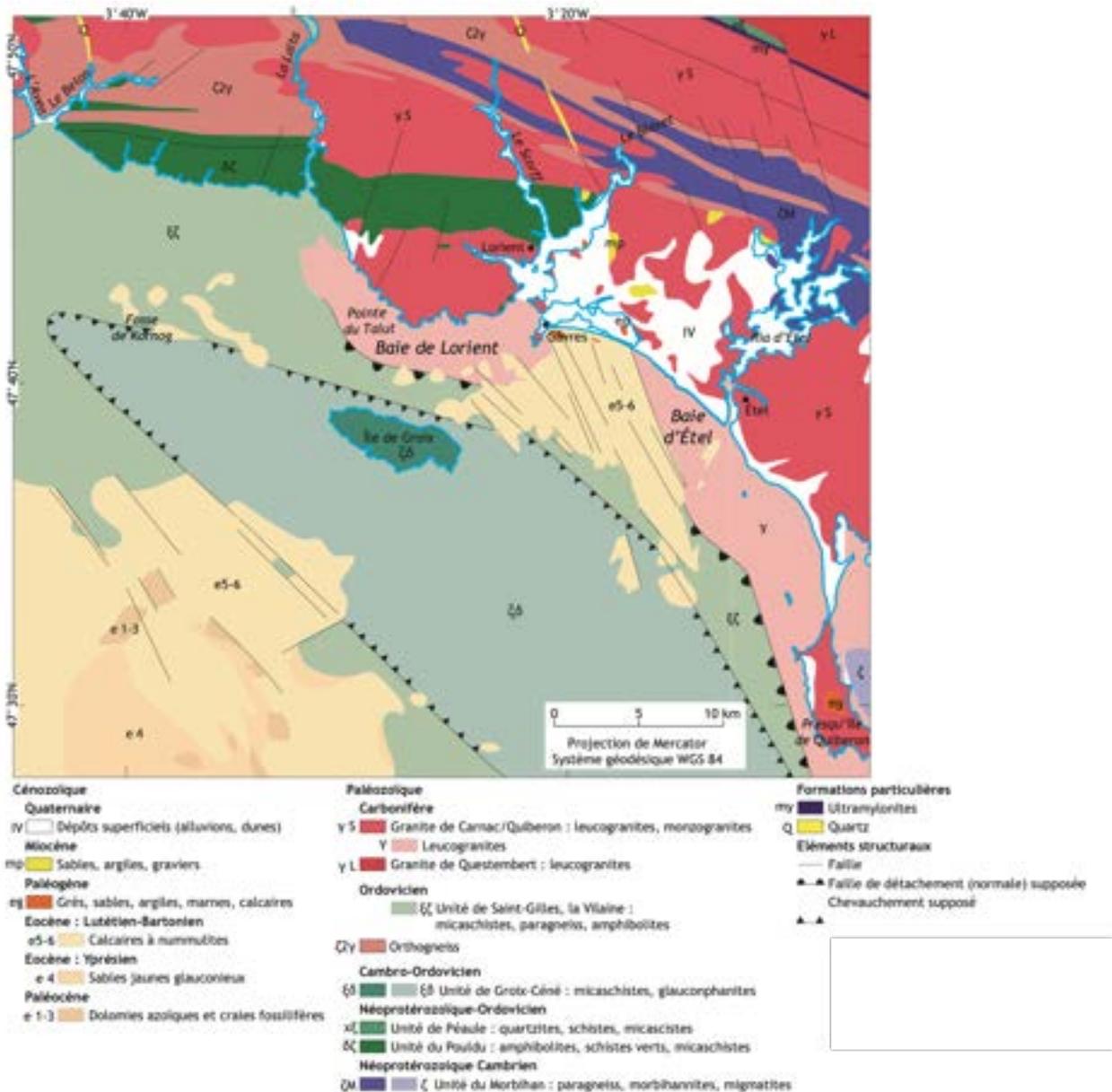


Figure 17 : Géologie simplifiée de la façade Lorient - Étrel (source Menier, 2014)

Il est à rappeler que les micaschistes sont des roches métamorphiques, c'est à dire une roche qui se débite en feuillets. Un micaschiste contient de nombreuses lamelles de micas qui forment souvent des feuillets entiers. Le mica a une très faible dureté mais le micaschiste peut contenir des grains de quartz qui raient le verre; le grenat est à peu près de la même dureté qu'une lame de métal et ne raie donc pas le verre.

7 CONCLUSION GENERALE

Les connaissances sur la formation du Massif armoricain et les campagnes sismiques des années 2000, ont permis une bonne compréhension :

- ▷ Du modèle géologique et de la nature du substratum
- ▷ Des paléovallées fluviales et de leurs incisions dans le substratum

Les données sismiques ont été acquises essentiellement sur la moitié Nord de la zone d'étude au large. Il est donc évident qu'une campagne sismique de haute résolution, associée à du carottage, doit permettre de comprendre les enjeux locaux et d'affiner le modèle géologique.

7.1 DETAIL SUR LE NORD DE LA ZONE (ZONE DES CORRIDORS)

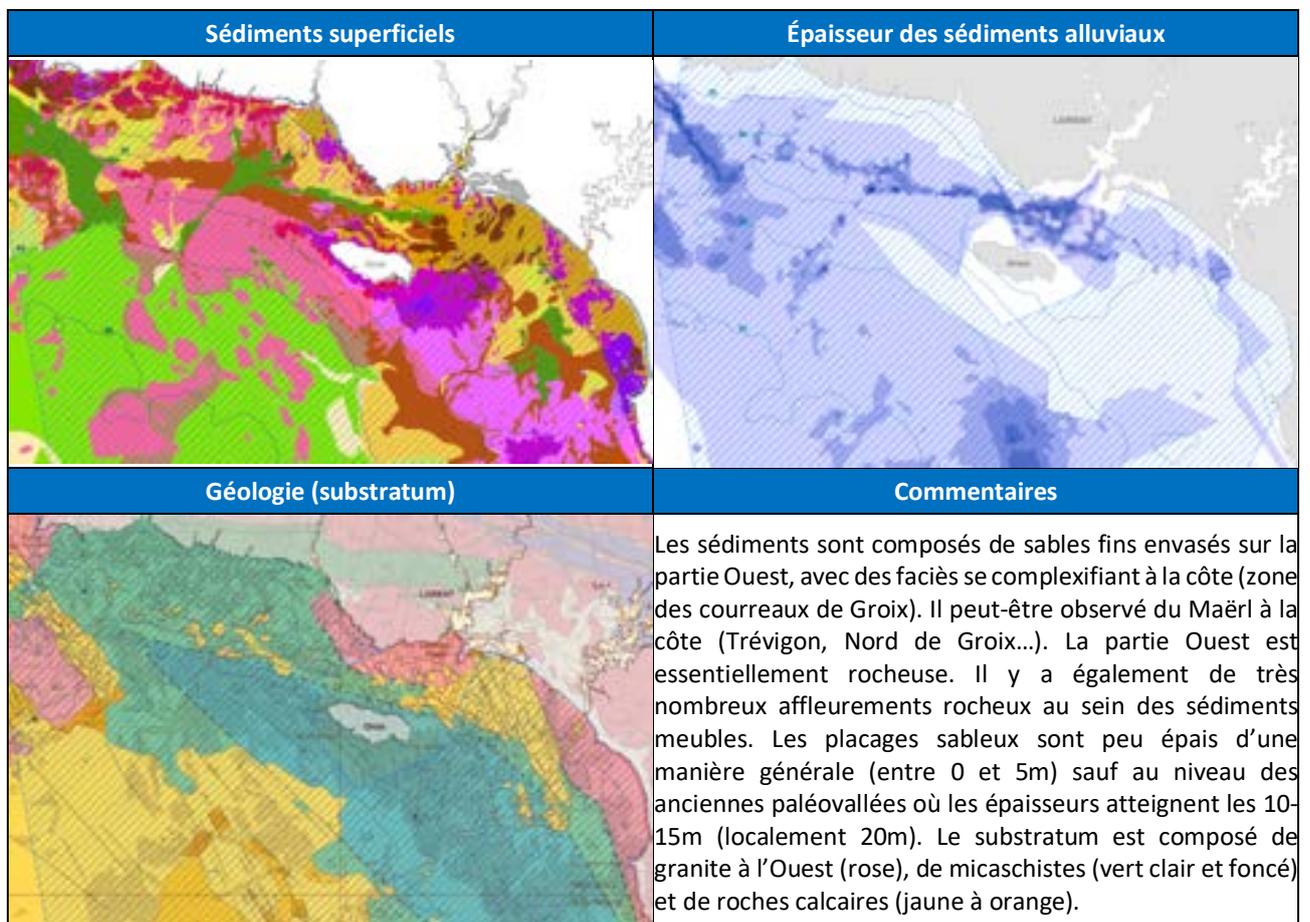


Figure 18 : Extraits des planches sur la nature sédimentaire superficielle (Planche 7), l'épaisseur du remplissage des paléovallées (planche 8) et la nature du substratum (planche13) pour la partie Nord de la Zone

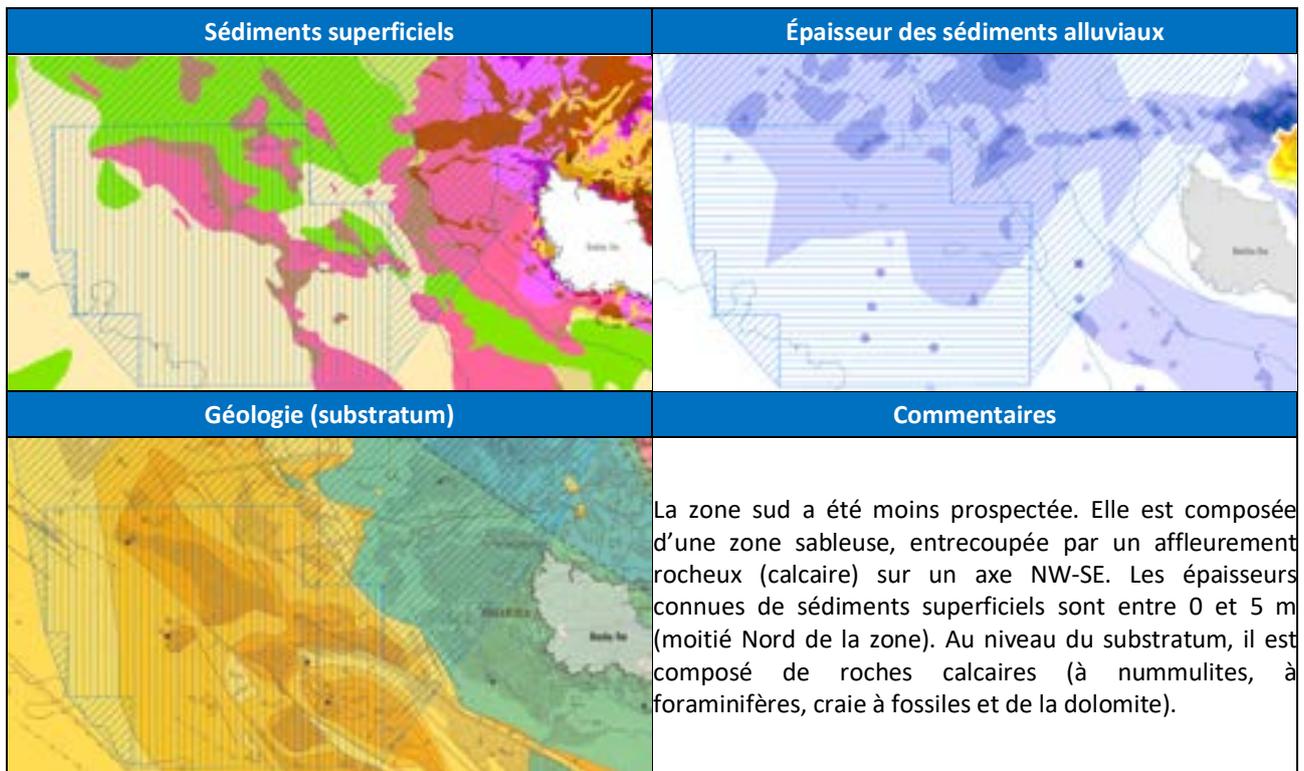
7.2 DETAIL SUR LE SUD DE LA ZONE (ZONE FUTURE DES PARCS EOLIENS FLOTTANTS)


Figure 19 : Extraits des planches sur la nature sédimentaire superficielle (Planche 7), l'épaisseur du remplissage des paléovallées (planche 8) et la nature du substratum (planche 13) pour la partie Sud de la Zone



8 BIBLIOGRAPHIE

- Augris, C, 2012. Inventaire des ressources en matériaux marins. Façades « Bretagne » et « Sud-Gascogne ». IFREMER
- Menier D., Augris C. et Briend C. (coord.), 2014. Les réseaux fluviatiles anciens du plateau continental de Bretagne Sud. Éd. Quae. 104 pages.
- Guilhem Estournès a,b et al., 2012. The paleo-Etel River incised valley on the Southern Brittany inner shelf (Atlantic coast, France): Preservation of Holocene transgression within the remnant of a middle Pleistocene incision? *Marine Geology* 329–331 (2012) 75–92
- Menier D., 2003. Morphologie et remplissage des vallées fossiles sud-armoricaines : Apport de la stratigraphie sismique. *Minéralogie*. Université Rennes 1.
- Menier D., Augris C. et Briend C. (coord.), 2014. Les réseaux fluviatiles anciens du plateau continental de Bretagne Sud. Éd. Quae. 104 pages.
- SHOM, 2020. Description de l'état de la connaissance et des caractéristiques physiques de la macrozone éolien en mer de Bretagne Sud

9 GLOSSAIRE

- ▷ **Bathymétrie** : Équivalent sous-marin de la topographie, c'est-à-dire description du relief immergé grâce aux mesures de profondeurs.
- ▷ **Benthique** : Adjectif qui qualifie l'interface eau-sédiment (interface eau-lithosphère) d'un écosystème aquatique, quelle qu'en soit la profondeur. Qualifie un organisme vivant libre (vagile) sur le fond ou fixé (sessile).
- ▷ **Biocénose** : Ensemble des organismes vivants (animaux et végétaux - dont microorganismes) qui occupent un écosystème donné.
- ▷ **Biotope** : Espace caractérisé par des facteurs climatiques, géographiques, physiques, morphologiques et géologiques, en équilibre constant ou cyclique et occupé par des organismes qui vivent en association spécifique (biocénose). C'est la composante non vivante (abiotique) de l'écosystème.
- ▷ **B.P** : Before present. Avant l'ère actuelle
- ▷ **Circalittoral** : Étage du domaine benthique néritique qui s'étend depuis 40 m de profondeur environ (limite inférieure de vie des algues photophiles) jusqu'à la limite de la zone euphotique, laquelle dépend de la plus ou moins grande transparence des eaux, en général une centaine de mètres (limite des algues les plus tolérantes aux faibles éclaircissements, les sciaphiles).
- ▷ **CM ou Cote marine** : accompagne une profondeur d'eau par rapport au zéro hydrographique. 2 m CM correspond à une cote bathymétrique de 2 m en dessous du zéro hydrographique. Par convention, comme sur les cartes marines du SHOM, il n'y a jamais de moins (-) devant le chiffre. Quand la sonde est au-dessus du zéro hydrographique, elle est alors notée par un plus (+) dans un corps de texte ou alors soulignée les une cartes (2).
- ▷ **Démersal** : Qualifie une espèce vivant libre à proximité du fond, c'est-à-dire sans être véritablement lié à celui-ci de façon permanente.
- ▷ **Estran** : Partie du littoral alternativement couverte et découverte par la mer (zone de balancement des marées).
- ▷ **Étale** : Phase du cycle de marée au cours de laquelle le niveau de la mer atteint sa valeur extrême (haute ou basse) et reste approximativement stable pendant une courte durée.
- ▷ **Flot** : Courant de marée dans le sens de la marée montante.
- ▷ **Géomorphologie** : Étude des formes du relief.
- ▷ **Géophysique** : Science ayant pour objet l'étude et la connaissance des propriétés physiques du globe terrestre.
- ▷ **Habitats** : Milieu dans lequel vit une espèce ou un groupe d'espèces animales ou végétales. Ce sont des zones terrestres ou aquatiques possédant des caractéristiques biogéographiques et géologiques particulières et uniques.
- ▷ **Houle** : Mouvement ondulatoire de la surface de la mer qui se propage sur de longues distances, indépendamment du vent local qui lui a donné naissance.
- ▷ **Infralittoral (étage)** : Étage du domaine benthique littoral dont la limite supérieure est marquée par les peuplements qui sont soit toujours immergés soit très rarement émergés. Sa limite inférieure est celle qui est compatible avec la vie des algues photophiles.
- ▷ **Isobathe** : Sur une carte marine, ligne joignant entre eux les points de même profondeur.
- ▷ **Isopaque** : Ligne stratigraphique correspondant au lieu de tous les points d'épaisseur égale, notamment d'une couche sédimentaire.
- ▷ **Jusant** : Courant de marée portant dans le sens de la marée descendante.
- ▷ **Marnage** : Différence entre les hauteurs d'une pleine mer et d'une basse mer consécutives.
- ▷ **Mers de vent** : Système de vagues observé en un point situé dans le champ de vent qui les engendre.
- ▷ **Paléovallée** : Vallée dont la formation géologique remonte à des temps anciens.
- ▷ **Sédimentologie** : Discipline qui étudie les caractéristiques, les processus de mise en place et la disposition des particules meubles soit pendant leurs déplacements, soit une fois déposées.



- ▷ **Topographie** : Discipline technique qui fixe les règles à suivre pour mesurer et décrire objectivement les formes du terrain à terre et sur l'estran. Par extension, ces formes elles-mêmes.
- ▷ **Transect** : Levé ou relevé, réalisé transversalement par rapport à un espace souvent étiré longitudinalement. Il est constitué d'une série cohérente d'observations qui ont pour but de déterminer s'il existe dans l'espace concerné une zonation disposée parallèlement à son grand axe.
- ▷ **Zéro hydrographique** : Le zéro hydrographique (ou zéro des cartes du SHOM) est la référence de niveau commune pour les mesures de profondeur en mer (ou plan de référence des sondes) sur une carte marine ainsi que pour les prédictions de marée des annuaires de marée. Sur les cartes marines françaises, le zéro hydrographique est adopté au voisinage du niveau théoriquement atteint par les plus basses mers astronomiques (marée de coefficient 120 - ou basse mer astronomique extrême ; en anglais LAT : Lowest Astronomical Tide). Le niveau des plus basses mers astronomiques est obtenu par calcul à partir des données des marégraphes. Le niveau de la mer peut être très exceptionnellement inférieur (par exemple par situation anticyclonique et vent soufflant de terre lors de coefficient de marée maximums). Le choix du zéro hydrographique au voisinage de ce niveau garantit ainsi quasiment toujours au navigateur une profondeur supérieure à la sonde indiquée sur la carte.

10 ÉCHELLES STRATIGRAPHIQUE DES TEMPS GEOLOGIQUES

Eon	Ere	Période	Epoque	Début	Événements
PHANÉROZOÏQUE	CENOZOÏQUE	Quaternaire	Holocène	-10300 ans	20 glaciations (tous les 100 000 ans environ)
			Pléistocène	-1,9 millions	
		Néogène	Pliocène	-5,5 millions	homo sapiens
			Miocène	-23 millions	Séparation de la lignée humaine et de la lignée des chimpanzés
			Oligocène	-33 millions	
		Paléogène	Eocène	-53 millions	
			Paléocène	-65 millions	50% d'extinction des êtres vivants
			Crétacé	-130 millions	extinction des dinosaures
		MESOZOÏQUE	Jurassique	-205 millions	apparition des dinosaures
	Trias		-245 millions		
	Permien		-250 millions	90% d'extinction des êtres vivants éruptions volcaniques importantes continents regroupés	
	PALEOZOÏQUE	Carbonifère	-360 millions		
		Devonien	-400 millions	60% d'extinction des êtres vivants	
		Silurien	-420 millions	sortie des eaux	
		Ordovicien	-500 millions	60% d'extinction des êtres vivants	
		Cambrien	-570 millions	explosion du cambrien Faune de Burgess	
		PRECAMBRIEN			

Figure 20 : Échelle stratigraphique des temps géologiques (source Web)

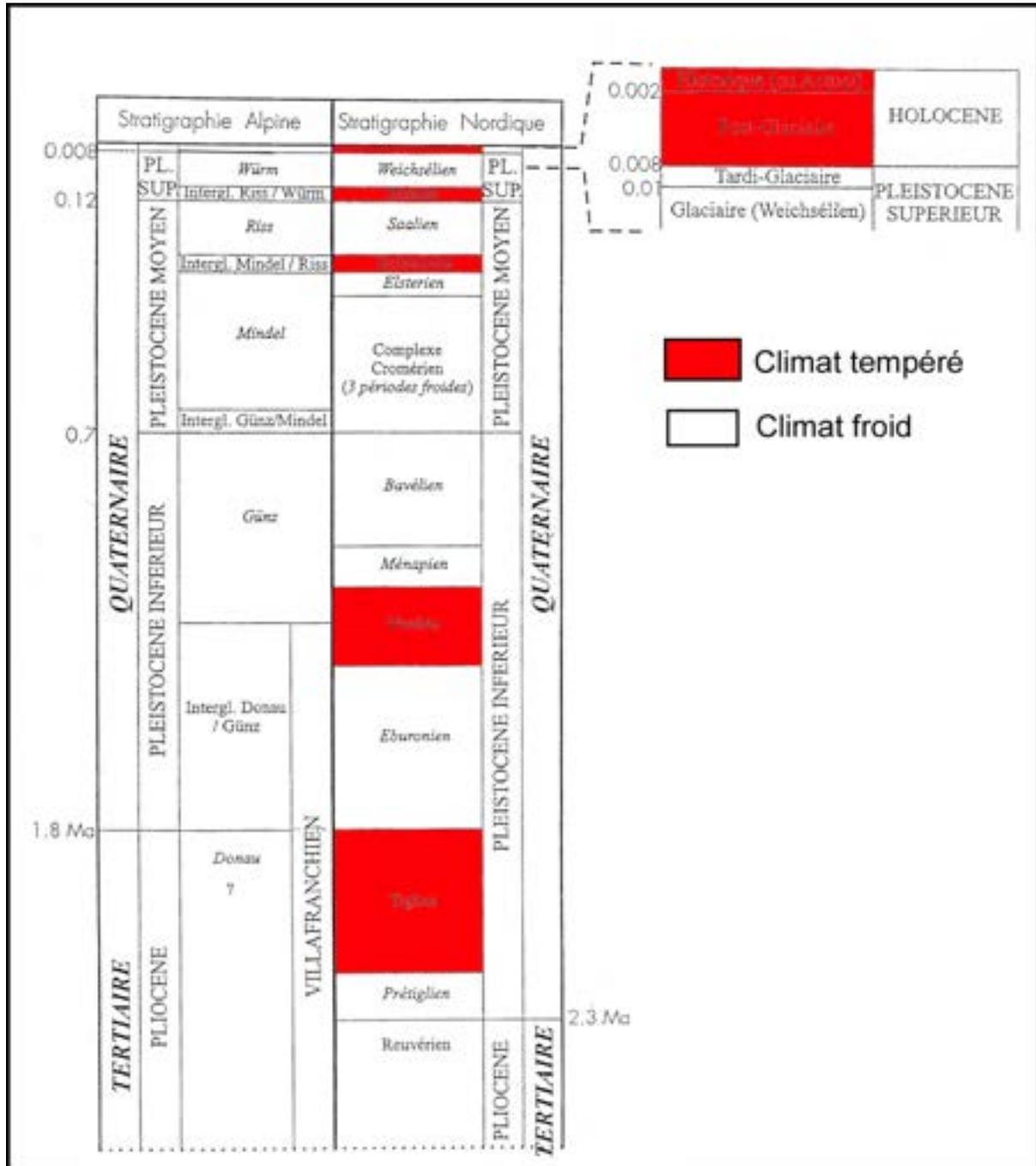


Figure 22 : Échelle stratigraphique du Quaternaire (inspiré de Zagwijn 1985 et de Grellet et al. 1993)

11 L'ETAGEMENT PHYTAL

La pénétration de la lumière conditionne essentiellement l'étagement des populations algales et de la faune associée dans le milieu marin en substrat rocheux. Cependant, la lumière est elle-même tributaire des facteurs comme l'agitation et les courants, en partie responsables de la turbidité, liée à la présence de matières en suspension. Par l'observation des peuplements du littoral de la Manche et de l'Atlantique, ainsi que les phénomènes de marées, il a été possible de définir des étagements ou niveaux, qui décrivent le paysage sous-marin, en différentes zones remarquables. Ils ont été décomposés en quatre zones distinctes :

- ▷ le **Supralittoral**, qui correspond à l'étage des lichens que seuls les embruns atteignent
- ▷ l'**Intertidal** ou **Médiolittoral**, qui désigne la zone de balancement des marées ou estran, pour un marnage de grandes vives-eaux de coefficient théorique 120
- ▷ l'**Infralittoral**, qui n'est jamais découvert aux basses mers de grandes vives-eaux et qui se termine à la limite d'implantation des grandes algues (par exemple des Laminaires...);
- ▷ le **Circalittoral**, découpé en deux, par le circalittoral côtier, qui se termine avec la disparition du peuplement algal, et le circalittoral du large, composé exclusivement d'espèces animales.

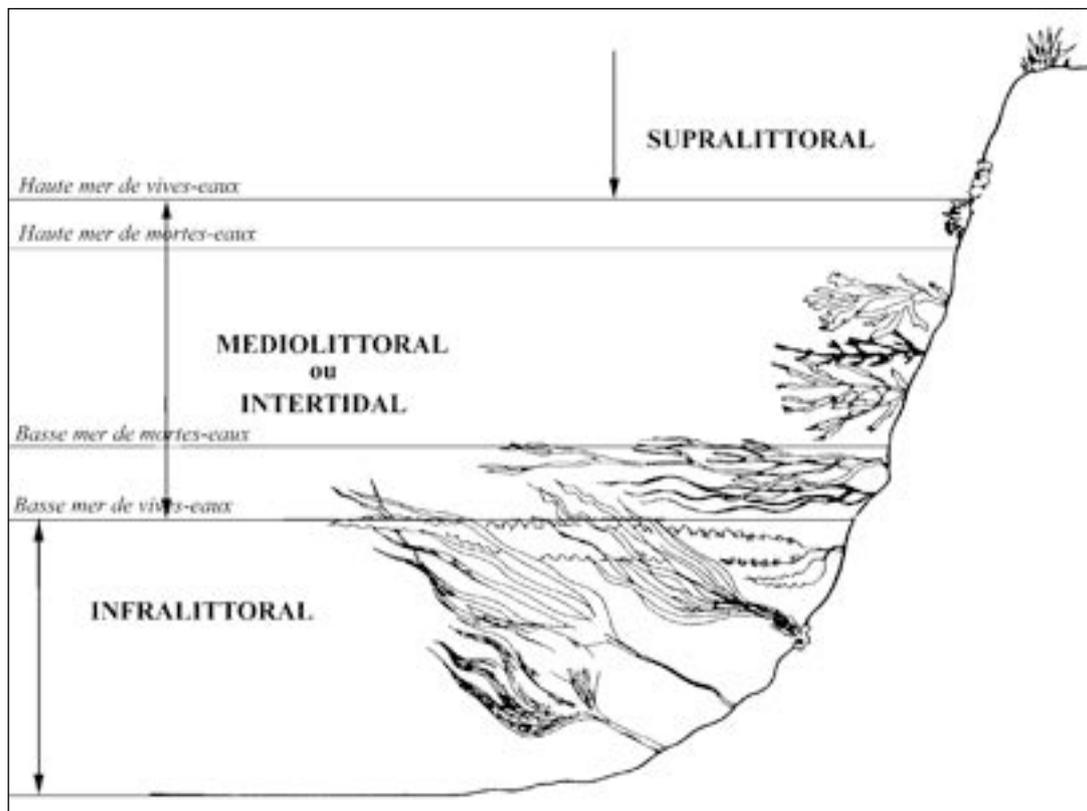


Figure 23 : Zonation phytale (source : Adms)

La particularité du substrat rocheux fait qu'il est essentiellement exploité au niveau de sa surface (fixation) avec un ensemble d'organismes, dénommé « épibiose sessile », fixé de façon définitive sur le substrat. Les espèces luttent pour l'occupation du maximum de surface disponible, et sont autant animales que végétales, avec une biodiversité très importante, et des abondances généralement moyennes.

11.1 LE SUBTIDAL ROCHEUX : ETAGEMENTS ET NIVEAUX

Le **subtidal rocheux** (le substrat dur en dessous du niveau des plus basses mers) est le regroupement des étages infralittoraux et circalittoraux.

L'infralittoral commence au niveau 0 Cote Marine (c'est-à-dire au niveau de la basse mer du coefficient théorique de 120) et se termine avec la disparition des grandes algues dressées. Son étalement en profondeur est donc variable suivant la pénétration de la lumière, pour des zones très turbides, l'infralittoral peut se terminer à 8 m CM (exemple de la côte du Croisic), tandis que dans des eaux claires, elle s'enfonce plus en profondeur à 32 m CM (dans l'archipel des Glénan). L'infralittoral se subdivise également en 3 niveaux, exprimés sous la forme de ceintures ou d'horizons en fonction de leur extension en profondeur. Une ceinture a une extension de l'ordre du mètre, tandis qu'un horizon s'étend sur plusieurs mètres en profondeur. **L'étage infralittoral** se caractérise par une forte instabilité environnementale et par une zone continuellement immergée, avec de grandes algues photophiles (qui aiment la lumière) : Laminaires et Fucales sous-marines (Sargasses, Cystoseires, Algues Gousse d'ajonc...), avec des prairies denses d'algues de petites tailles (sous-strate) et la dominance de la flore sur la faune fixée. Les ceintures et horizons sont : niveau 1 (ceinture à *Laminaria digita*), niveau 2 (horizon à grandes algues denses) et niveau 3 (horizon à grandes algues clairsemées).

Le circalittoral commence à la disparition des grandes algues dressées (fin de l'infralittoral) et s'étend jusqu'à la fin du plateau continental (talus continental), où commencent alors les étagements abyssaux. Le circalittoral se divise en deux niveaux : le circalittoral côtier caractérisé par la présence d'algues sciaphiles (*qui aiment l'ombre*), de densité décroissante avec la profondeur et la dominance de la faune fixée sur la flore, et le circalittoral du large caractérisé par l'absence d'algues dressées. La fin de l'étage circalittoral du large détermine le commencement du système aphytal. **L'étage circalittoral** se caractérise par une zone de faibles variations environnementales ou la faune fixée domine sur la flore.

Il est à noter que l'influence de la houle touche peu le circalittoral. C'est pourquoi seuls les niveaux de l'infralittoral peuvent être décrits sous la forme de deux modes : battus et calmes, qui déterminent alors à nouveau des peuplements spécifiques.

Cette représentation a été définie par Annie Castric-Fey (dans différentes publications : 1973, 1978, 1997, 2001...) comme suit :

- ▷ **Etage supralittoral** (= zone des embruns marins), caractérisé par les lichens
- ▷ **Etage médiolittoral** (= zone de balancement des marées ou estran), caractérisé par des ceintures de fucales émergées (*Pelvetia, Fucus, Ascophyllum*) ou des populations de crustacés et mollusques fixés sur la roche (balanes, patelles, moules...).
- ▷ **Etage infralittoral** (= zone continuellement immergée, à forte instabilité environnementale), caractérisé par de grandes algues photophiles : laminaires et fucales sous-marines (*Sargassum, Cystoseira, Halidrys*) et la dominance de la flore sur la faune fixée.
 - -ceinture de *Chondrus - Mastocarpus* (émergée en marée de vive eau).
 - « Niveau 1 » (facultatif) = ceinture à *Laminaria digitata*
 - « Niveau 2 » = étage infralittoral supérieur = ceinture à laminaires denses (« kelp forest »), ou à fucales sous-marines denses.
 - -« Niveau 3 » = étage infralittoral inférieur = ceinture à laminaires clairsemées (« laminarian park »), ou à fucales sous-marines clairsemées et prairies denses d'algues de petite taille (*Dictyopteris membranacea*...).
- ▷ **Etage circalittoral** (=zone de faibles variations environnementales)
 - « Niveau 4 » = étage circalittoral supérieur = Horizon circalittoral côtier = Les laminaires sont désormais absentes. Niveau caractérisé par la présence d'algues sciaphiles (*Dictyopteris membranacea, Rhodymenia pseudopalmata*...) de densité décroissante avec la profondeur et la dominance sur la flore de la faune fixée (gorgones, roses de mer, éponges axinellides et brachiopodes...).
 - « Niveau 5 » = étage circalittoral inférieur = Horizon circalittoral du large = Niveau caractérisé par l'absence d'algues dressées et l'apparition d'un nouveau stock d'animaux fixés (*Dendrophyllia cornigera, Swiftia rosea, Porella compressa*...) : faune fixée sciaphile dominante.

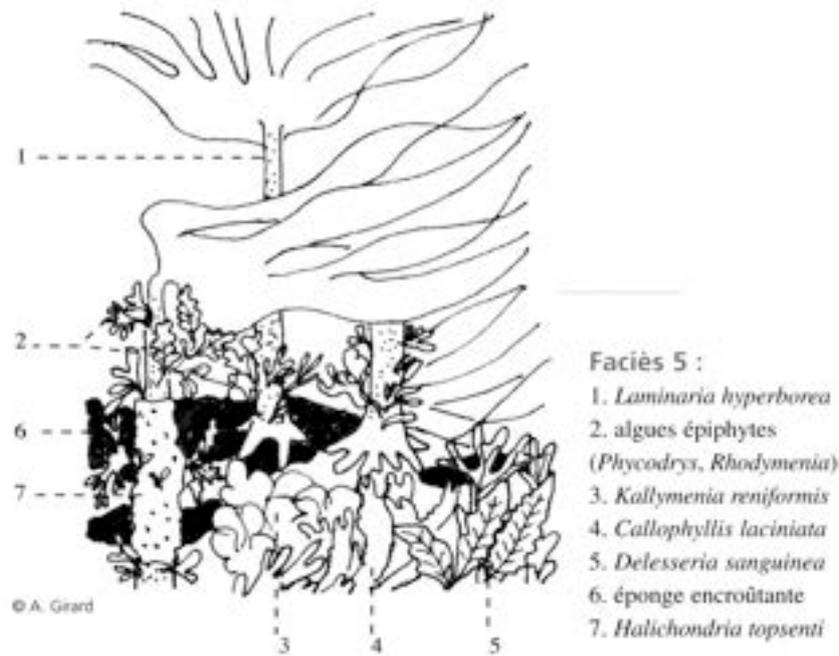


Figure 24 : Exemple de schématisation de la forêt de Laminaires hyperborées (source ADMS)

La déclinaison en ceintures et horizons peut-être également classée en fonction de la turbidité de l'eau et/ou de l'agitation.

Ceinture algale	Milieu peu turbide		Milieu très turbide
	Site exposé	Site abrité	
Frange infralittorale (facultative) =Niveau 1	Présence de <i>Laminaria digitata</i>	Présence de <i>Laminaria digitata</i> ou <i>Padina pavonica</i>	Présence de <i>Padina pavonica</i>
Infralittoral supérieur =Niveau 2	"Forêt de laminaires denses" : Laminaires (<i>Laminaria digitata</i> , <i>Laminaria hyperborea</i> , <i>Laminaria ochroleuca</i> et <i>Saccorhiza polyschides</i>) densité $\geq 3/m^2$	Champs de <i>Cystoseira</i> spp. et <i>Halidrys siliquosa</i> ($\geq 3ind/m^2$)	<i>Sargassum muticum</i> et/ou <i>Halidrys siliquosa</i> , parfois associées avec <i>Laminaria hyperborea</i> , et/ou <i>Saccorhiza polyschides</i> ($\geq 3ind/m^2$). Sous strate composée d'algues rouges sciaphiles
Infralittoral inférieur =Niveau 3	"Forêt de laminaires clairsemées" : Laminaires (<i>Laminaria digitata</i> , <i>Laminaria hyperborea</i> , <i>Laminaria ochroleuca</i> et <i>Saccorhiza polyschides</i>) densité $< 3/m^2$	Champs de <i>Solieria chordalis</i> ($< 3ind/m^2$)	Rares <i>Sargassum muticum</i> et/ou <i>Halidrys siliquosa</i> éparées ($< 3ind/m^2$). Abondance d'algues rouges sciaphiles <i>Solieria chordalis</i> et de la faune fixée
Circalittoral côtier =Niveau 4	Absence de laminaires et présence d'algues sciaphiles (<i>Dictyopteris polypodioides</i> , <i>Rhodymenia pseudopalmata</i> ...), prédominance de la faune fixée	Absence de <i>Solieria chordalis</i> et présence d'algues sciaphiles (<i>Dictyopteris polypodioides</i> , <i>Rhodymenia pseudopalmata</i> ...), prédominance de la faune fixée	Dominance de la faune fixée, algues foliacées rares
Circalittoral du large =Niveau 5	Algues dressées absentes. Apparition de faune sciaphile	Algues dressées absentes. Apparition de faune sciaphile	Dominance de la faune fixée, algues dressées absentes

Tableau 4 : Autre représentation des ceintures (Derrien, 2011)