



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès immédiat

Aperçu géologique de la façade Nord Atlantique - Manche Occidentale

Rapport final

BRGM/RP-73271-FR

Version A du 22 mars 2024

Convention BRGM / MTE [DGEC] EJ n° 2201426043

Paquet F.


Vérificateur :

Nom : Olivier Serrano

Fonction : Responsable d'unité GBS

Date : 15/04/2024

Signature :


l'unité
Géologie des bassins et des stockages

Approbateur :

Nom : Christophe Didier

Fonction : Directeur des Géorressources

Date : 16/04/2024

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM
est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr

Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctg> ou par ce code :



Mots clés : Géologie Marine, Plateau Continental, Atlantique, Manche Occidentale

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Paquet F. 2024. Aperçu géologique de la façade Nord Atlantique - Manche Occidentale. Rapport final - A. BRGM/RP-73271-FR, 62 p.

© BRGM, 2024, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
IM003-MT008-P2-09/03/2023

Synthèse

Ce rapport constitue la réponse à la sollicitation du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) par la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) relative à l'amélioration de la connaissance de la géologie du plateau continental français, dans le cadre de son programme de développement des Énergies Marines Renouvelables (EMR).

A cet égard, la DGEC a confié au BRGM la réalisation d'études sur la connaissance géologique dans des zones ayant vocation à accueillir des projets éoliens en mer. Ces études, détaillées dans la convention BRGM / MTE [DGEC] n° EJ 2201426043, sont nécessaires au développement optimal de l'éolien en mer prévu par plusieurs textes législatifs nationaux et européens, dont la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) pour la période 2019-2028. Elles constituent également un premier niveau de mise à disposition des connaissances géologiques à l'attention de la société civile et pourront servir de base aux débats publics pour les projets de parcs éoliens en mer.

L'action du BRGM se décline en plusieurs phases, incluant la rédaction d'une série de quatre rapports synthétiques présentant un état des connaissances géologiques « grande-échelle » sur chacune des quatre façades maritimes métropolitaines :

- Manche Est – Mer du Nord (MEMN),
- Nord Atlantique – Manche Occidentale (NAMO),
- Sud Atlantique (SA),
- Méditerranée (MED).

Ces rapports constituent les livrables de la première phase, dite de Lot Préliminaire (Lot P), de la convention.

Le présent rapport correspond à l'aperçu géologique de la Façade Nord Atlantique – Manche Occidentale. Il aborde plusieurs aspects de la géologie incluant :

- La géomorphologie, décrivant les principaux traits du relief du fond marin,
- La nature des fonds et les grands ensembles sédimentaires meubles,
- Les ensembles géologiques, la stratigraphie et la structuration globale du substratum,
- Les lithologies du substratum rocheux sub-affleurant, détaillées par périodes et époques et à l'échelle du millionième,
- La liste des données géologiques et géophysiques disponibles.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Géomorphologie des fonds marins	11
3. Nature des fonds et grands ensembles sédimentaires meubles	24
3.1. nature des fonds	24
3.2. Ensembles sédimentaires meubles	25
4. Ensembles géologiques, stratigraphie et structuration globale du substratum	30
4.1. La manche occidentale	31
4.2. La marge nord-gascogne et le plateau sud armoricain	35
4.3. Socle du massif armoricain	38
4.4. structures tectoniques majeures.....	43
5. Lithologies du substratum rocheux	45
6. Données géologiques et géophysiques	51
6.1. Données géophysiques	51
6.2. Données géologiques.....	55
6.3. données géologiques et géophysiques de l'exploration pétrolière	56
7. Références.....	58

Liste des figures

Figure 1 : Vue d'ensemble de la façade NAMO, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023). L'encadré en pointillé indique l'emprise de la carte en Figure 6.	9
Figure 2 : Localisation des principaux reliefs positifs à forte rugosité au sein de la façade NAMO, entre la Baie de Saint-Brieuc et la Baie d'Audierne, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).	13
Figure 3 : Localisation des principaux reliefs positifs à forte rugosité au sein de la façade NAMO, entre la Baie d'Audierne et l'Île de Noirmoutier, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).	14
Figure 4 : Localisation des bancs sableux (pointillés), entre la Baie du Mont-Saint-Michel et la Baie de Saint-Brieuc, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).	15
Figure 5 : Localisation des bancs sableux (pointillés), au large du Finistère, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).	16
Figure 6 : Localisation des dunes (cercles), au nord du Finistère, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).	17
Figure 7 : Localisation des bancs sableux formant des crêtes orientées NNE-SSO, à l'ouest du Finistère, au niveau des Approches Occidentales de la Manche, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).	18
Figure 8 : Mise en évidence des paléovallées sur la morphologie du fond dans le Golfe Normand-Breton, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).	19

Figure 9 : Mise en évidence des paléovallées sur la morphologie du fond, à l’ouest du Finistère, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).....	20
Figure 10 : Mise en évidence des paléovallées sur la morphologie du fond en Bretagne sud, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).....	21
Figure 11 : Mise en évidence des paléovallées sur la morphologie du fond à l’ouest de l’embouchure de la Loire et de la Baie de Bourgneuf, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).	22
Figure 12 : Mise en évidence des fosses sur la morphologie du fond en Manche Occidentale – Bretagne nord, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).	23
Figure 13 : Cartographie de la nature des fonds issue de la Carte Sédimentologique Mondiale (©SHOM, 2021), sur fonds bathymétrique (ombrage seul ; ©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).....	24
Figure 14 : Carte d’épaisseur de la couverture sédimentaire meuble du prisme littoral en Baie du Mont-Saint-Michel (Ehrhold (1999), modifiée d’après Auffret (1989) dans Larsonneur (1989)).	26
Figure 15 : Reconstitution de la paléogéographie des façades de l’Atlantique et de la Manche au cours du dernier maximum glaciaire (DMG), il y a environ 20 000 ans. Une large portion du plateau continental actuel est alors émergée (vert clair). Les fleuves s’y prolongent jusqu’au littoral et se rejoignent parfois pour former de nouveaux cours d’eau comme le fleuve Manche (Seine, Somme, Tamise, ...), la Loire ou la Gironde. Carte modifiée de Paquet (2022) et établie d’après Larsonneur et al. (1982), Ehlers et Gibbard (2004), Menier (2004), Thinon et al. (2008), Weber (2004), Lericolais et al. (2001).....	27
Figure 16 : Carte d’isopaques (épaisseur) des nappes alluviales des paléovallées de Bretagne Sud entre Baie de Concarneau et Banc de Guérande (Menier et al., 2016, d’après Menier et al., 2014).	28
Figure 17 : Carte d’isopaques (épaisseur) des nappes alluviales des paléovallées de la Loire et de la Baie de Bourgneuf (Augris et al., 2006).....	29
Figure 18 : Carte des grands domaines géologiques autour de la zone NAMO.	30
Figure 19 : Carte géologique de la façade NAMO (simplifiée d’après : Chantraine et al., 2003 ; Géotechnip, 1971 ; Bouysse et al., 1975 ; Evans et al., 1990). Le linéaire interrompu-court figure la bordure du plateau continental, et le linéaire mixte figure l’axe du synclinal du Bassin des Approches Occidentales de la Manche.	31
Figure 20 : Carte géologique de la façade NAMO du secteur Golfe Normand-Breton – Nord Finistère, simplifiée d’après Chantraine et al., (2003). BAOM : Bassin de Approches Occidentales de la Manche : BLC : Bassin Léon-Cotentin. Le trait rouge labellisé « SWAT-6/7 » correspond à la localisation de la coupe interprétée en Figure 22. Légende identique à la Figure 19.....	33
Figure 21 : Carte géologique de la façade NAMO du secteur Nord-Ouest Finistère (simplifiée d’après Chantraine et al. 2003 ; Géotechnip, 1971 ; Bouysse et al., 1975 ; Evans et al., 1990). BAOM : Bassin de Approches Occidentales de la Manche : BLC : Bassin Léon-Cotentin. Le trait rouge labellisé « SWAT-6/7 » correspond à la localisation de la coupe interprétée en Figure 22. Légende identique à la Figure 19.....	34
Figure 22 : Coupe géologique régionale NO-SE traversant le secteur des Approches Occidentales de la Manche, depuis le socle des Cornouailles en Mer Celtique, jusqu’au Bassin de Léon-Cotentin. Elle est centrée sur le Bassin des Approches Occidentales de la Manche, dont la limite sud est marquée par un accident tectonique majeur associé au Haut-Structurale Aurigny-Ouessant. Coupe interprétée du profil sismique SWAT 6/7 et réalisée d’après Hillis (1988), Evans et al., 1990 ; Bois et al., (1991). Std : secondes temps–double. Localisation de la coupe sur la Figure 21.	34

Figure 23 : Carte géologique de la façade NAMO du secteur Ouest Finistère – Approches occidentales de la Manche (simplifiée d’après Chantraine et al. 2003 ; Géotechnip, 1971 ; Bouysse et al., 1975 ; Evans et al., 1990). BAOM : Bassin de Approches Occidentales de la Manche ; BLC : Bassin Léon-Cotentin. Le trait rouge labellisé « SWAT-6/7 » correspond à la localisation de la coupe interprétée en Figure 22. Légende identique à la Figure 19	35
Figure 24 : Carte géologique de la façade NAMO du secteur Bretagne Sud-Vendée (simplifiée d’après Chantraine et al. 2003 ; Géotechnip, 1971 ; Bouysse et al., 1975). Le trait interrompu court noir coorespond à la coupe géologique de la Figure 25. Les traits rouges labellisés « 20670, 20790, 20970, et GeoEtel-2008 A » localisent les coupes sismiques interprétées de la Figure 26. Légende identique à la Figure 19	36
Figure 25 : Coupe synthétique NE-SO du plateau sud-armoricain de la marge nord-Gascogne, fondée sur les données de sismique réflexion (modifiée d’après Guillocheau et al., 2003). Std : secondes temps-double. Localisation de la coupe en Figure 24. Légende identique à la Figure 19.....	36
Figure 26 : Coupes sismiques interprétées localisées en Figure 24. Modifiées d’après Paquet et al. (2010).....	38
Figure 27 : Carte synthétique des domaines structuraux varisques du Massif Armoricaïn, séparés par les grands cisaillements carbonifères (Ballèvre et al., 2009).	39
Figure 28 : Carte géologique de la façade NAMO du secteur Golfe Normand-Breton, simplifiée d’après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la Figure 19.....	40
Figure 29 : Carte géologique de la façade NAMO du secteur Finistère, simplifiée d’après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la Figure 19	41
Figure 30 : Carte géologique de la façade NAMO du Glénan-Noirmoutier, simplifiée d’après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la Figure 19	42
Figure 31 : Carte synthétique des sous-domaines structuraux cadomiens au sein du Massif Armoricaïn, limités par les accidents majeurs (CSA : Cisaillement Sud-Armoricain ; CNA : Cisaillement Nord-Armoricain ; E : Faille de l’Elorn ; T-B : Faille de Trédrez-Beauport ; F-C : Faille de Fresnay-Coutances ; G-C : Faille de Granville-Cancalle). Les âges associés aux sous-domaines correspondent aux ages moyens des intrusions (granitiques, gabbro-dioritiques, ...) du cycle orogénique cadomien propres à chaque sous-domaine. Les points noirs du sous-domaine Trégor-Hague correspondent aux occurrences de reliques paléoprotérozoïques icartiennes. Modifiée d’après Ballèvre et al., 2001 ; Ballèvre et al., 2013).....	44
Figure 32 : Charte chronostratigraphique internationale (ICS, 2023).	47
Figure 33 : Carte de distribution des campagnes sismiques du secteur nord de la façade NAMO, disponibles en versions numériques et papiers, auprès du BRGM. Carte sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).	51
Figure 34 : Carte de distribution des campagnes sismiques « distales » du secteur sud de la façade NAMO, disponibles en versions numériques et papiers, auprès du BRGM. Carte sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).	52
Figure 35 : Carte de distribution des campagnes sismiques « proximales » du secteur sud de la façade NAMO, disponibles en versions numériques et papiers, auprès du BRGM. Carte sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).	53
Figure 36 : Carte de distribution des prélèvements de la BSS Mer au niveau de la façade NAMO, différenciés par type d’engin de prélèvement, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).	56
Figure 37 : Carte de positionnement des données sismiques (traits blanc) et des puits d’exploration (cibles rouges) relatifs aux recherches d’hydrocarbures et disponibles via le portail Minergies (http://www.minergies.fr/fr).	57

1. Introduction

Le territoire maritime de la France associé à la façade NAMO s'étend le long du littoral de la Baie du Mont-Saint-Michel (limite Normandie-Bretagne) jusqu'à l'Anse de l'Aiguillon (limite Pays de la Loire-Nouvelle Aquitaine). En mer, il s'étend à partir de la façade Manche Est – Mer du Nord (MEMN) dans le Golfe Normand-Breton, jusqu'à la façade SA (Sud Atlantique) au niveau du parallèle 46°20'. Sa limite extérieure correspond à la frontière maritime avec le Royaume-Uni au nord (de 80 km au nord de Roscoff jusqu'à environ 330 km à l'ouest de Brest), et à la rupture de pente du plateau continental (-200 m) le long des eaux de la ZEE France du Golfe de Gascogne. Les masses d'eaux principales sont la Mer de la Manche dans la partie occidentale et incluant les Approches Occidentales de la Manche et l'Océan Atlantique. Les masses d'eaux secondaires de la Baie du Mont-Saint-Michel, de la Baie de Saint-Brieuc, de la Baie de Lannion, de la Rade de Brest, de la Baie de Douarnenez, de la Baie d'Audierne, de la Baie de Quiberon, du Golfe du Morbihan, de la Baie de Vilaine, de l'estuaire de la Loire, de la Baie de Bourgneuf et de l'Anse de l'Aiguillon en font également partie. L'ensemble de la zone NAMO est en domaine de plateau continental (0 à environ -200 m), à l'exception des quelques canyons et têtes de canyon de la pente continentale du Golfe de Gascogne, sous la bordure du plateau sud-armoricain, où la profondeur atteint localement -3 400 m (Figure 1).

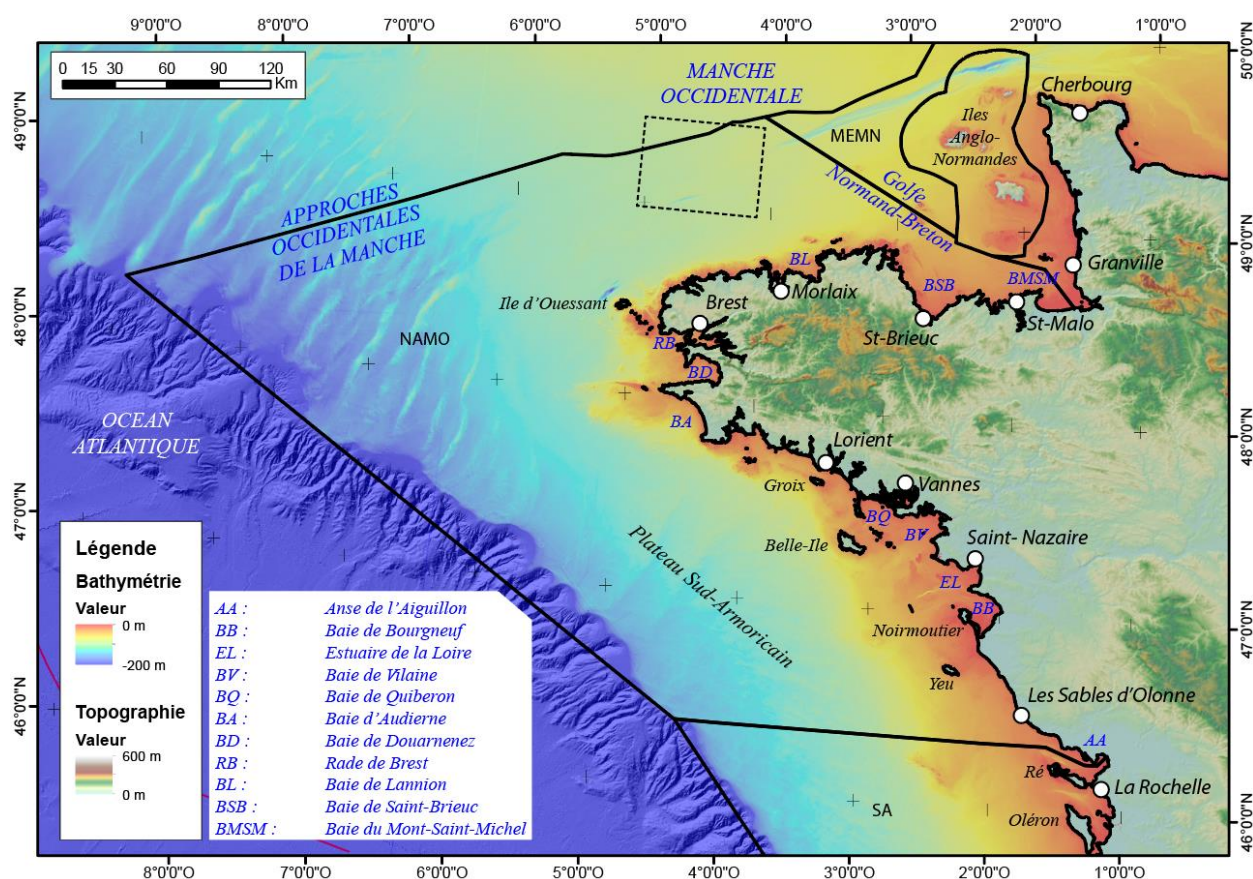


Figure 1 : Vue d'ensemble de la façade NAMO, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023). L'encadré en pointillés indique l'emprise de la carte en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Dans les sections suivantes, des informations seront apportées sur la morphologie du fond, la distribution des grands types de sédiments superficiels, les grands ensembles géologiques régionaux du secteur, et les grandes structures tectoniques, qui recoupent et déforment les

formations géologiques. La lithostratigraphie du substratum de ces grands ensembles sera précisée. Une histoire géologique succincte sera proposée.

Enfin, les données sismiques et géologiques pertinentes et disponibles auprès du BRGM sur le secteur NAMO seront présentées.

2. Géomorphologie des fonds marins

Le domaine maritime de la façade NAMO est relativement peu profond et correspond au premier ordre à un vaste plateau de faible pente (0.1 à 0.2°) orientée vers l'OSO. Il atteint la bordure du plateau continental (~200 m environ) et le début de la pente le long de sa limite SO. Cette pente abrupte est incisée par de nombreux canyons où la profondeur atteint -3 400 m (thalweg du Canyon d'Audierne). La zone NAMO est ainsi incluse en quasi-totalité dans le domaine de plateau continental morphologique (voir encadré ci-après).

Plateau Continental

Le terme « plateau continental » accepte deux définitions, l'une juridique, l'autre morphologique.

Le **plateau continental juridique** correspond aux fonds marins et leur sous-sol dans le prolongement naturel des terres émergées au-delà de la mer territoriale (12 milles marins) jusqu'à 200 milles marins (~370 km ; Zone Economique Exclusive, ZEE), et pouvant s'étendre jusqu'à 350 milles marins, tel que défini par l'article 76 de la convention des Nations Unies sur le Droit de la Mer (Montego Bay, 1982).

Le **plateau continental morphologique** correspond à une zone immergée de faible pente ($< 1^\circ$), comprise entre le littoral et la rupture de pente, au-delà de laquelle se développe la pente continentale. Du point de vue géologique, la morphologie du plateau découle des processus d'érosion et sédimentation modulés par les variations du niveau marin et affectant les bordures des masses continentales, où les lithosphères et croûtes continentales sont peu amincies par la tectonique associée à une ouverture océanique ou à une subduction.

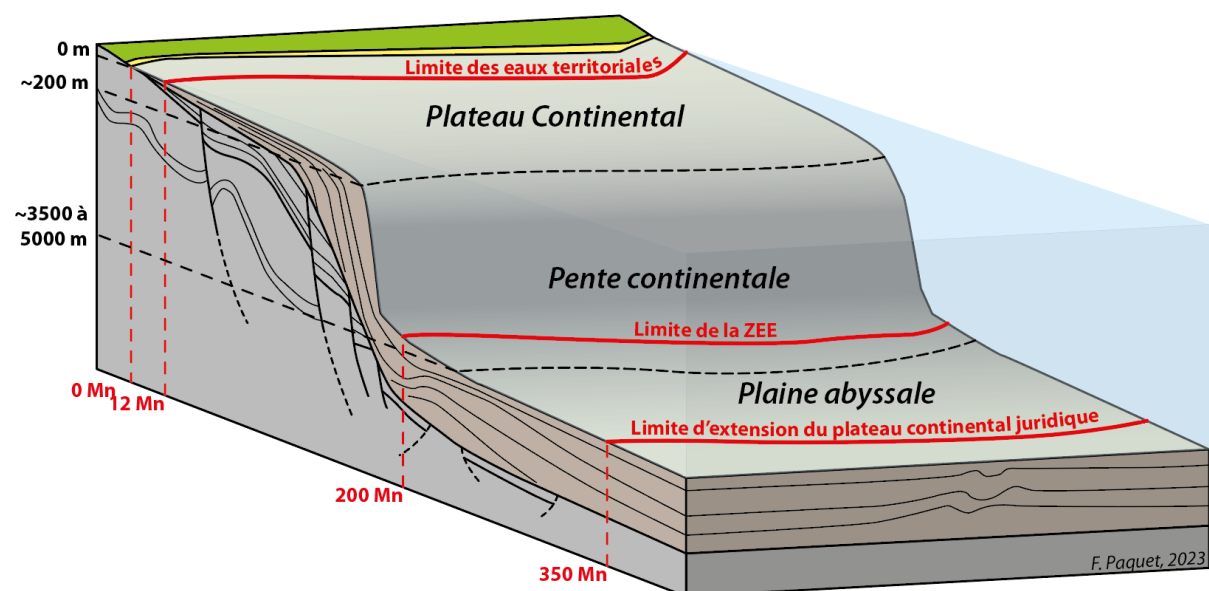


Schéma conceptuel des domaines maritimes morphologique et juridique. Mn=Milles nautiques.

Dans le détail, ce plateau est caractérisé par quatre grands types de morphologies créant des reliefs positifs ou négatifs. Parmi les reliefs positifs, on peut identifier :

Des **morphologies à forte rugosité**, au large des côtes rocheuses, mais également isolées au large, et dont les parties les plus hautes peuvent être émergées de façon permanente (îles) ou à basse mer (hauts-fonds, écueils), ou demeurer immergées. Elles sont constituées par des pointements rocheux ayant subi moins d'érosion que les terrains adjacents (Figure 2 et Figure 3). C'est la nature rocheuse de ces reliefs qui leur confère leur rugosité.

On compte parmi eux (hors îles) :

- Le Plateau de Barnouic au nord de la Baie de Saint-Brieuc,
- Le Plateau des Triagoz au nord de la Baie de Lannion,
- La Chaussée des Pierres Noires au sud de l'île de Béniguet,
- La Chaussée de Sein, à l'ouest de l'île de Sein,
- Le Plateau des Birvideaux entre l'île de Groix et Belle-Ile,
- Le Plateau du Four, à l'ouest de la Pointe du Croizic,
- Le Plateau de la Banche au sud du Pouliguen,
- Le Banc de Guérande au large des Plateaux du Four et de la Banche
- La Chaussée des Bœufs, à l'ouest de l'île de Noirmoutier.

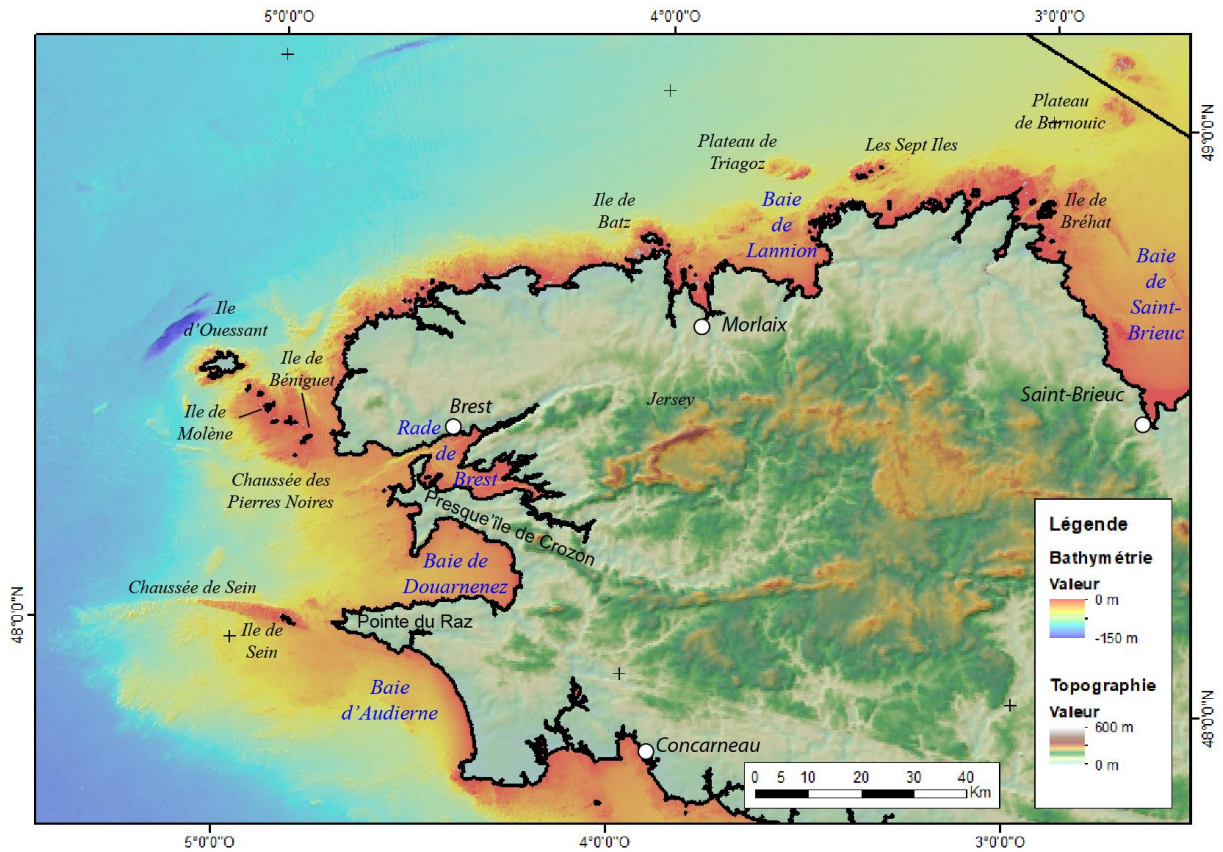


Figure 2 : Localisation des principaux reliefs positifs à forte rugosité au sein de la façade NAMO, entre la Baie de Saint-Brieuc et la Baie d'Audierne, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

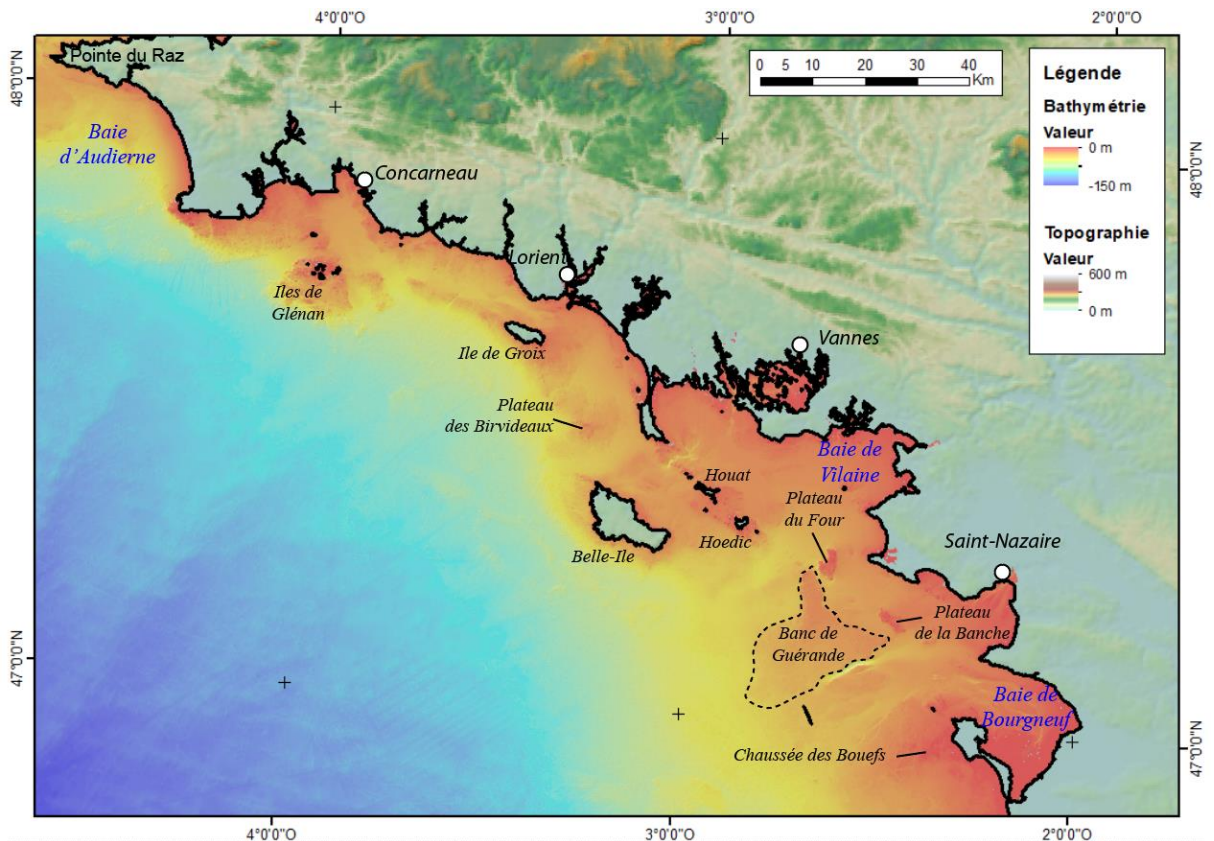


Figure 3 : Localisation des principaux reliefs positifs à forte rugosité au sein de la façade NAMO, entre la Baie d'Audierne et l'île de Noirmoutier, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Des **morphologies à faible rugosité** sont également rencontrées sur l'ensemble de la zone NAMO. Elles se caractérisent par des formes allongées, plus ou moins sinueuses dont le relief par rapport aux fonds environnants varie de quelques mètres à dizaines de mètres. Elles sont constituées de dépôts sédimentaires, à dominante sableuse, et forment des dunes isolées, regroupées en vastes champs dunaires, ou encore amalgamées au niveau de plus grandes structures appelées bancs sableux (Figure 4 et Figure 5). Elles ont fait l'objet d'études ciblées (Franzetti et al., 2013 ; 2015 ; Traoré et al., 2021) ou relatives aux ressources en granulats marins (Augris et al., 2006 ; Gautier et al., 2012).

Les principaux bancs sont, depuis la Baie du Mont-Saint-Michel jusqu'à l'Anse de l'Aiguillon :

- Le Banc des Corbières, à l'est de Cancale,
- Les Basses du Grand Léjon et les Bancs de Sable (La Horaine) en Baie de Saint-Brieuc (Traoré et al., 2021),
- Le Banc du Four au large du Portsall (Franzetti et al., 2013 ; 2015)
- Le Haut Fond d'Ouessant, au SO de l'île d'Ouessant
- Le Haut-fond d'Ar-Men, au large de la Pointe du Raz.

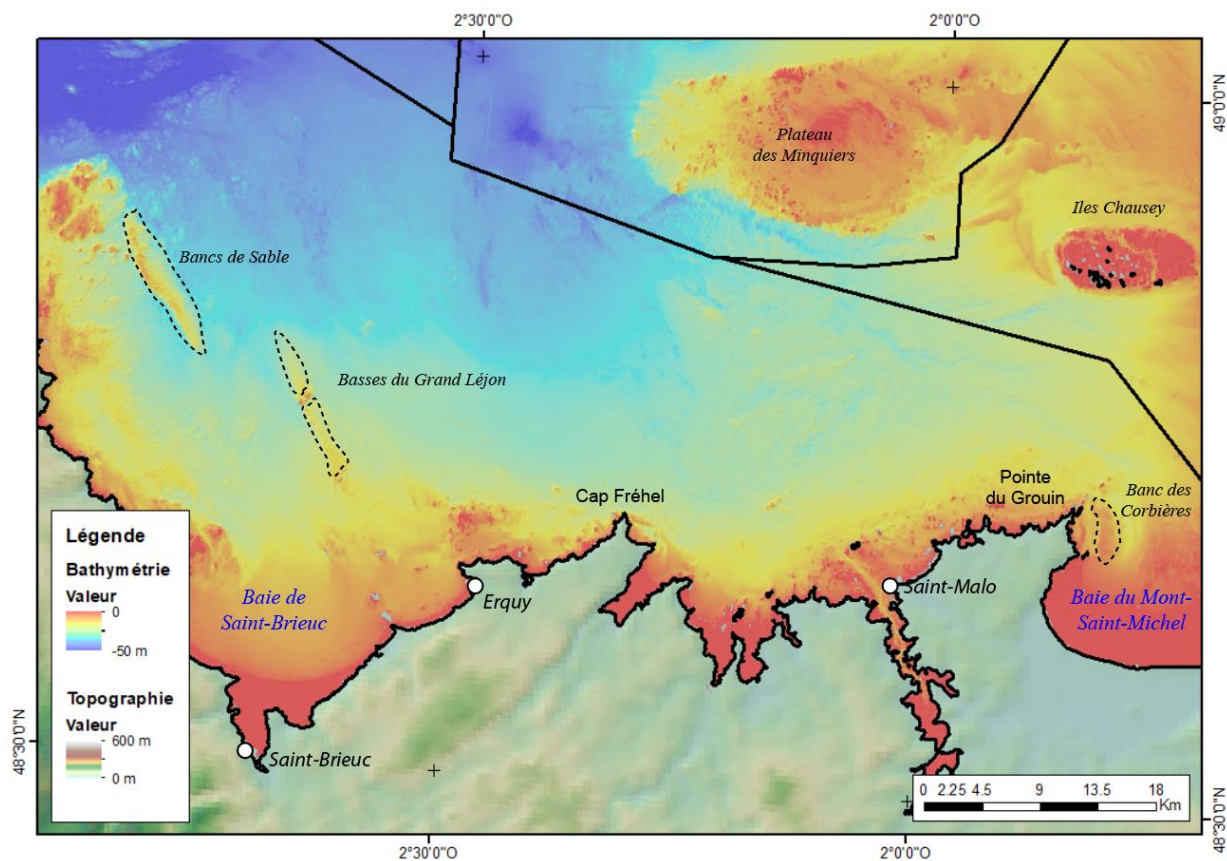


Figure 4 : Localisation des bancs sableux (pointillés), entre la Baie du Mont-Saint-Michel et la Baie de Saint-Brieuc, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

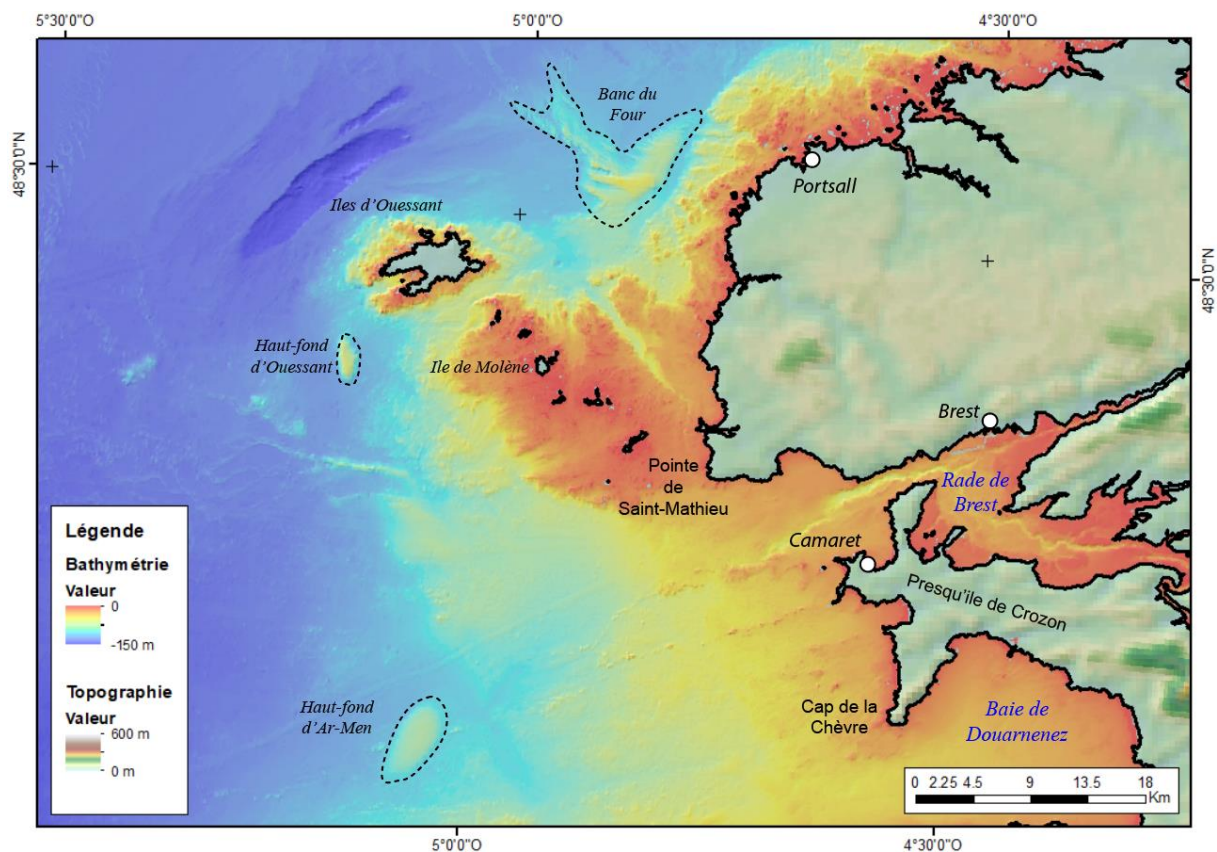


Figure 5 : Localisation des bancs sableux (pointillés), au large du Finistère, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

En Manche Occidentale, au nord du Finistère, un large champ dunaire se développe jusqu'à la limite septentrionale de la NAMO, et continue dans la façade MEMN ainsi qu'en territoire maritime britannique (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

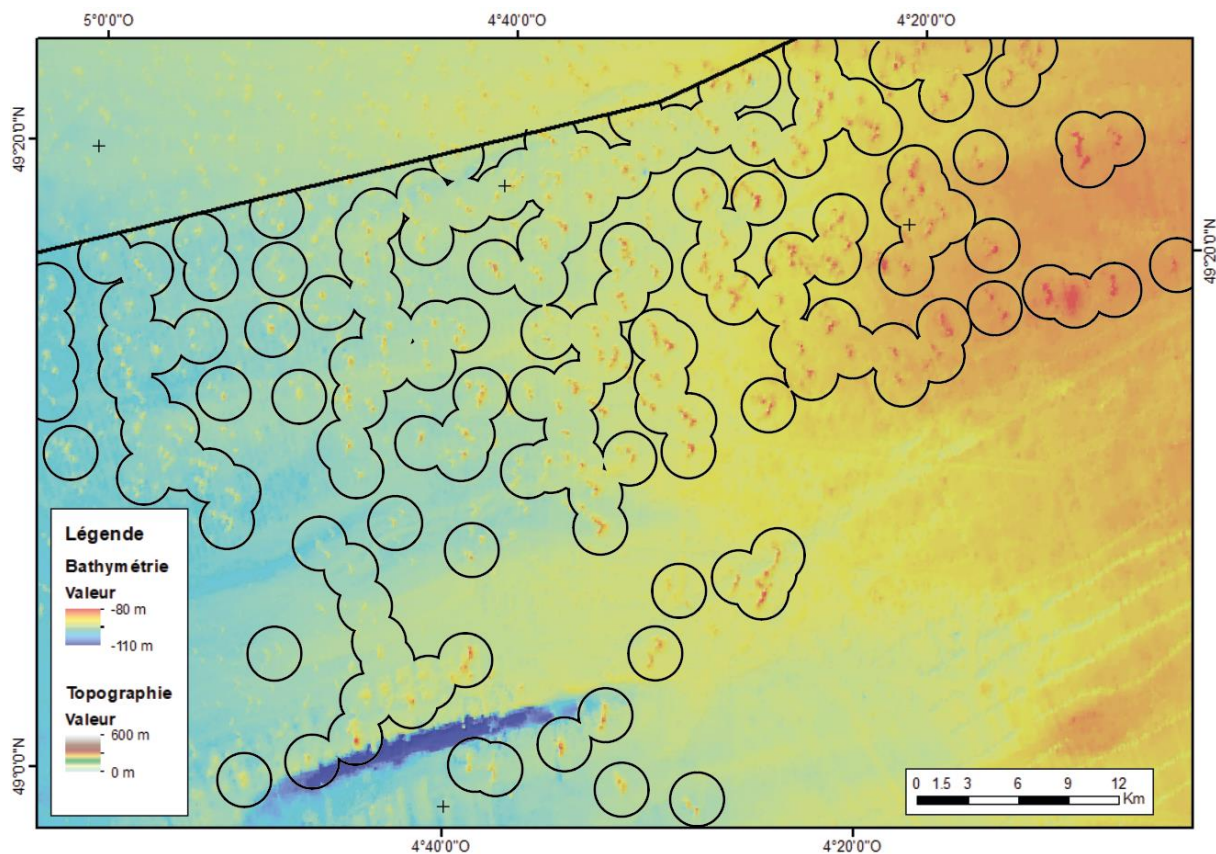


Figure 6 : Localisation des dunes (cercles), au nord du Finistère, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Sur le plateau distal des Approches Occidentales de la Manche, de larges bancs se dessinent avec des orientations NNE-SSO. Ils peuvent se développer sur plus de 100 km de longueur et atteindre une hauteur de 50 m par rapport au plateau (Figure 7). Ces structures sédimentaires, nommées « Bancs de la Mer Celtique », ont été longuement étudiées (Bouysse et al., 1976 ; Lericolais, 1997 ; Marsset et al., 1999 ; Bourillet et al., 2003 ; Reynaud et al., 2003), et sont considérées comme des dépôts formés lors des bas niveaux marins du Quaternaire (Reynaud et al., 2003) ou lors de la transgression qui a suivi (Lockhart et al., 2018).

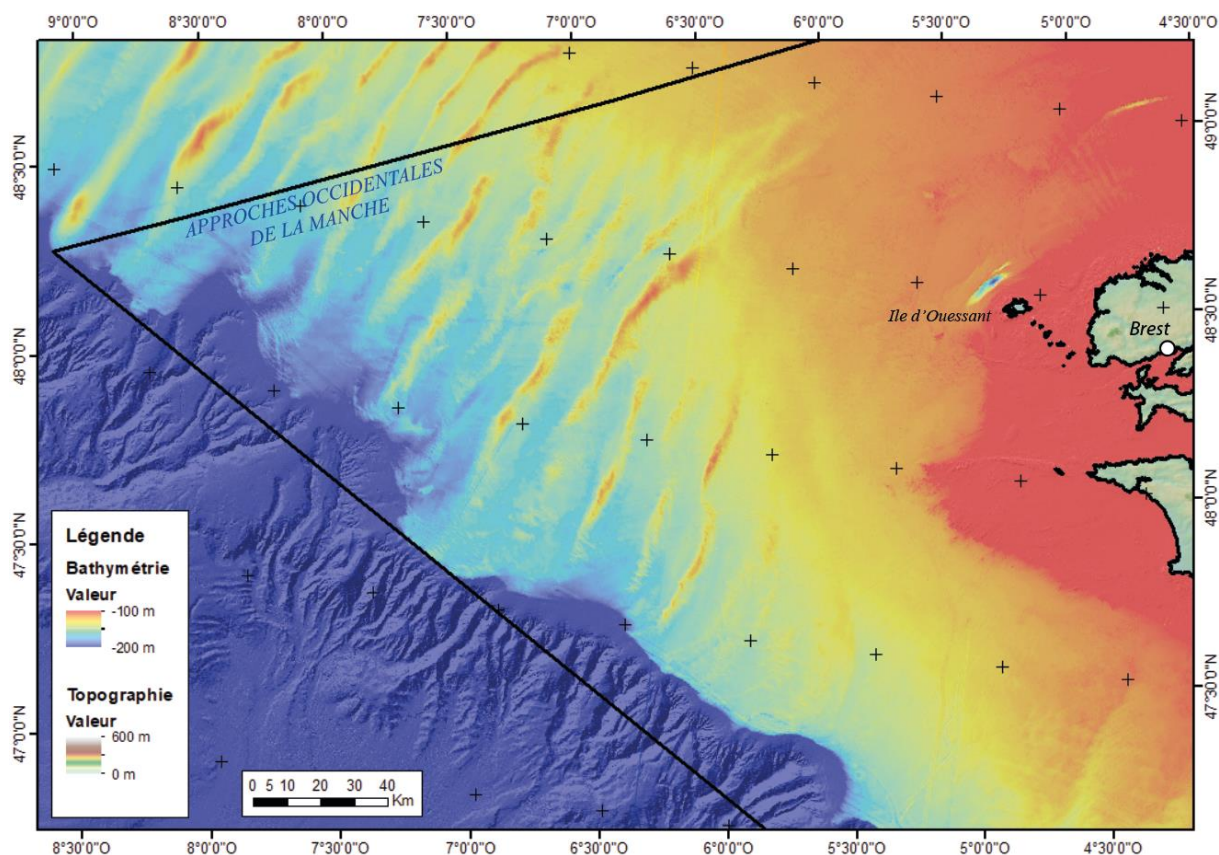


Figure 7 : Localisation des bancs sableux formant des crêtes orientées NNE-SSO, à l'ouest du Finistère, au niveau des Approches Occidentales de la Manche, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Parmi les reliefs négatifs, on retrouve :

Une série de dépressions sinueuses se développant dans le prolongement du réseau fluvial actuel. Elles sont habituellement désignées sous le terme de paléovallées, faisant référence à leur origine fluviale. Leur profondeur par rapport au plateau environnant peut atteindre localement les 25 m. Ces paléovallées se sont développées lorsque le niveau marin était plus bas que le niveau actuel d'environ 100 m, lors des différents maximums glaciaires du Pléistocène. A ces périodes, le plateau de la façade NAMO est largement émergé et parcouru par des fleuves qui rejoignaient le littoral en incisant progressivement le substratum (Menier, 2004 ; Menier et al., 2014 ; Menier et al., 2016 ; Proust et al., 2010 ; Estournes et al., 2012 ; Jouet et al., 2003...).

On retrouve du nord au sud (Figure 8 à Figure 11) :

- Un réseau de paléovallées correspondant à la confluence des fleuves Sée et Sélune, rejoint plus loin par le Couesnon au nord de Saint-Malo. La paléovallée de la Rance rejoint également le système à sa sortie de la zone NAMO, au nord du Cap Fréhel (Figure 8). Les autres paléovallées de la côte nord bretonne sont relativement peu exprimées dans la morphologie.

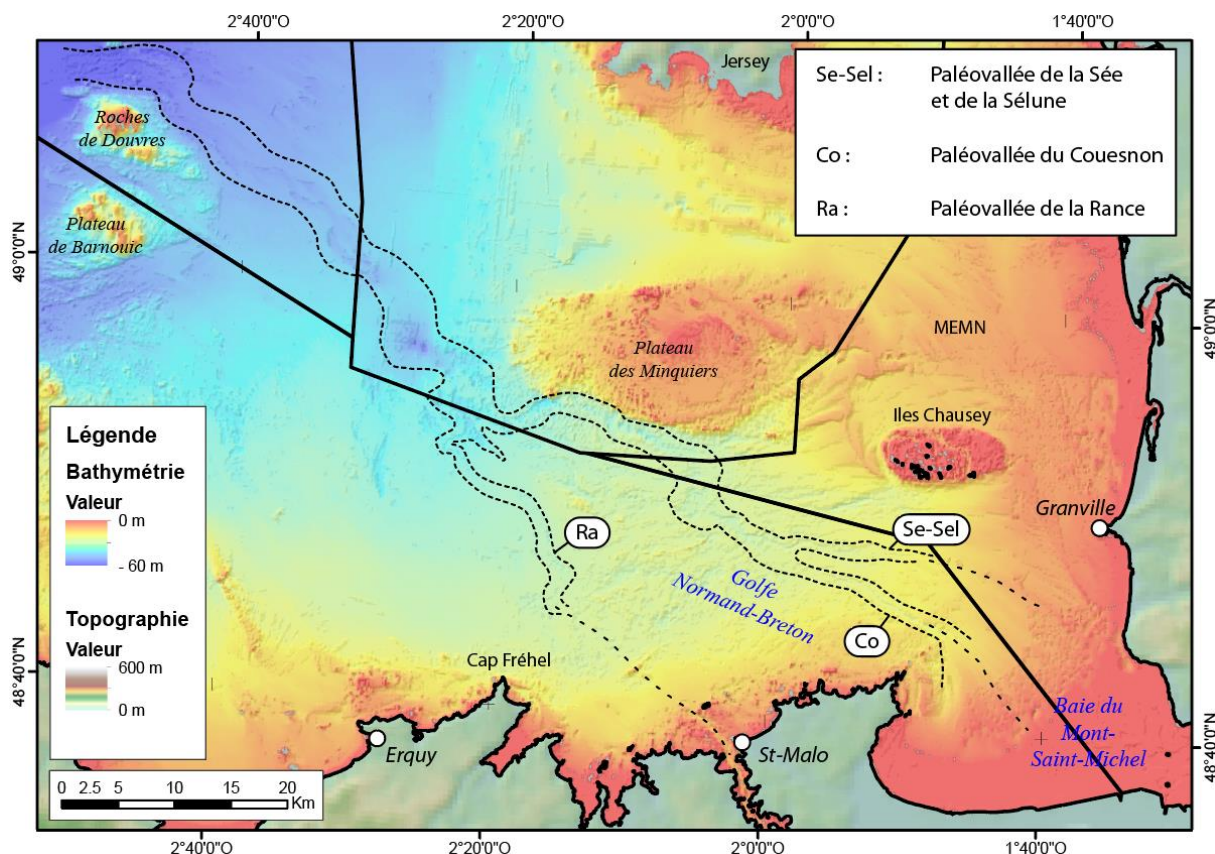


Figure 8 : Mise en évidence des paléovallées sur la morphologie du fond dans le Golfe Normand-Breton, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

- A l'ouest du Finistère, on retrouve la paléovallée de la Ria du Conquet entre Le Conquet et l'Île d'Ouessant. La paléovallée de l'Aulne est visible au cœur et à la sortie de la Rade de Brest. La paléovallée d'Ys est faiblement visible dans la Baie de Douarnenez (Figure 9).

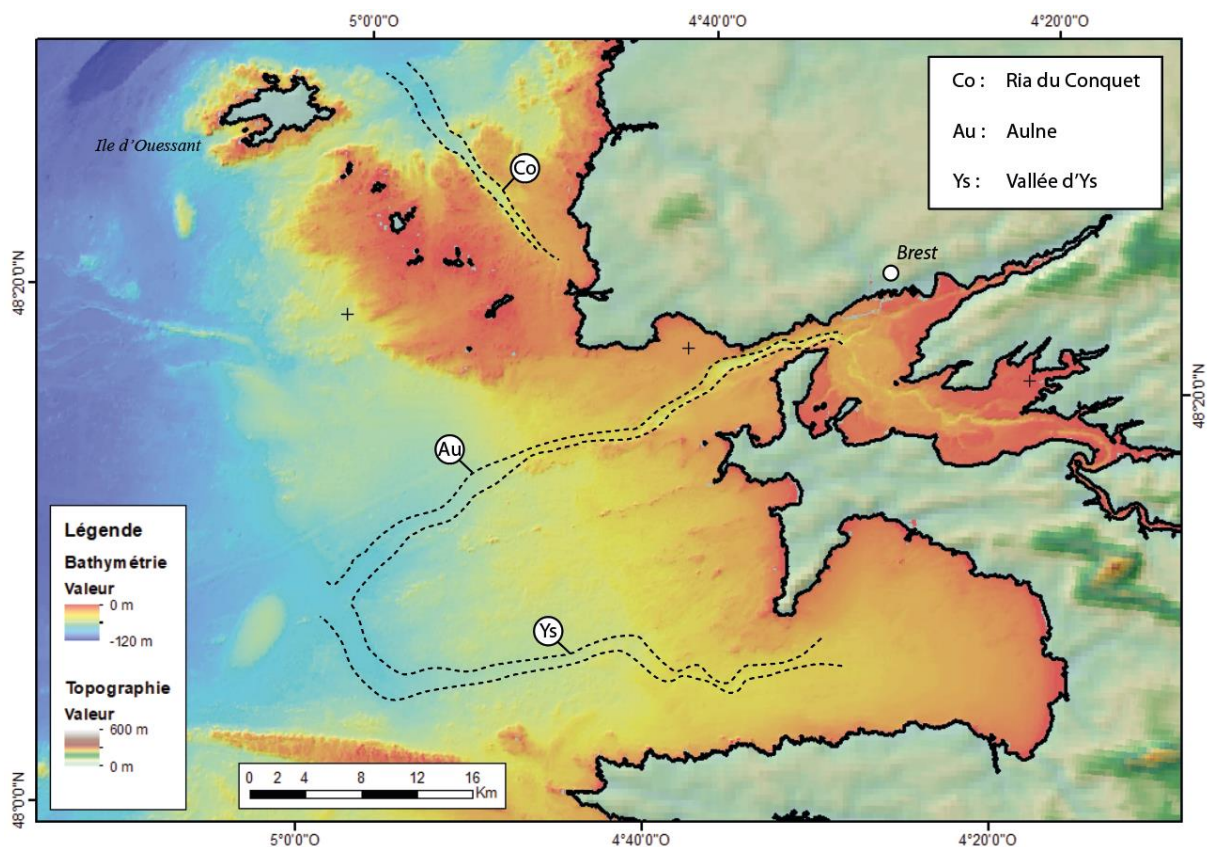


Figure 9 : Mise en évidence des paléovallées sur la morphologie du fond, à l'ouest du Finistère, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBSCO, 2023).

- Au sud de la Bretagne, une large dépression correspondant à la paléovallée regroupant l'Odet, le Belon et l'Aven, la Laïta, le Scorff, et le Blavet, se développe entre le littoral et la ligne Glénan-Groix. La paléovallée de la Ria d'Etel est cartographiée entre l'île de Groix et la Presqu'île de Quiberon. Le passage de La Teignouse entre Presqu'île de Quiberon et Houat, correspond à la paléovallée regroupant la Rivière d'Auray, le Golfe du Morbihan, et la Vilaine. Enfin, une dépression entre Hoedic et le Plateau du Four et du Banc de Guérande correspond à une paléovallée également rattachée à la Vilaine (Figure 10) mais datant d'une période différente.

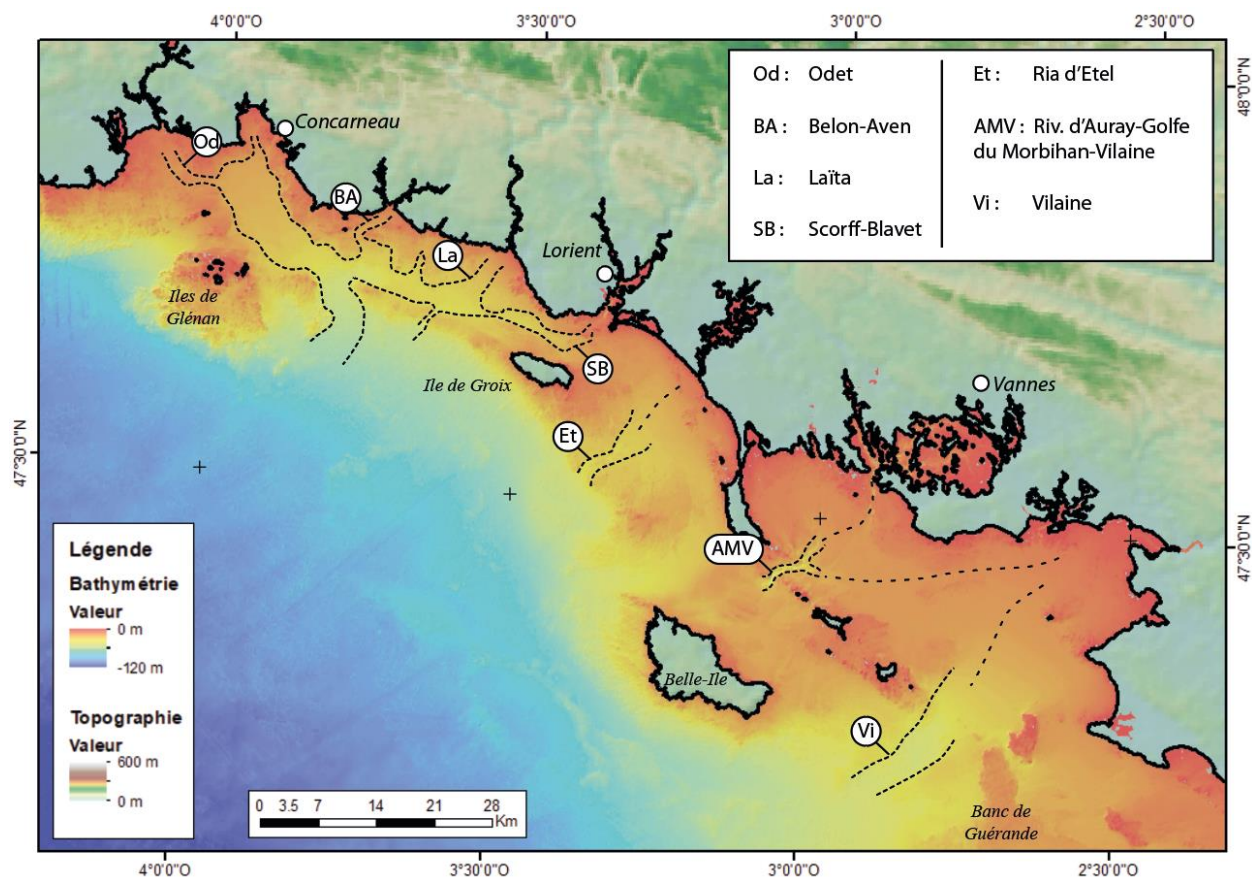


Figure 10 : Mise en évidence des paléovallées sur la morphologie du fond en Bretagne sud, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

- Un ensemble de dépressions sub-subparallèles et anastomosées entre Banc de Guérande et l'île de Noirmoutier (Figure 11) correspondant aux paléovallées de la Loire (Le Grand Trou) et de la Baie de Bourgneuf (Le Falleron).

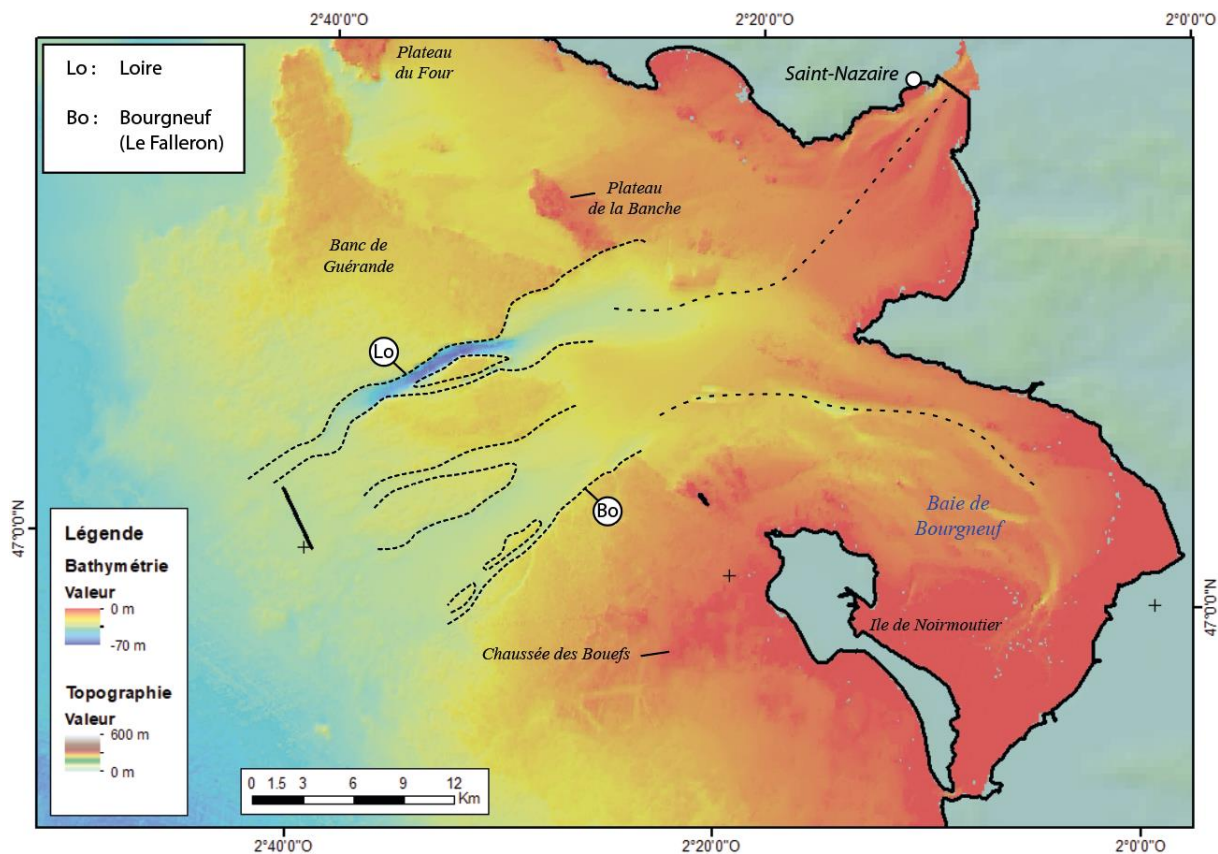


Figure 11 : Mise en évidence des paléovallées sur la morphologie du fond à l'ouest de l'embouchure de la Loire et de la Baie de Bourgneuf, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Une série de dépressions plus rectilignes, isolées, et non connectées au réseau de paléovallées. Elles sont habituellement dénommées « fosses ». Leur profondeur par rapport au plateau environnant est de 20 à 30 m mais peut atteindre les 90 m (Fosse d'Ouessant).

Du nord au sud, on note (Figure 12) :

- La Fosse Centrale (ou Hurd Deep), est principalement présente sur l'emprise de la façade MEMN. Elle débute au nord-ouest du Cotentin et continue vers l'ouest-sud-ouest sur plus de 160 km. Seule sa terminaison occidentale se trouve à l'intérieur de la façade NAMO,
- La Fosse de l'île Vierge, au large du terminal portuaire d'Antifer.
- La Fosse d'Ouessant située au nord de l'île d'Ouessant.

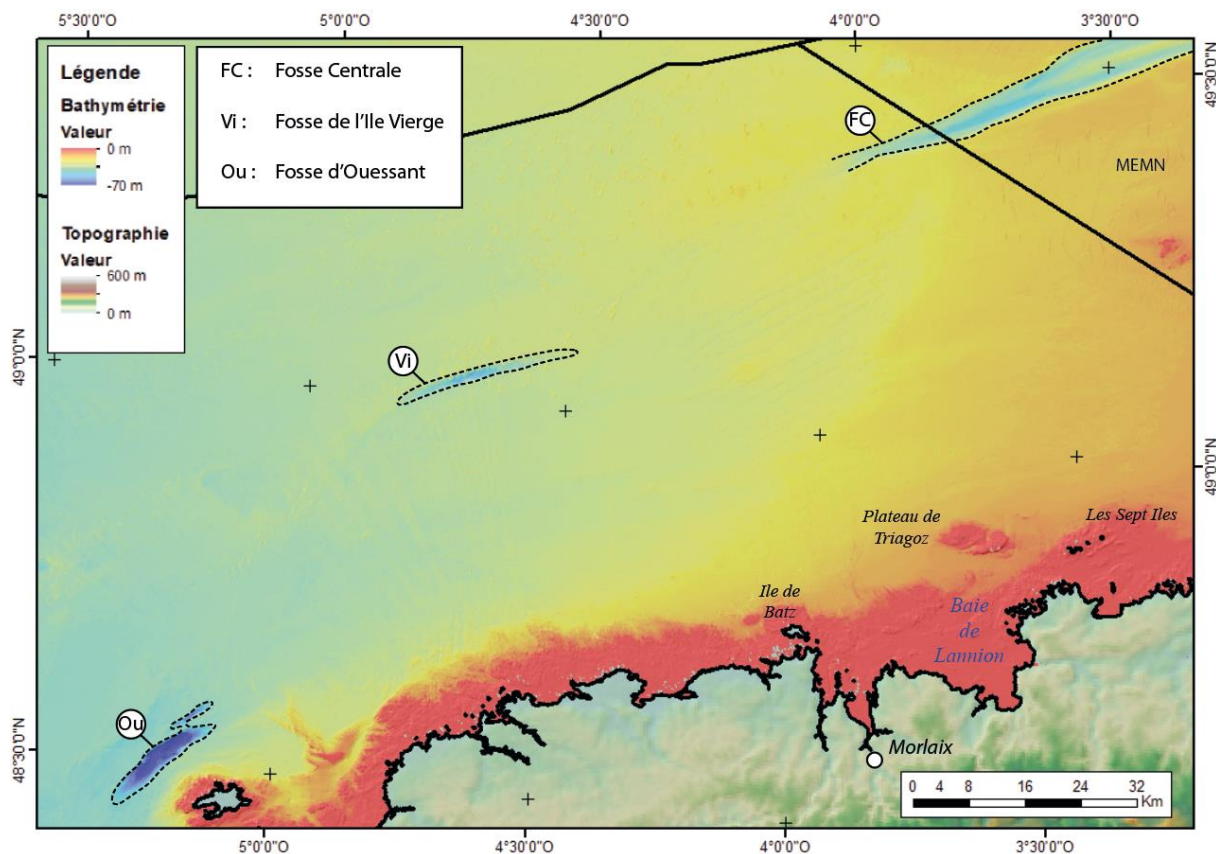


Figure 12 : Mise en évidence des fosses sur la morphologie du fond en Manche Occidentale – Bretagne nord, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

3. Nature des fonds et grands ensembles sédimentaires meubles

3.1. NATURE DES FONDS

Les fonds marins peuvent être recouverts d'une épaisseur variable de sédiments plus ou moins grossiers ou correspondre à des affleurements de roches. Au premier ordre, ce sont les mouvements de la croûte terrestre (surrection ou subsidence) associés aux processus d'érosion, transport et sédimentation, qui déterminent la répartition des types de nature des fonds et ainsi la présence, la distribution, et le déplacement des vases (argiles et silts), des sables (fins, moyens, grossiers), des graviers, galets et blocs. On considère sous le terme « nature des fonds », la description du substrat marin sur les premiers centimètres.

La cartographie de la nature des fonds (Figure 13) rend compte de cette distribution des sédiments et zones de roches. Plusieurs méthodes de détermination du fond marin ont été utilisées, parfois de façon complémentaire, incluant les plombs suiffés, les dragues, les bennes et carottages, et les méthodes géophysiques (imagerie acoustique, bathymétrie mono- et multifaisceaux, sismique très-haute-résolution).

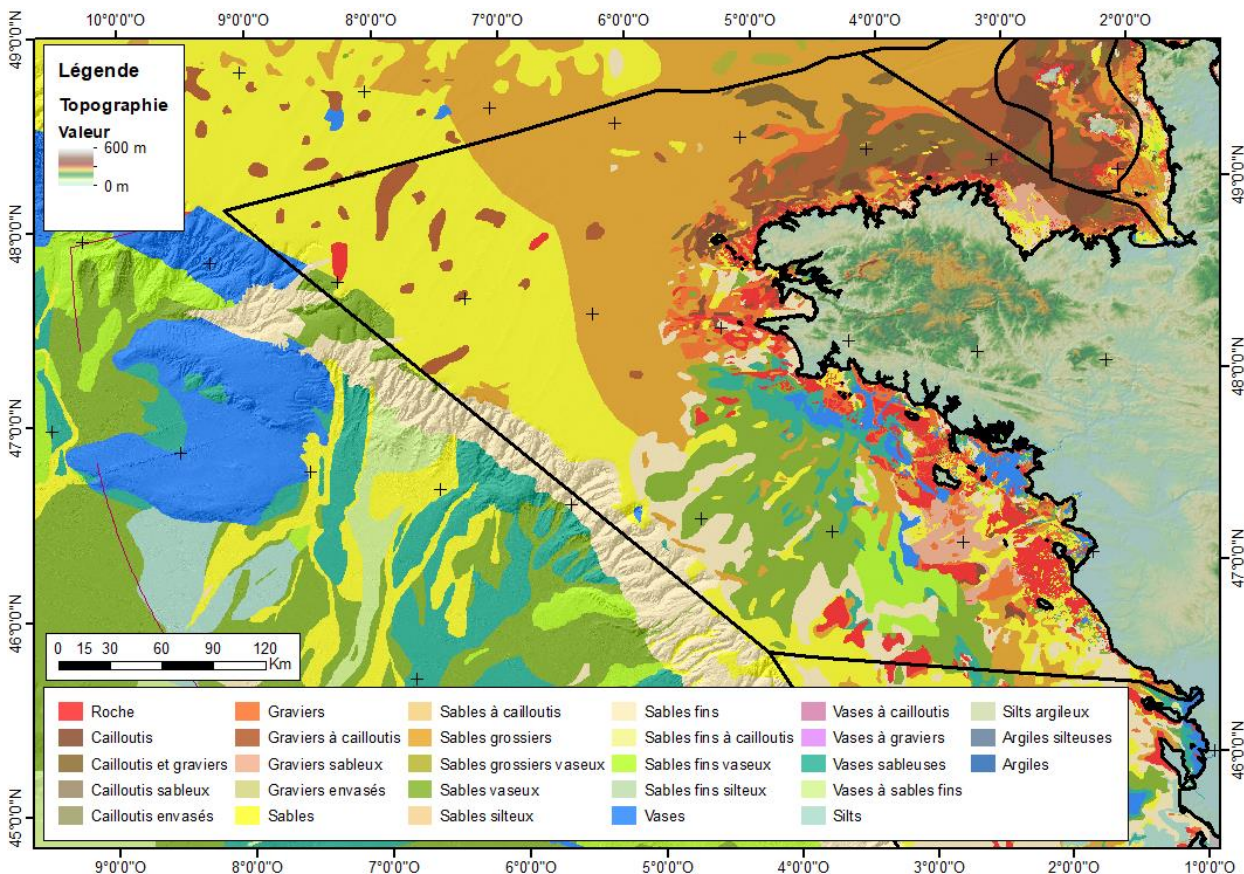


Figure 13 : Cartographie de la nature des fonds issue de la Carte Sédimentologique Mondiale (©SHOM, 2021), sur fonds bathymétrique (ombrage seul ; ©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Sur la zone NAMO, ainsi que sur l'ensemble du territoire français, c'est le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine), qui est référent sur la thématique « nature

des fonds ». Il produit ainsi des cartes dédiées à différentes échelles, basées sur l'ensemble des données géologiques et géophysiques pertinentes et disponibles. Ces travaux sont intégrés dans la « Carte Sédimentologique Mondiale » (Figure 13). La façade NAMO montre ainsi des fonds dominés par des sédiments grossiers (cailloutis, graviers) et par les sables dans sa partie septentrionale (Manche Occidentale, Golfe Normand-Breton, Approches Occidentales de la Manche), et le long des côtes de Bretagne-Sud et Vendée. Les sédiments fins (sables fins, silts, vases et argiles) sont présents dans les estuaires, baies et zone environnantes (Baies du Mont-Saint-Michel, Baie de Saint-Brieuc, Rade de Brest, Baie de Douarnenez), ainsi que sur une vaste zone au large de la Bretagne-Sud s'étendant jusqu'à la bordure du plateau continental. Cette dernière est appelée « Grande Vasière » (Andreieff et al., 1971 ; Bouysse et al., 1986). Les zones de roches affleurantes sont présentes, principalement à proximité des côtes rocheuses, au niveau des plateaux et hauts-fonds cités dans section géomorphologie, ou sur le plateau continental, lorsque la vitesse des courants sur le fond ne permet pas le dépôt des sédiments et favorise l'érosion, jusqu'à l'apparition du substratum. Certains pointements rocheux sont cartographiés à une centaine de kilomètres à l'ouest de la Vendée, ainsi qu'au niveau des Approches Occidentales de la Manche, en bordure de plateau.

3.2. ENSEMBLES SEDIMENTAIRES MEUBLES

Au-delà de la nature des fonds, le sujet de cette section est de s'intéresser aux ensembles sédimentaires meubles présents sur le fond marin. Sont dénommés sédiments meubles, tous sédiments non consolidés en roche sédimentaire et potentiellement mobilisables. Sur le domaine marin, ils sont constitués par les sédiments superficiels décrits précédemment dans les cartes de nature de fonds, et par les dépôts non consolidés sous-jacents, et ce sur plusieurs mètres à dizaines de mètres. A l'instar des roches sédimentaires, les sédiments sont caractérisés par leur(s) nature(s) (composition minéralogique, chimique, ...), leur(s) origine(s) (terrigènes, biogéniques, volcaniques, évaporitiques ...) et leur granulométrie (vases, sables, graviers, cailloutis, galets, et leurs assemblages (sables vaseux, ...)).

Ces ensembles sont également déterminés et caractérisés par des méthodes d'investigations géologiques et géophysiques (prélèvements, bathymétrie, sismique). Sur la zone NAMO, trois grands ensembles sont identifiés :

- Le prisme littoral et dépôts de baies et estuaires,
- Les dunes et bancs sableux,
- Le remplissage des paléovallées.

Le lien entre ensembles sédimentaires meubles et éléments géomorphologiques apparaît ainsi clairement.

Le prisme littoral correspond aux sédiments préservés le long de la côte et est particulièrement développé dans les estuaires et baies déjà cités plus haut. Ils correspondent (i) aux sédiments provenant des fleuves et issus principalement de l'érosion des bassins versants, (ii) aux sédiments marins et littoraux ayant accompagné la remontée du niveau marin depuis le dernier maximum glaciaire, et (iii) aux sédiments biogéniques, principalement carbonatés, produits in-situ dans ces environnements de baie et d'estuaire, riches en nutriments. L'épaisseur du prisme littoral peut atteindre des valeurs de 20 à 25 m, comme en Baie du Mont-Saint-Michel (J.-P. Auffret, dans Larsonneur (1989) ; Figure 14).

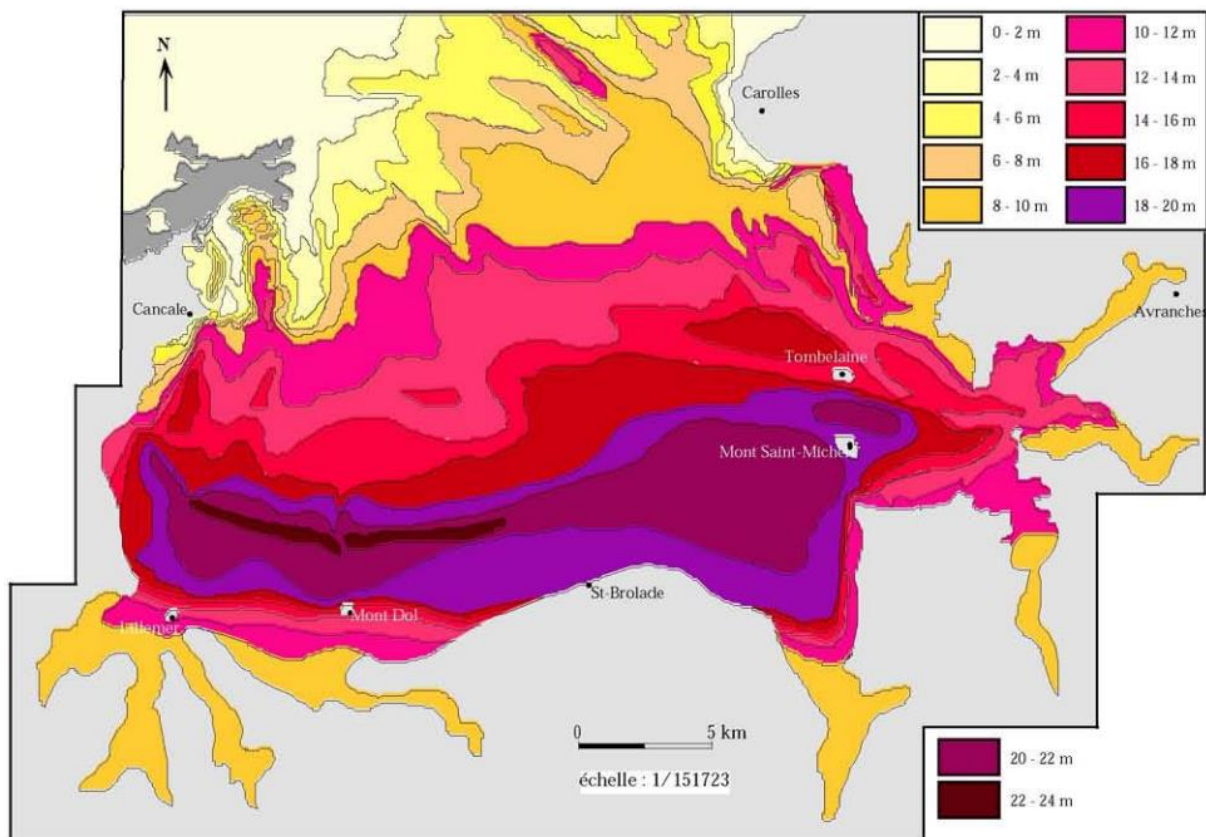


Figure 14 : Carte d'épaisseur de la couverture sédimentaire meuble du prisme littoral en Baie du Mont-Saint-Michel (Ehrhold (1999), modifiée d'après Auffret (1989) dans Larssonneur (1989)).

Les dunes et bancs sableux, déjà évoqués dans la section « géomorphologie » (Figure 4 à Figure 7), sont des corps sédimentaires constitués de sables plus ou moins mobilisés par les courants (marées, tempêtes). Les dunes peuvent être isolées ou regroupées en champs, ou se développer sur les bancs sableux. La morphologie des dunes renseigne sur leur sens de migration et donc sur les courants qui les forment et les font évoluer. Comme indiqué précédemment, la zone NAMO présente plusieurs dunes et champs dunaires, principalement localisés en Manche Occidentale (Figure 6). L'épaisseur des dunes peut atteindre 20 m. Les bancs sableux principaux retrouvés le long des côtes peuvent atteindre des épaisseurs de 50 à 70 m (Banc du Four, La Horaine, Bancs de la Mer Celtique - Figure 4 et Figure 5). Les sables qui constituent les dunes et bancs sableux sont souvent constitués de débris coquillers (bioclastiques) mais incorporent une fraction silicoclastique. Les études effectuées sur plusieurs années montrent que les dunes et bancs sont mobiles et peuvent donc nécessiter des suivis réguliers pour (i) comprendre la dynamique sédimentaire sur le fond et (ii) assurer la sécurisation de la navigation pour les plus superficiels (Franzetti et al., 2013 ; 2015).

Le remplissage des paléovallées (Figure 16 et Figure 17) correspond à des dépôts d'origine fluviale, tidale et marine remplissant tout ou partie des incisions fluviales ayant formé le réseau de paléovallées lors des bas niveaux marins. Le dernier bas niveau marin attesté remonte à environ 20 000 ans, lors du dernier maximum glaciaire. En effet, les études ont montré qu'au Pléistocène moyen et supérieur (depuis environ 800 000 ans), les variations du climat avec des alternances de périodes glaciaires et interglaciaires sur des cycles de 100 000 ans ont provoqué des chutes et remontées du niveau marin global (eustatisme) de l'ordre de la centaine de mètres. Le dernier cycle (Weichselien / Pléistocène supérieur) a débuté avec un niveau marin comparable à l'actuel, il y a environ 120 000 ans. Rapidement, avec le refroidissement et l'entrée en période

glaciaire, le piégeage d'une quantité grandissante d'eau sous forme de glace (aux hautes latitudes et en altitude) a fait progressivement chuter le niveau marin. Cet abaissement s'est effectué sur environ 100 000 ans et le bas niveau marin, autour de -120 mètres par rapport à l'actuel, a été atteint il y a environ 20 000 ans, lors du dernier maximum glaciaire (DMG), dont une reconstitution paléogéographique est présentée en Figure 15.

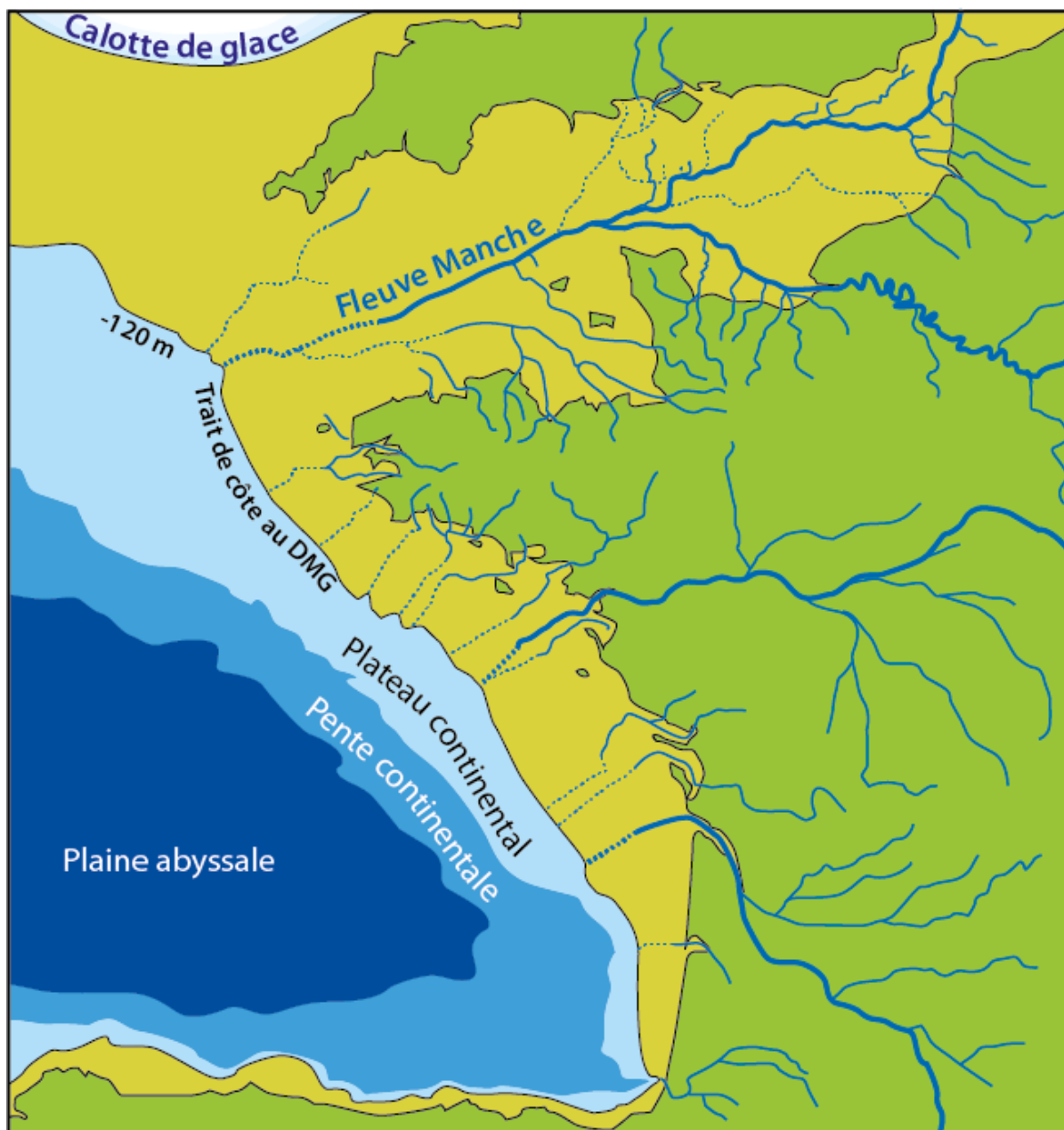


Figure 15 : Reconstitution de la paléogéographie des façades de l'Atlantique et de la Manche au cours du dernier maximum glaciaire (DMG), il y a environ 20 000 ans. Une large portion du plateau continental actuel est alors émergée (vert clair). Les fleuves s'y prolongent jusqu'au littoral et se rejoignent parfois pour former de nouveaux cours d'eau comme le fleuve Manche (Seine, Somme, Tamise, ...), la Loire ou la Gironde. Carte modifiée de Paquet (2022) et établie d'après Larssonneur et al. (1982), Ehlers et Gibbard (2004), Menier (2004), Thinon et al. (2008), Weber (2004), Lericolais et al. (2001).

Au niveau de la zone NAMO, le plateau continental, actuellement immergé, se trouve largement émergé lors du dernier maximum glaciaire. La Manche est « asséchée », et le littoral est repoussé

à 60 km au large des côtes finistériennes et jusqu'à une centaine de kilomètres des côtes vendéennes. Les différents fleuves que nous connaissons actuellement ont allongé leur cours sur ces terres progressivement émergées. Pour accompagner la chute du niveau marin, les rivières ont incisé le substratum pour maintenir leur profil à l'équilibre. Le tracé des rivières a été influencé par la morphologie préexistante du plateau continental et a souvent repris d'anciens tracés de vallées creusées pendant les bas niveaux marins antérieurs. Il faut ainsi imaginer qu'au droit des embouchures actuelles, les vallées fluviales se prolongent sous la mer jusqu'à atteindre le replat du plateau continental autour de -60 m NGF, où les rivières semblent ne plus inciser le substratum. Ce sont ces incisions qui ont préservé les sédiments fluviaux des périodes de bas niveaux, mais également les sédiments tidaux d'embouchure (estuariens), puis marins, qui s'y sont accumulés lors des remontées et hauts niveaux marins.

Certaines paléovallées ne présentent pas de remplissage significatif mais celui-ci peut-atteindre plusieurs dizaines de mètres localement, notamment le long des paléovallées de la Vilaine et de la Loire (Figure 16 et Figure 17).

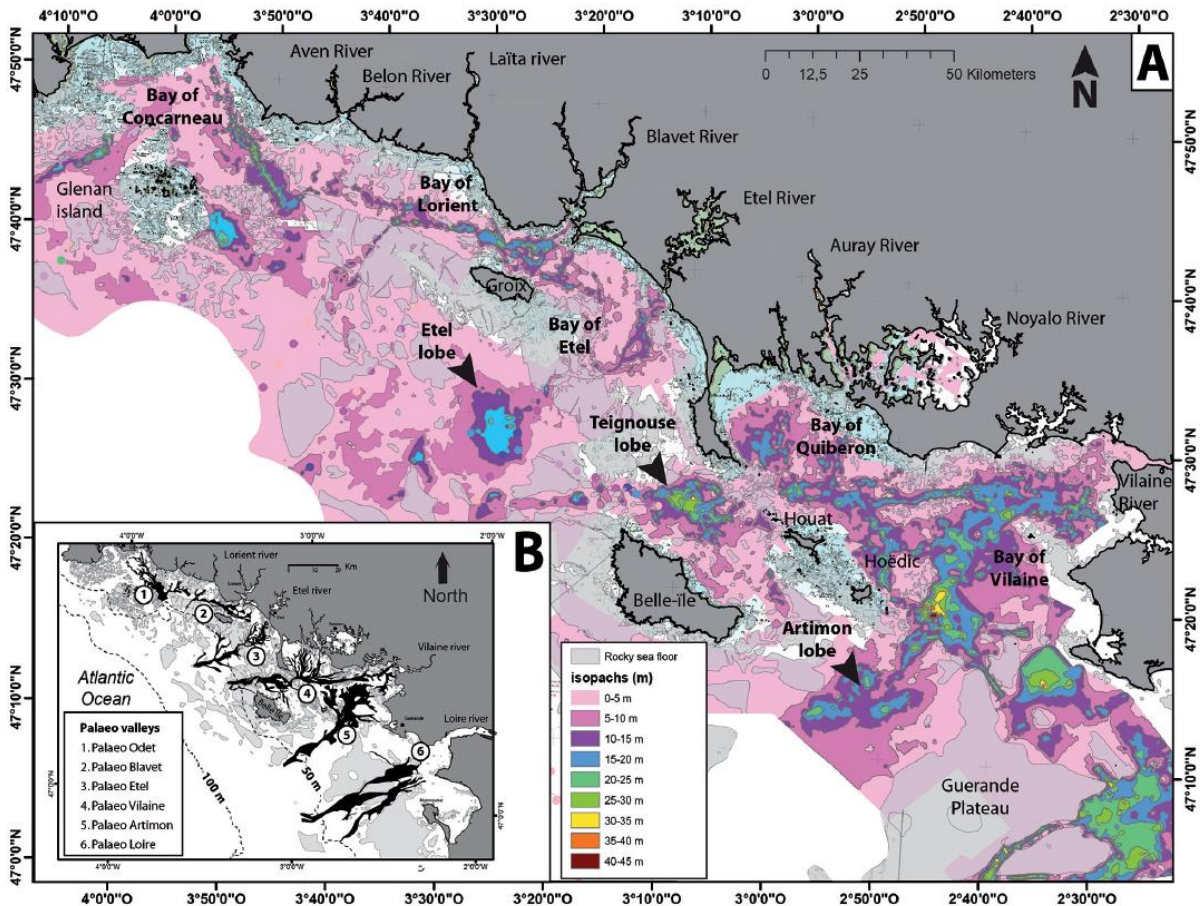


Figure 16 : Carte d'isopaches (épaisseur) des nappes alluviales des paléovallées de Bretagne Sud entre Baie de Concarneau et Banc de Guérande (Menier et al., 2016, d'après Menier et al., 2014).

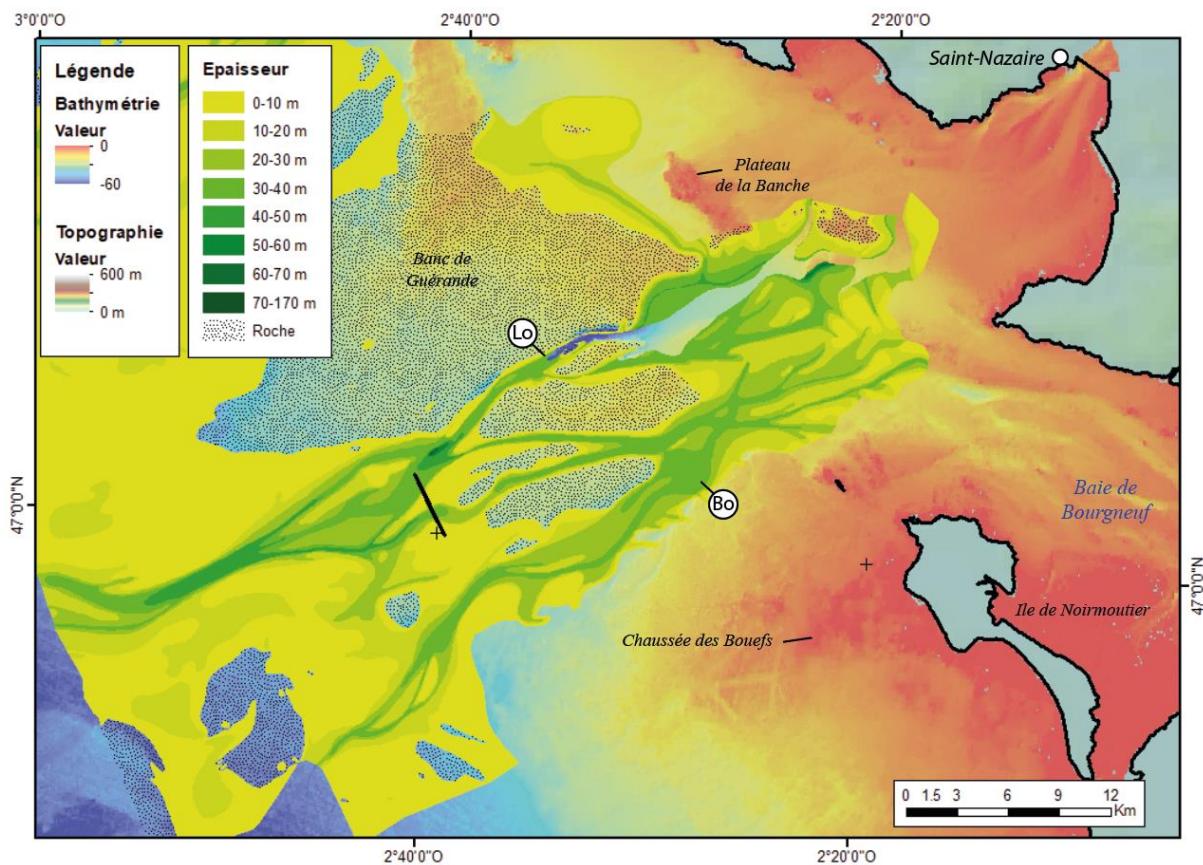


Figure 17 : Carte d'isopaques (épaisseur) des nappes alluviales des paléovallées de la Loire et de la Baie de Bourgneuf (Augris et al., 2006).

4. Ensembles géologiques, stratigraphie et structuration globale du substratum

Les sédiments meubles reposent sur un soubassement induré communément appelé substratum, qui est souvent sub-affleurant, hors des zones d'accumulation sédimentaires (dunes et bancs, paléovallées, prisme littoral). Les premiers travaux de géologie en mer ont permis de caractériser les grands ensembles du substratum et ainsi de dessiner le prolongement des grands ensembles géologiques connus à terre, en domaine immergé. Dans cette section, la description des grands ensembles géologiques (Figure 18), de la stratigraphie et des grandes structures est abordée de façon simplifiée, en se basant sur la carte géologique de la France à l'échelle du million (modifiée d'après Chantraine et al., 2003 ; Figure 19).

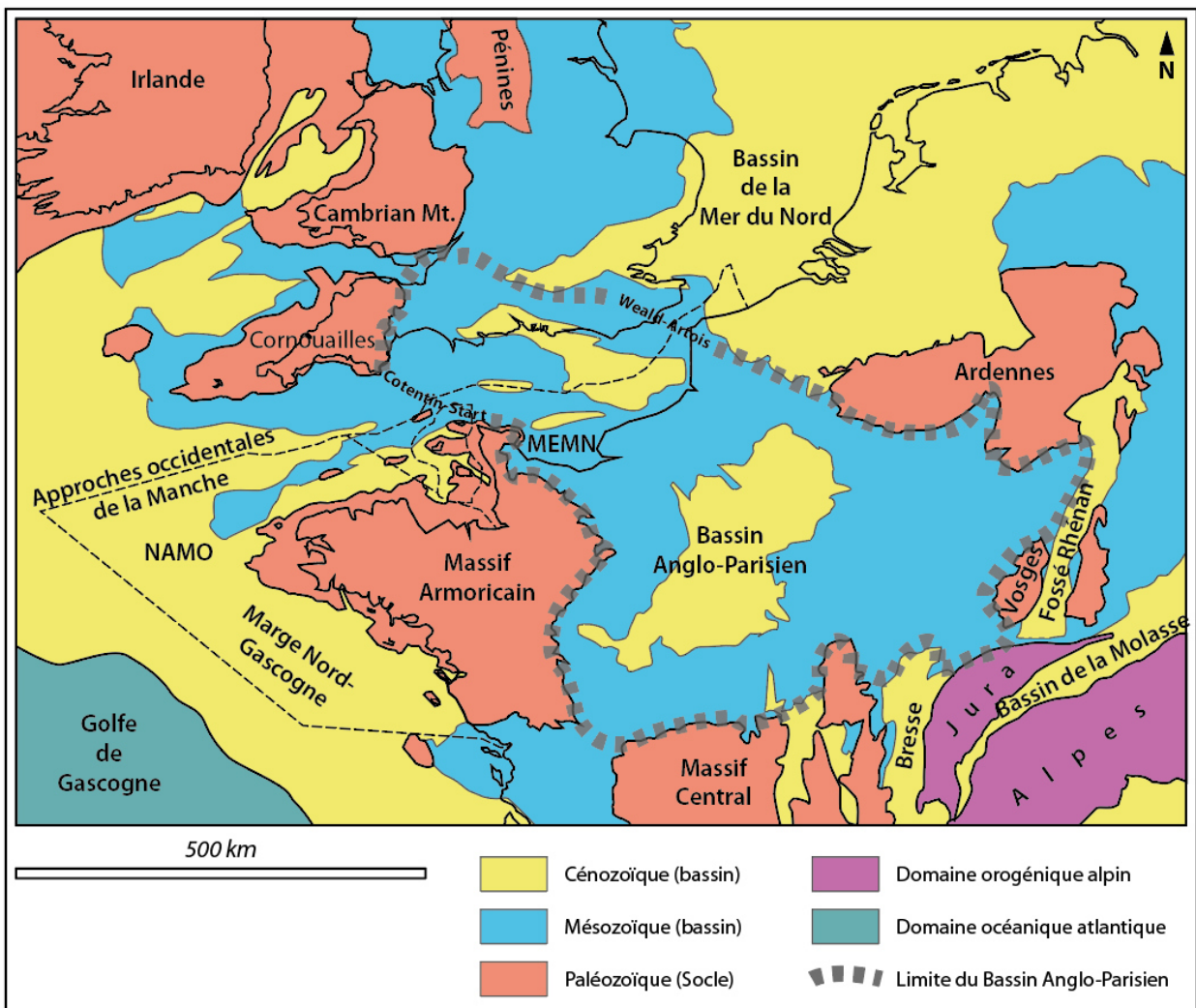
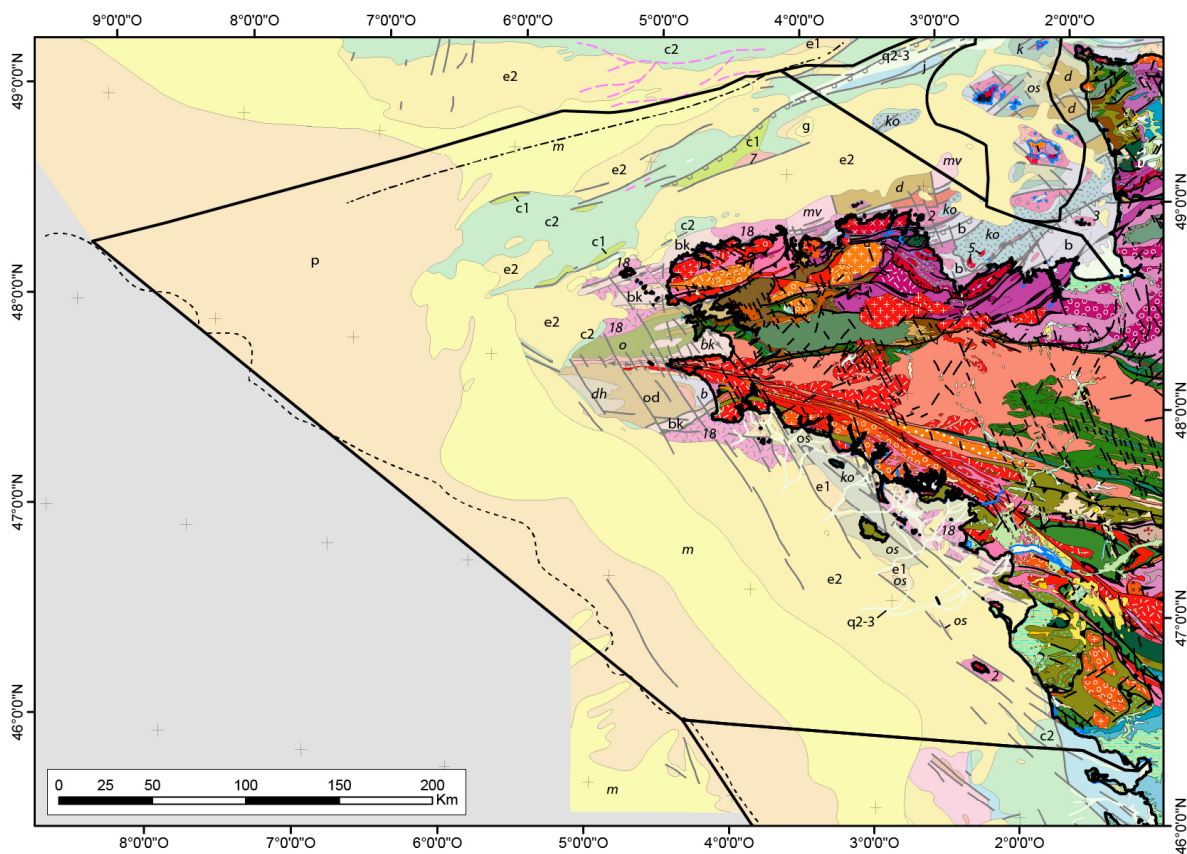


Figure 18 : Carte des grands domaines géologiques autour de la zone NAMO.



Légende des grandes ensembles stratigraphiques en mer (zone MEMN)

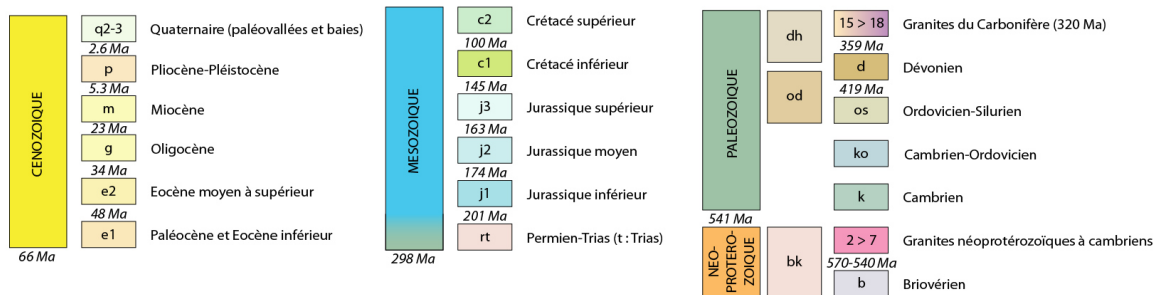


Figure 19 : Carte géologique de la façade NAMO (simplifiée d'après : Chantraine et al., 2003 ; Géotechnip, 1971 ; Bouysse et al., 1975 ; Evans et al., 1990). Le linéaire interrompu-court figure la bordure du plateau continental, et le linéaire mixte figure l'axe du synclinal du Bassin des Approches Occidentales de la Manche.

La façade NAMO est à cheval sur trois grands domaines géologiques que sont le Bassin des Approches Occidentales de la Manche (et la Manche Occidentale), la marge passive Nord-Gascogne, et le domaine de socle du Massif Armoricain (Figure 18Figure 18).

4.1. LA MANCHE OCCIDENTALE

Au nord et à l'ouest de la Bretagne, le long de la frontière avec le Royaume-Uni, la façade NAMO se situe sur le domaine des Approches Occidentales de la Manche (incluant une partie de la Manche Occidentale). Ce domaine de bassin est dominé par des terrains sédimentaires méso-cénozoïques, commençant par le Crétacé inférieur, qui affleure à la faveur du jeu de structures

tectoniques (zone de failles d'Aurigny-Ouessant) au nord et à l'ouest du Finistère. Le Crétacé supérieur affleure également le long du faisceau d'accidents d'Aurigny-Ouessant, et entoure les occurrences de Crétacé Inférieur. Cette série crétacée affleure ainsi le long d'un haut structural d'orientation ENE-OSO (Aurigny-Ouessant) et sépare deux sous-bassins à remplissage méso-cénozoïque : le Bassin des Approches Occidentales de la Manche s.s. (BAOM – Crétacé-Miocène), et un bassin pelliculaire s'étirant du nord du Finistère jusqu'au cœur du Golfe Normand-Breton et autour des Iles Anglo-Normandes (Paléocène-Oligocène). Ce dernier bassin sera nommé Bassin Léon-Cotentin (BLC) dans le présent rapport. Le BAOM présente une structure synforme à cœur de Miocène longeant la bordure NO de la Façade, et qui s'évase vers l'ouest, où il est recouvert par les dépôts pliocènes. L'enveloppe du Pliocène montre un rentrant superposé à l'axe synclinal du BAOM, indiquant l'influence de la déformation dans les dépôts récents (Figure 19). Les dépôts plio-pléistocènes (p) dominent l'extrémité ouest et la bordure SO de la façade NAMO. Ces dépôts correspondent au prisme sédimentaire de bordure de plateforme, qui marque la transition entre le plateau continental et la pente continentale qui rejoint la plaine abyssale du Golfe de Gascogne (Figure 18, Figure 19 et Figure 25).

Les paragraphes suivants décrivent la succession des séries stratigraphiques principales et des grandes structures tectoniques du domaine des Approches Occidentales de la Manche, de l'est vers l'ouest, au sein de la façade NAMO.

Le Bassin Léon-Cotentin correspond à un bassin relativement pelliculaire (100-200 m d'épaisseur) comprenant des séries sédimentaires du Paléocène (e1) à l'Oligocène (g), et bordé au nord par le haut-structural Aurigny-Léon (Figure 20). Les séries ont été décrites et cartographiées par Curry et al. (1970), Andreieff et Lefort (1972), et Boillot et al., (1972). Il couvre une large zone entre les Iles Anglo-Normandes à l'est et l'île d'Ouessant à l'ouest. La limite sud du bassin correspond au contact de la couverture cénozoïque sur le socle du Massif Armoricaïn. La limite nord correspond au haut structural Aurigny-Ouessant orienté ENE-OSO. Ce dernier fait remonter les séries mésozoïques du Crétacé supérieur (c2) et inférieur (c1). Le socle armoricaïn est localement affleurant (orthoigneiss indifférenciés cambro-ordovicien – 7), à la faveur du jeu d'une faille ENE-OSO faisant partie du haut structural Aurigny-Ouessant.

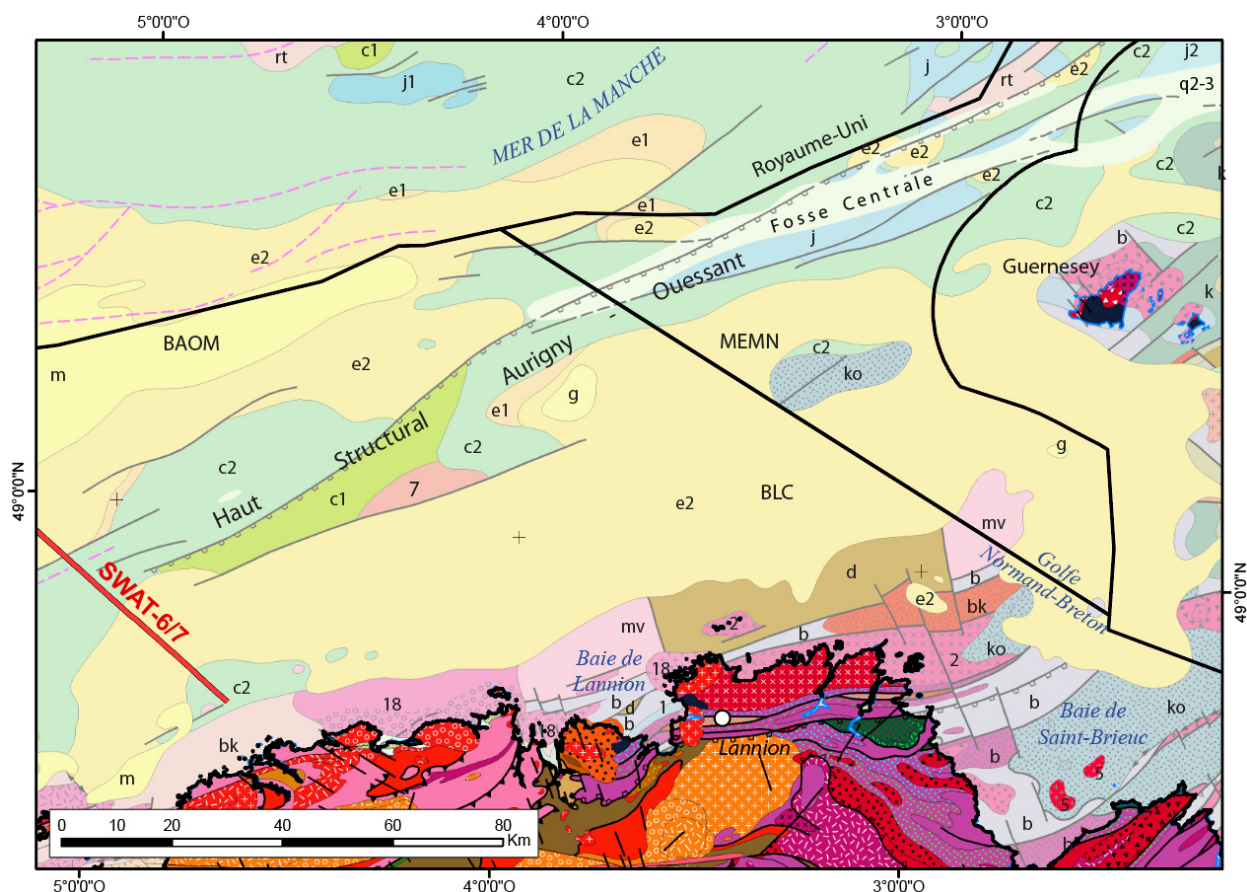


Figure 20 : Carte géologique de la façade NAMO du secteur Golfe Normand-Breton – Nord Finistère, simplifiée d'après Chantraine et al., (2003). BAOM : Bassin de Approches Occidentales de la Manche ; BLC : Bassin Léon-Cotentin. Le trait rouge labellisé « SWAT-6/7 » correspond à la localisation de la coupe interprétée en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.. Légende identique à la Figure 19.

Plus à l'ouest et au nord du Haut Structural d'Aurigny-Ouessant s'étend le Bassin des Approches Occidentales de la Manche (BAOM ; Figure 21). Cette synforme ENE-OSO (Figure 19) s'évasant vers l'OSO et l'Atlantique est à cheval sur la frontière France - Royaume-Uni. Les dépôts mésozoïques du Crétacé supérieur (c2) l'entourent (Figure 21) et en constituent la base comme le montre la coupe géologique (Figure 22) interprétée du profil sismique SWAT 6/7 (Hillis, 1988 ; Bois et al., 1991). Vers l'intérieur du bassin, les terrains cénozoïques commencent par le Paléocène-Eocène inférieur (e1), qui est principalement préservé sous forme de franges, sur le flanc nord. L'Eocène moyen à supérieur (e2) affleure plus largement. L'Oligocène (g) décrit dans le Bassin Léon-Cotentin ne semble pas présent dans le BAOM. Le cœur du BAOM est constitué de dépôts du Miocène (m).

La coupe géologique (Figure 22) montre que le soubassement du BAOM est constitué de dépôts du Permo-Trias à Crétacé inférieur. Si le Permo-Trias présente une géométrie comparable à l'intervalle Crétacé supérieur-Cénozoïque, avec des dépocentres superposés, l'intervalle Jurassique-Crétacé inférieur est préservé sur les flancs de la synforme du BAOM. Cette géométrie est caractéristique d'inversions tectoniques et prouve le rôle de la déformation dans le contrôle de l'évolution de ce bassin. Une telle inversion est également clairement visible au niveau du Haut Structural d'Aurigny-Ouessant, où la zone de maximum de dépôts préservés du Jurassique-Crétacé inférieur, située le long de la faille majeure correspond à une zone de soulèvement et d'érosion des dépôts du Crétacé supérieur et du Cénozoïque.

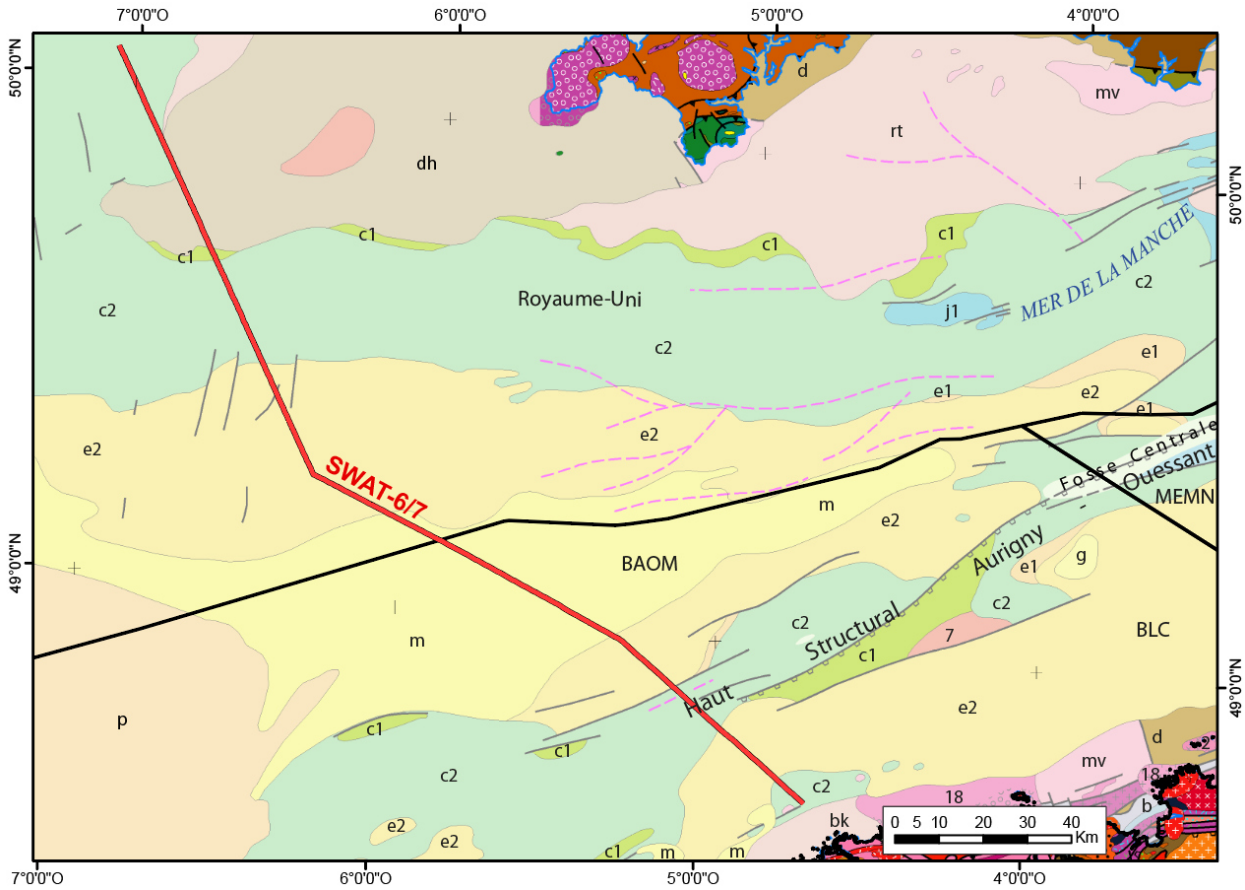


Figure 21 : Carte géologique de la façade NAMO du secteur Nord-Ouest Finistère (simplifiée d'après Chantraine et al. 2003 ; Géotechnip, 1971 ; Bouysse et al., 1975 ; Evans et al., 1990). BAOM : Bassin de Approches Occidentales de la Manche ; BLC : Bassin Léon-Cotentin. Le trait rouge labellisé « SWAT-6/7 » correspond à la localisation de la coupe interprétée en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Légende identique à la Figure 19

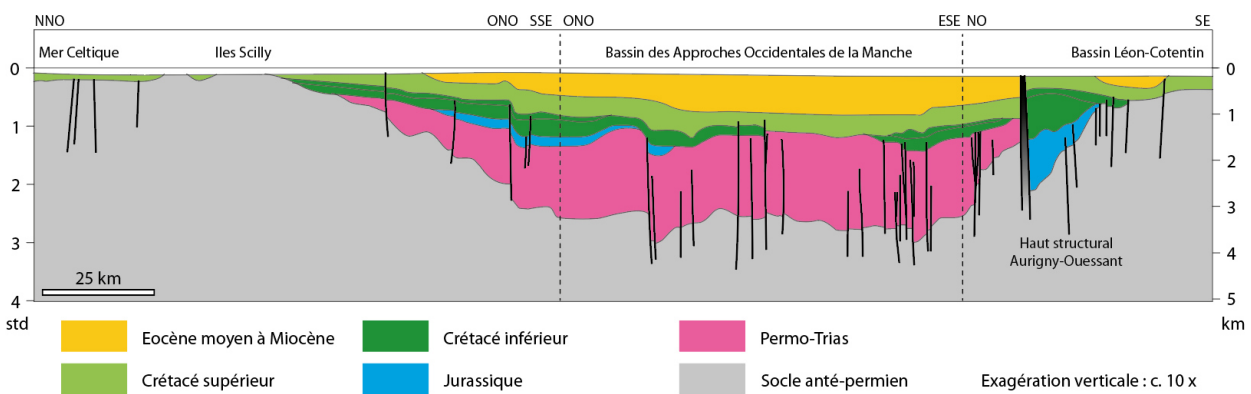


Figure 22 : Coupe géologique régionale NO-SE traversant le secteur des Approches Occidentales de la Manche, depuis le socle des Cornouailles en Mer Celtique, jusqu'au Bassin de Léon-Cotentin. Elle est centrée sur le Bassin des Approches Occidentales de la Manche, dont la limite sud est marquée par un accident tectonique majeur associé au Haut-Structurale Aurigny-Ouessant. Coupe interprétée du profil sismique SWAT 6/7 et réalisée d'après Hillis (1988), Evans et al., 1990 ; Bois et al., (1991). Std : secondes temps-double. Localisation de la coupe sur la Figure 21.

Le BAOM est recouvert à l'ouest par un prisme plio-pléistocène (p) très étendu, qui constitue le substratum jusqu'à la bordure du plateau continental, et au-delà, dans la pente continentale

rejoignant la plaine abyssale (Figure 23). C'est ici le début de la marge passive de l'Atlantique (Thinon et al., 2002). Vers le sud-est, la distribution des séries sédimentaires se réorganise en bandes parallèles orientées NO-SE au sein du segment sud-Armoricain de la marge nord-Gascogne.

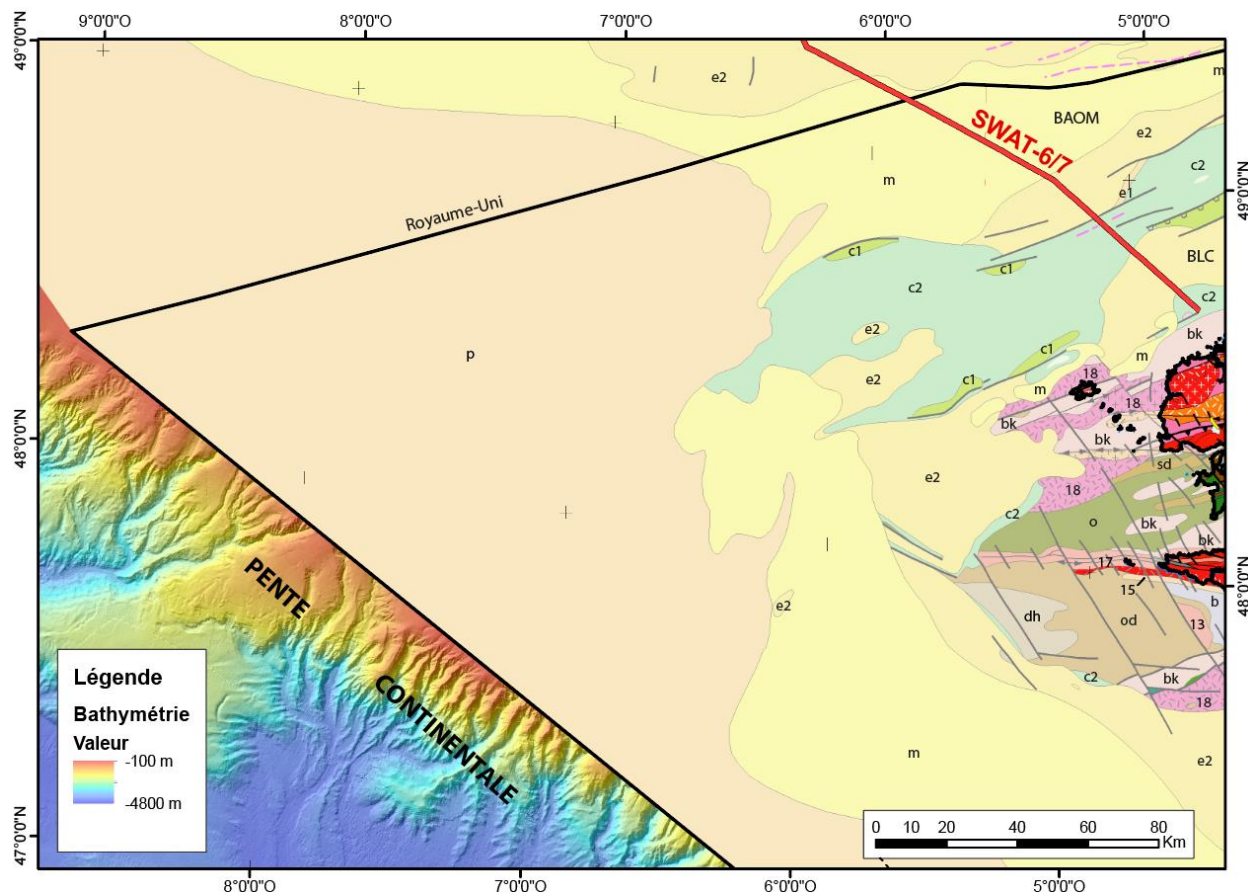


Figure 23 : Carte géologique de la façade NAMO du secteur Ouest Finistère – Approches occidentales de la Manche (simplifiée d'après Chantraine et al. 2003 ; Géotechnip, 1971 ; Bouysse et al., 1975 ; Evans et al., 1990). BAOM : Bassin de Approches Occidentales de la Manche ; BLC : Bassin Léon-Cotentin. Le trait rouge labellisé « SWAT-6/7 » correspond à la localisation de la coupe interprétée en **Erreur !** Source du renvoi introuvable.. Légende identique à la Figure 19

4.2. LA MARGE NORD-GASCOGNE ET LE PLATEAU SUD ARMORICAIN

Le plateau sud armoricain correspond au plateau continental d'un segment NO-SE de la marge passive nord-Gascogne. Cette dernière s'est développée lors de l'ouverture océanique atlantique et plus particulièrement, de l'ouverture du Golfe de Gascogne. Ce domaine sédimentaire est constitué d'une pile méso-cénozoïque débutant dans le Jurassique (j), qui est présent au large de l'Anse de l'Aiguillon (Figure 24). Plus à l'ouest, le jurassique ne semble pas préservé et la série sédimentaire commence à l'Albien (Crétacé inférieur – c1 ; Figure 25), comme décrit en base du puits d'exploration PENMA-1 (Preux, 1978 ; Figure 24 et Figure 25), à proximité de la bordure de plateau. Cependant, le Crétacé inférieur n'est pas documenté à l'affleurement au contact du socle au sud de la Bretagne. Le Crétacé supérieur (c2) est également décrit dans PENMA-1 et affleure çà et là le long du contact socle-couverture au sud-ouest du Finistère (Figure 24). Les dépôts cénozoïques sont largement représentés sur le plateau sud-armoricain et forment

des bandes subparallèles orientées NO-SE, depuis le Paléocène jusqu'à l'Eocène supérieur (e1-e2). La présence de l'Oligocène (g) est confirmée au forage PENMA-1 et quelques occurrences existent sur le fond marin en Baie de Concarneau et au sud de Belle-Ile (Thinon et al., 2008).

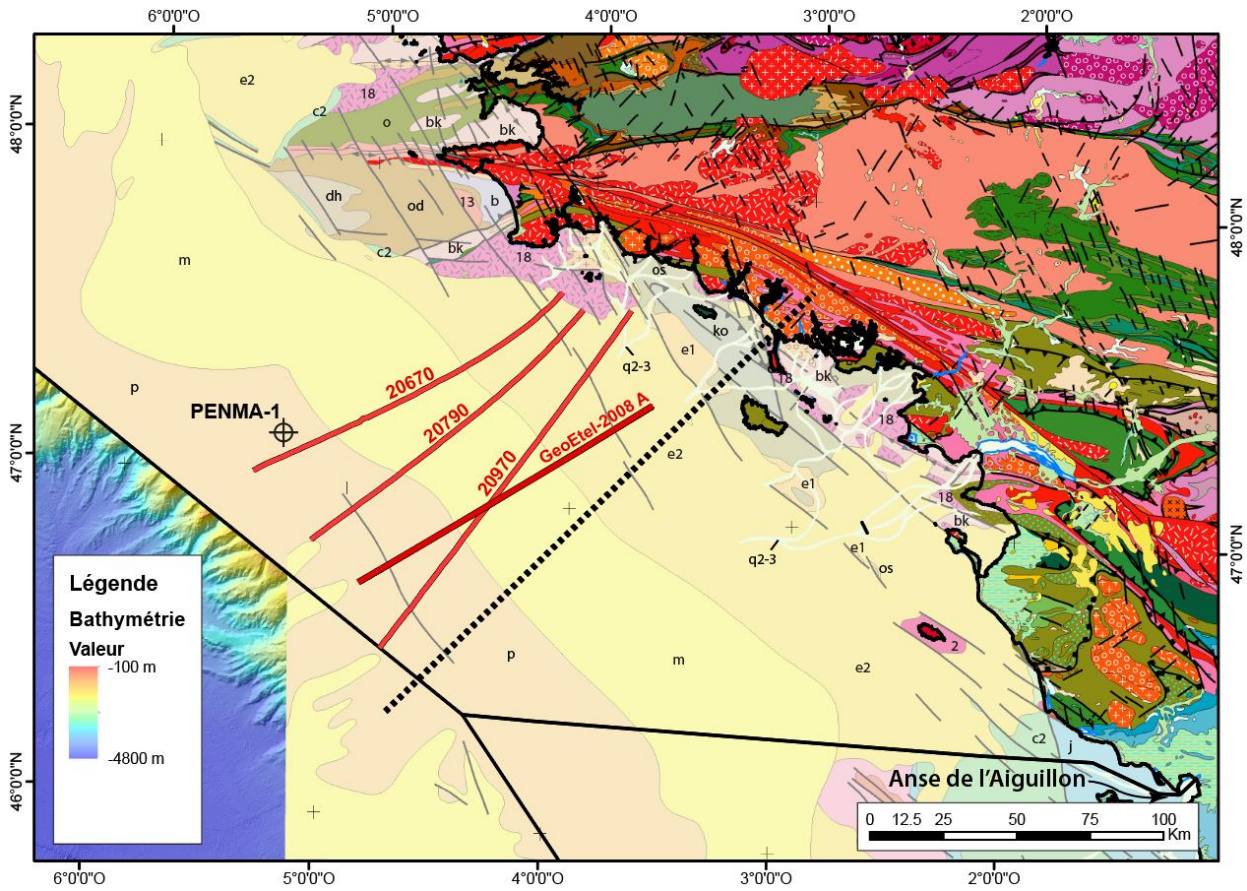


Figure 24 : Carte géologique de la façade NAMO du secteur Bretagne Sud-Vendée (simplifiée d'après Chantraine et al. 2003 ; Géotechnip, 1971 ; Bouysse et al., 1975). Le trait interrompu court noir coorespond à la coupe géologique de la Figure 25. Les traits rouges labellisés « 20670, 20790, 20970, et GeoEtel-2008 A » localisent les coupes sismiques interprétées de la Figure 26. Légende identique à la Figure 19

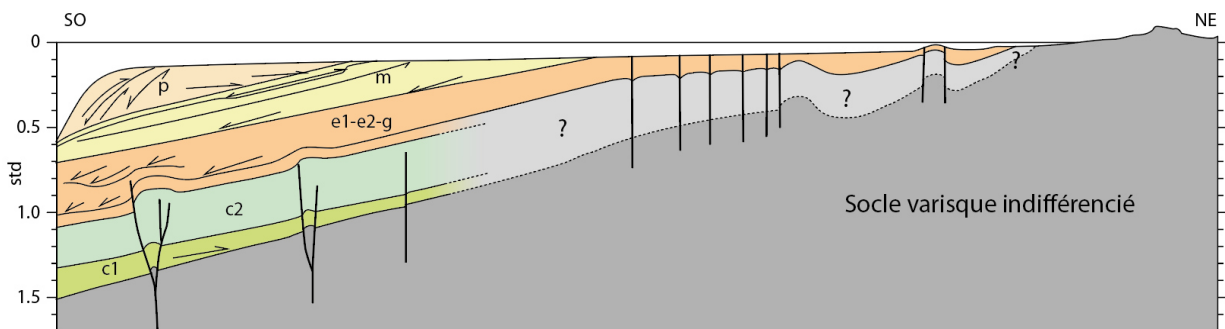


Figure 25 : Coupe synthétique NE-SO du plateau sud-armoricain de la marge nord-Gascogne, fondée sur les données de sismique réflexion (modifiée d'après Guillocheau et al., 2003). Std : secondes temps-double. Localisation de la coupe en Figure 24. Légende identique à la Figure 19.

La présence sur le fond marin de l'Oligocène sous forme d'une bande intercalée entre Eocène et Miocène (Figure 26) est proposée par Paquet et al. (2010). Le Miocène est également présent sur le fond sous la forme d'une large bande et est décrit dans PENMA-1. L'ensemble de la pile

méso-cénozoïque apparaît basculé vers le SO et le domaine océanique du Golfe de Gascogne (Bouysse et al., 1968 ; Guillocheau et al., 2003 ; Thion et al., 2008 ; Paquet et al. 2010 - Figure 25 et Figure 26).

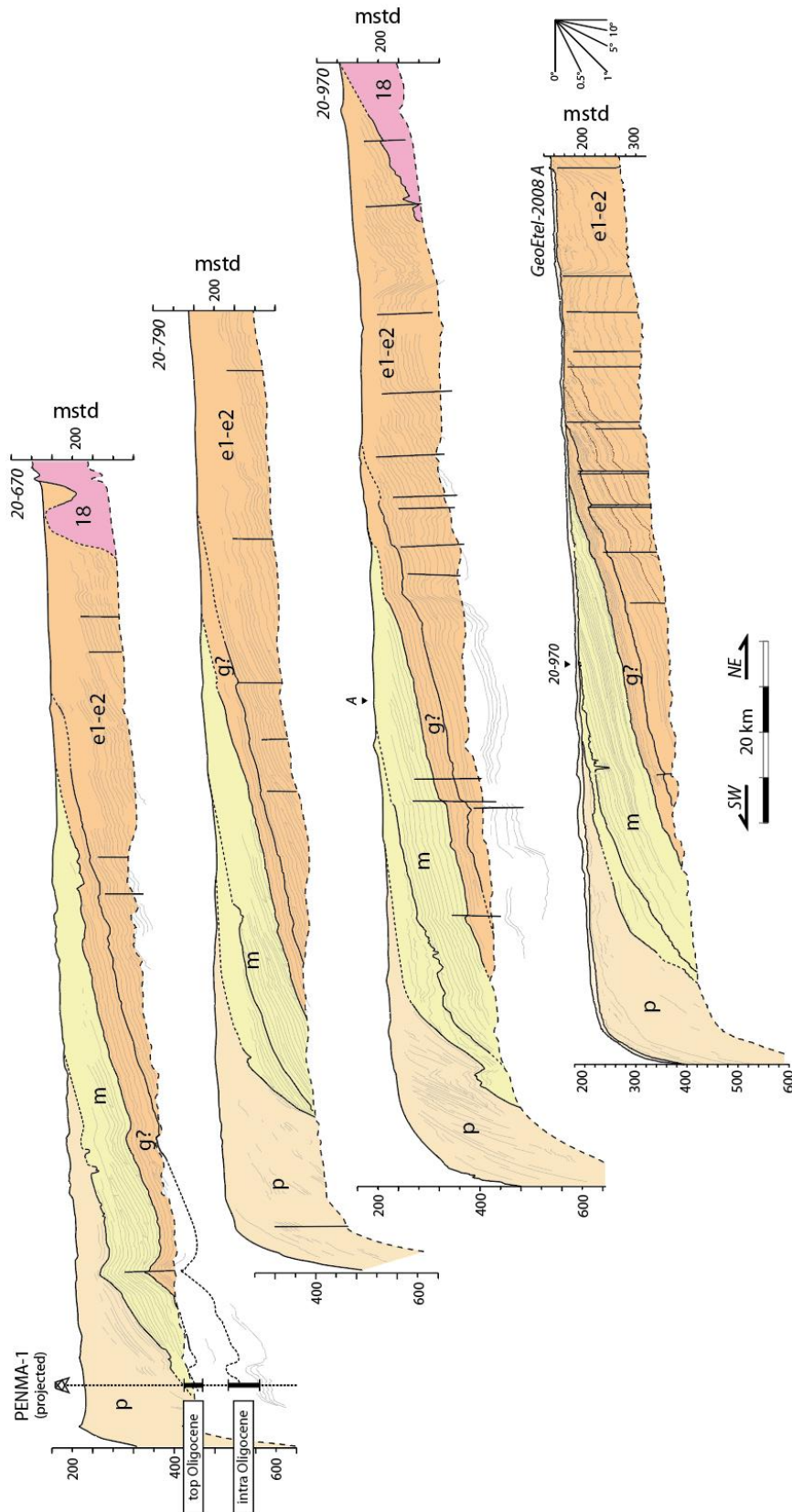


Figure 26 : Coupes sismiques interprétées localisées en Figure 24. Modifiées d'après Paquet et al. (2010).

4.3. SOCLE DU MASSIF ARMORICAIN

La façade NAMO entoure le Massif Armoricaïn depuis la Baie du Mont-Saint-Michel, jusqu'à la Pointe du Payré, au sud des Sables d'Olonne. Les terrains de socle sont principalement retrouvés dans les quinze à trente premiers kilomètres depuis le littoral. Au-delà, ils sont recouverts par les dépôts méso-cénozoïques de la Manche Occidentale au nord, des Approches Occidentales à l'ouest, et du plateau sud-armoricaïn au sud.

Le Massif Armoricaïn est divisé en quatre domaines structuraux hérités du cycle orogénique varisque (Ballèvre et al., 2009 ; Figure 27) :

- Le domaine nord-armoricaïn, qui s'étire entre l'ouest de la Normandie et la Bretagne nord, et correspond au domaine orogénique cadomien (anté-varisque),
- Le domaine centre-armoricaïn entre Anjou et Finistère, séparé du domaine nord par le cisaillement nord-armoricaïn,
- Le domaine du Léon, d'affinité saxo-thuringienne, au nord-ouest, entre Trégor et Rade de Brest, et séparé des domaines nord- et centre-armoricaïns par la zone de suture du Conquet,
- Le domaine sud-armoricaïn, séparé du domaine centre-armoricaïn par le Cisaillement Sud-Armoricaïn (CSA), et qui s'étire de la Pointe du Raz à la Vendée.

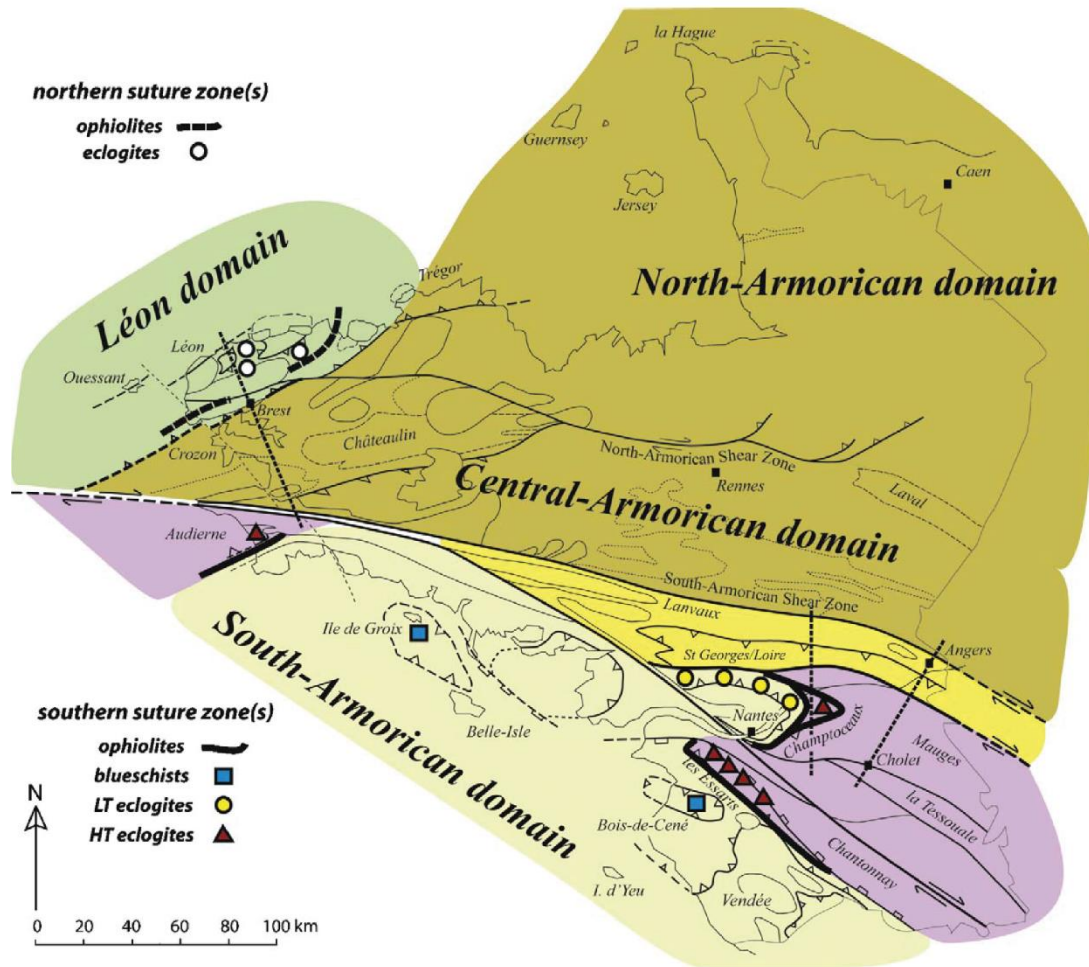


Figure 27 : Carte synthétique des domaines structuraux varisques du Massif Armoricain, séparés par les grands cisaillements carbonifères (Ballèvre et al., 2009).

Ce massif de socle enregistre une longue histoire géologique commencée au Paléoprotérozoïque. En effet, des témoins de l'orogénèse icartienne (2.2 – 1.8 Ga) sont retrouvés en Baie de Lannion (Calvez et Vidal, 1978 ; Auvray et al., 1980 ; Hallot, 1999 ; Figure 20) sous la forme d'une bande d'orthoigneiss (1). Ces formations icartiennes constituent les plus vieilles roches de France métropolitaine et sont également connues à Guernesey et au Cap de la Hague (façade MEMN). La bande d'icartien orientée NE-SO, en Baie de Lannion (Figure 20), est entourée de terrains néoprotérozoïques, qui témoigne du cycle orogénique ultérieur du Cadomien (750-540 Ma). Des reliques de gneiss icartien sont également retrouvées autour de Port-Béni à l'est du Trégor.

Le Néoprotérozoïque édiacarien est largement représenté dans le domaine nord-armoricain nord par les séries sédimentaires et volcano-sédimentaires déformées et métamorphisées du Briovérien (b - Figure 28 ; Cogné, 1972 ; Le Gall et al., 1986 ; Denis et Dabard, 1988 ; Dabard, 1990). Une large partie de la déformation de ces roches s'est faite lors de l'orogénèse cadomienne, à la transition entre le Néoprotérozoïque et le Paléozoïque. La distinction entre les séries briovériennes et celles du Cambrien est parfois rendue délicate par le métamorphisme et les déformations ultérieures et se traduit par l'existence de séries briovériennes-cambriennes indifférenciées (bk), principalement au large du Finistère (Figure 29) et entre la Presqu'île de Quiberon et l'île de Noirmoutier (Figure 30). La formation de la chaîne cadomienne voit également la mise en place de plusieurs plutons granitiques (granites, granodiorites, gabbros ; 2-7) d'âge

néoprotérozoïque à ordovicien, au sein des séries du Briovérien, principalement sur le secteur nord Bretagne, entre la Baie du Mont-Saint-Michel et le Trégor (Figure 20 et Figure 28), et à l'île d'Yeu (Figure 24). Les différentes formations associées au cycle cadomien s'organisent en bande subparallèles d'orientation NE-SO, le long des grands accidents de la chaîne (voir section 4.4).

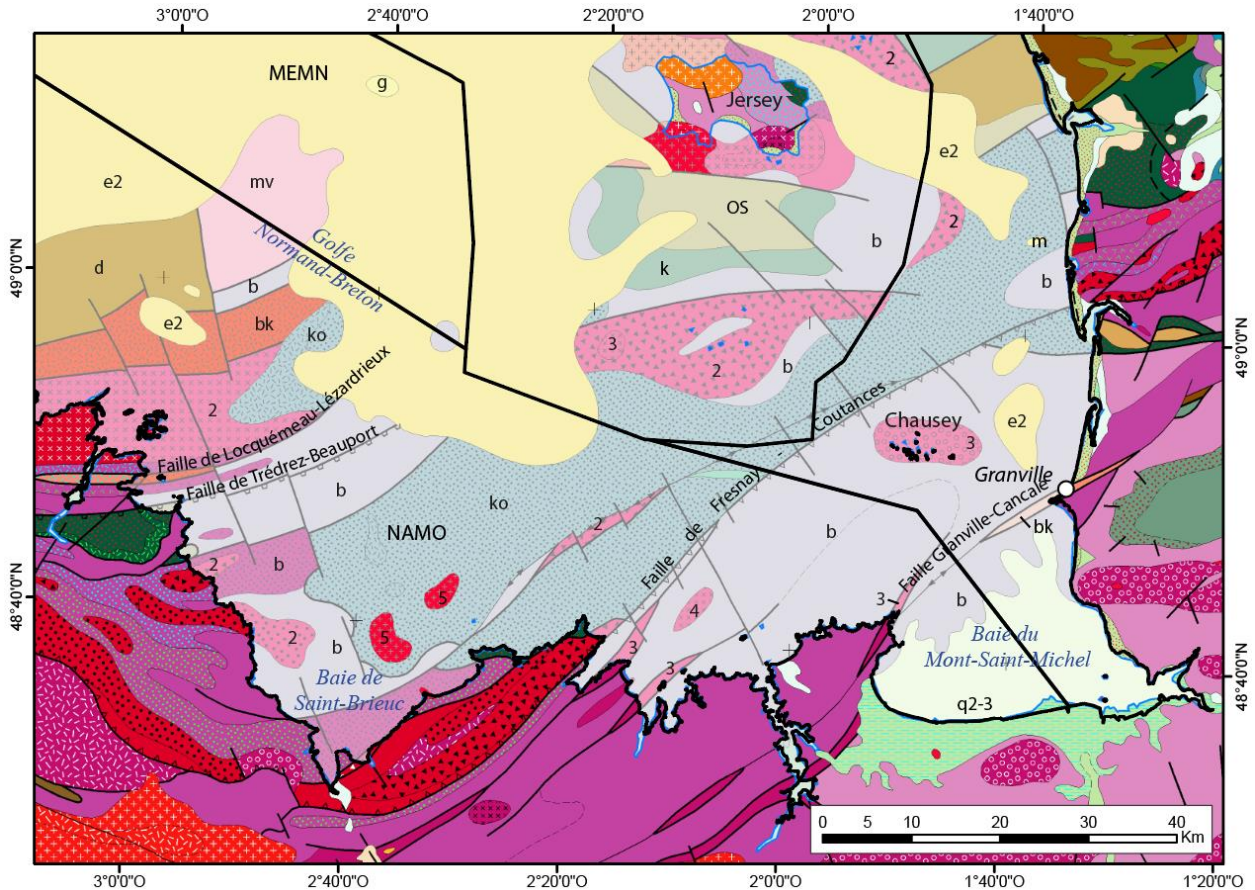


Figure 28 : Carte géologique de la façade NAMO du secteur Golfe Normand-Breton, simplifiée d'après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la Figure 19.

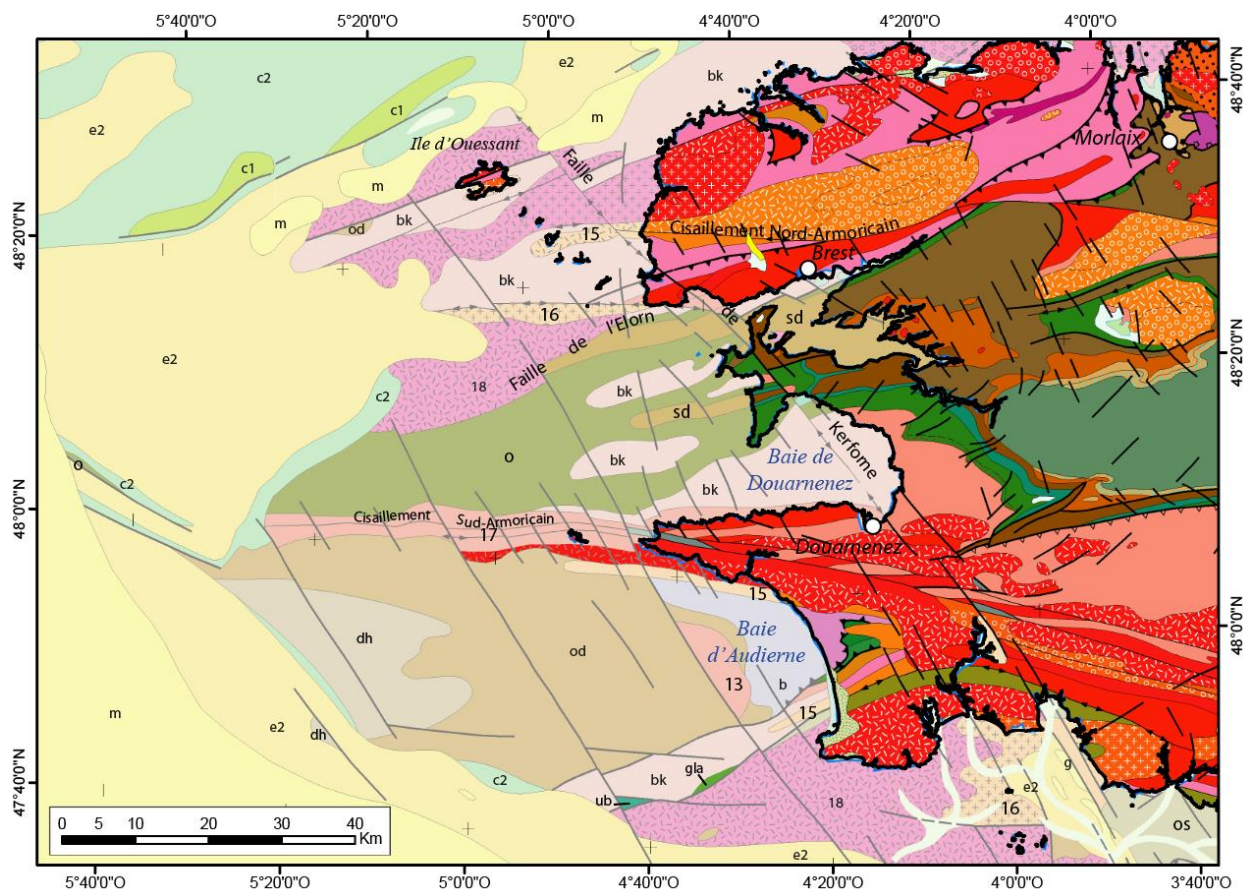


Figure 29 : Carte géologique de la façade NAMO du secteur Finistère, simplifiée d'après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la Figure 19

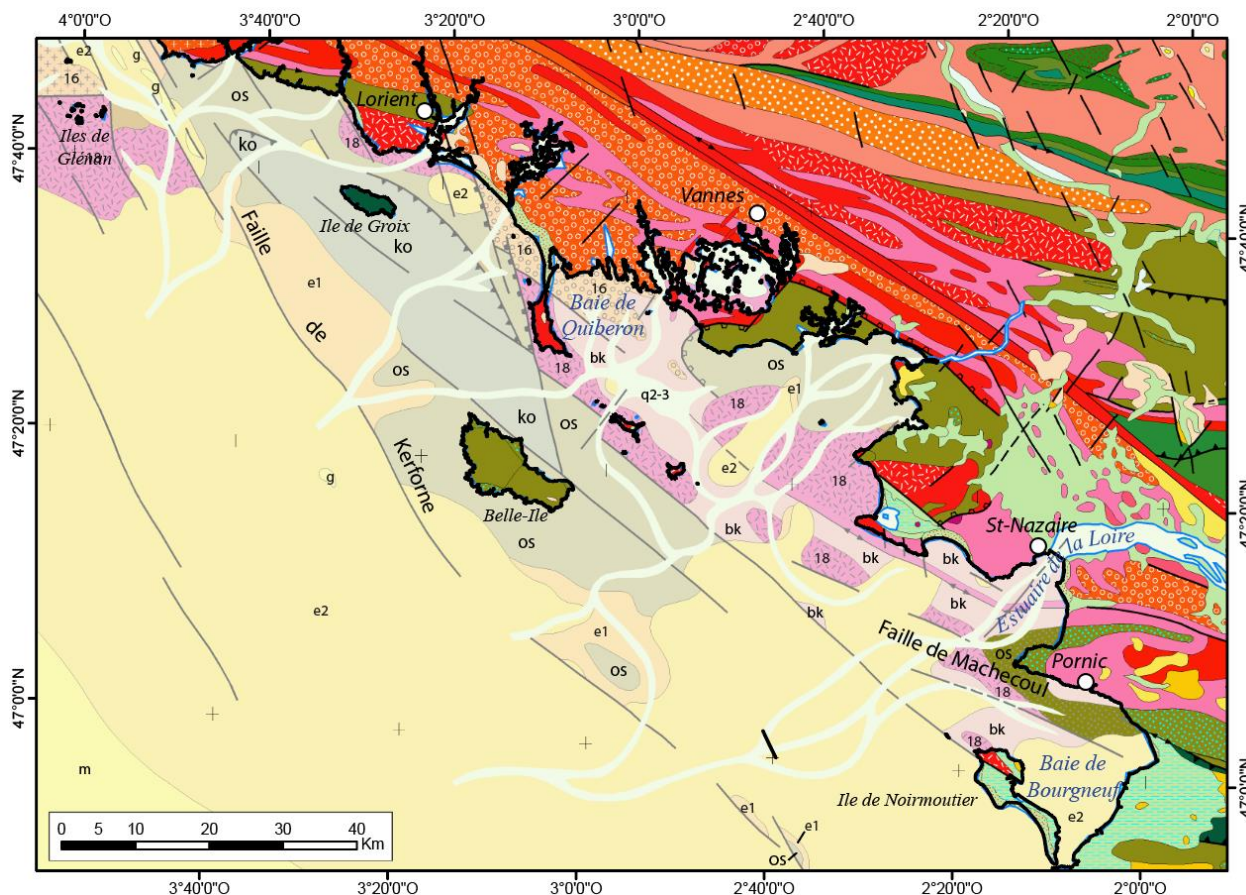


Figure 30 : Carte géologique de la façade NAMO du Glénan-Noirmoutier, simplifiée d'après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la Figure 19

Le Paléozoïque sédimentaire, volcano-sédimentaire et métasédimentaire est retrouvé en mer dans les quatre domaines structuraux du Massif Armoricain. Il y est souvent déformé (plis et failles), voire affecté par la schistosité, et les emprises des zones d'affleurement sont souvent limitées par des accidents majeurs de la chaîne varisque.

- Dans le domaine nord-armoricain, le Cambro-Ordovicien indifférencié (ko) couvre une large partie du Golfe Normand-Breton au nord de la Faille Fresnay-Coutances. Il est également documenté sur une zone plus restreinte au nord de la Faille de Locquémeau-Lézardrieux. Au nord du Trégor, le Dévonien sédimentaire (d) est présent autour des Sept-Iles. Il est également présent localement en Baie de Lannion et en Baie de Morlaix (Figure 20 et Figure 28).
- Dans le domaine du Léon, le Paléozoïque sédimentaire est rare et n'a été cartographié qu'à l'ouest de l'île d'Ouessant (Ordovicien-Dévonien (od) ; Figure 29).
- La partie immergée du domaine centre-armoricain comprend la Rade de Brest, la Baie de Douarnenez, et une partie de la Mer d'Iroise, entre la Faille de l'Elorn au NO et le Cisaillement Sud Armoricain au sud. Le Paléozoïque sédimentaire y est très présent et correspond à la prolongation en mer des formations de l'Ordovicien (o) et du Siluro-Dévonien (sd) du Bassin de Châteaulin, qui affleurent largement en presqu'île de Crozon (Figure 29).
- Dans le domaine sud-armoricain, au large de la Baie d'Audierne, le Paléozoïque couvre une superficie importante avec des terrains ordoviciens à dévoniens (od) et dévono-carbonifères (dh) (Figure 29).

Le Paléozoïque présente également des formations fortement métamorphisées, c'est-à-dire ayant subi de fortes pressions et/ou températures par enfouissement. Ces faciès métamorphiques sont retrouvés sur et autour des îles de Groix et de Belle-Ile, et également en Baie de Vilaine, et en Baie de Bourgneuf (Figure 30). A Groix, les roches cambro-ordoviciennes (ko) d'origine sédimentaire ou basaltique ont subi un métamorphisme de haute-pression/basse température de faciès schiste bleu acquis lors de la subduction au Dévono-Carbonifère (Bosse et al., 2005 ; Figure 30). La profondeur atteinte par les roches lors de l'enfouissement par subduction est estimée entre 45 et 60 km. A Belle-Ile, les roches d'origine volcanique et volcano-sédimentaire (Audren et Plaine, 1986), d'âge ordovicien à silurien ont également subi un métamorphisme, cependant de plus faible grade que les formations de l'île de Groix (Schistes verts). Des terrains équivalents sont retrouvés en Baie de Vilaine et en Baie de Bourgneuf, au sud et à l'ouest de Pornic (Pointe de Saint-Gildas ; Figure 30).

Il est à noter que des occurrences de la série ophiolitique métamorphisée de la Baie d'Audierne (ub, gla) sont documentées en mer, au sud-ouest de la baie (Figure 29).

Enfin, le socle du Massif Armoricaire présente une série plutonique varisque à dominante granitique retrouvée dans le Trégor, dans le domaine du Léon et dans le domaine sud-armoricain. La série débute au Dévono-Carbonifère (13 – Baie d'Audierne, Figure 29 ; 14 – entre Baie de Lannion et Baie de Morlaix), mais est principalement d'âge carbonifère (15 à 18). Au large du domaine du Léon, les granites du Carbonifère inférieur sont retrouvés de la Pointe de Corsen à l'île de Molène (15), et les granites du Carbonifère inférieur à supérieur sont retrouvés à l'ouest de la Pointe Saint-Mathieu (16) (Figure 29). Divers plutons granitiques (monzogranites, diorites, ...) du Carbonifère moyen à supérieur sont retrouvés au nord et à l'ouest du Léon, jusqu'à l'île d'Ouessant (18). Dans le domaine sud-armoricain, les granitoïdes du Carbonifère inférieur à moyen encadrent la Baie d'Audierne (15) le long des accidents tectoniques principaux (Figure 29). Ils sont également retrouvés en Baie de Concarneau et de part et d'autre de la Presqu'île de Quiberon (16 ; Figure 30), ainsi que dans le prolongement en mer du Cisaillement Sud Armoricaire, à l'ouest de la Pointe du Raz (17 ; Figure 29). Enfin, de nombreuses occurrences de leucogranites sont documentées au sud de Penmarch, au large de Lorient, de la Presqu'île de Quiberon aux îles de Houat et Hoëdic, au large de Piriac, du Croisic, et de l'île de Noirmoutier (18 ; Figure 30).

4.4. STRUCTURES TECTONIQUES MAJEURES

La façade NAMO est à cheval sur 3 grands ensembles géologiques, que sont la Manche Occidentale et ses Approches, la marge nord-Gascogne au niveau du plateau sud-armoricain, et le Massif Armoricaire (Figure 18). Ces ensembles sont délimités ou traversés par de grandes structures tectoniques qui peuvent les subdiviser en domaines structuraux.

Le Massif Armoricaire est divisé en quatre domaines présentant chacun un style structural différent (Figure 27).

- Le domaine nord-armoricain, d'affinité cadomienne est affecté par des failles d'orientation NE-SO, dont font partie les failles de Granville-Cancale, de Fresnay-Coutances, et les failles de Trédrez-Beauport / Locquémeau-Lézardrieux. Elles limitent respectivement depuis le SE vers le NO, les sous-domaines cadomiens de Fougères, de Saint-Malo, de Saint-Brieuc et de Trégor-La Hague (Ballèvre et al., 2001). Ces grandes structures se branchent sur le Cisaillement Nord Armoricaire d'orientation ESE-ONO (Figure 31).

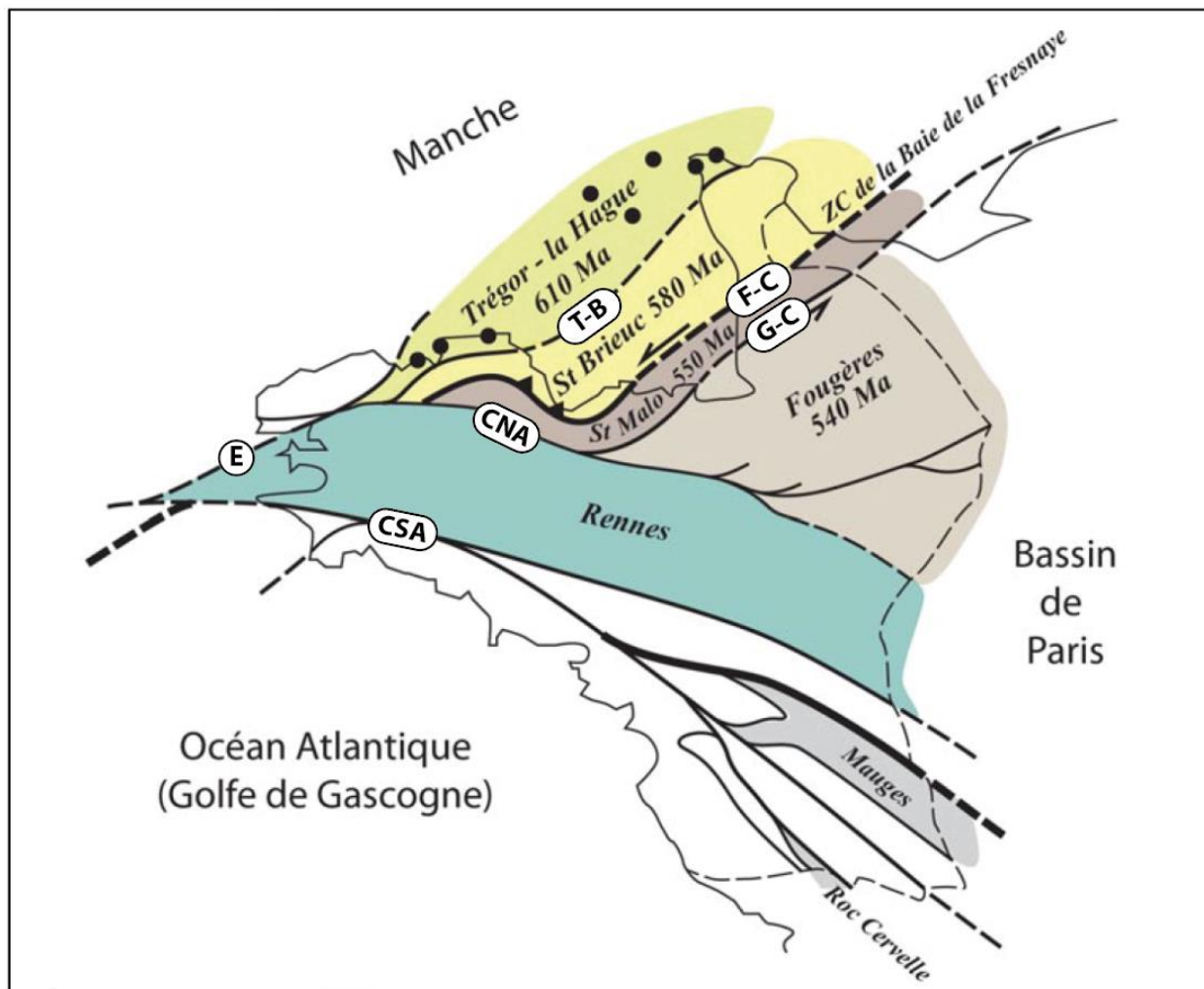


Figure 31 : Carte synthétique des sous-domaines structuraux cadomiens au sein du Massif Armorican, limités par les accidents majeurs (CSA : Cisaillement Sud-Armoricain ; CNA : Cisaillement Nord-Armoricain ; E : Faille de l'Elorn ; T-B : Faille de Trédrez-Beauport ; F-C : Faille de Fresnay-Coutances ; G-C : Faille de Granville-Cancale). Les âges associés aux sous-domaines correspondent aux âges moyens des intrusions (granitiques, gabbro-dioritiques, ...) du cycle orogénique cadomien propres à chaque sous-domaine. Les points noirs du sous-domaine Trégor-Hague correspondent aux occurrences de reliques paléoprotérozoïques icartiennes. Modifiée d'après Ballèvre et al., 2001 ; Ballèvre et al., 2013).

- Au sud du Cisaillement Sud-Armoricain, on retrouve le sous-domaine centre-armoricain, qui reste peu déformé lors de l'orogénèse cadomienne.
- Au nord-ouest du Massif Armorican se développe le domaine du Léon, qui est séparé du domaine centre-armoricain et du domaine nord-armoricain (sous-domaine Trégor-Hague) par la Faille de l'Elorn d'orientation NE-SO et d'affinité varisque (Figure 27, Figure 29, et Figure 31). Cette orientation est retrouvée plus au nord, au cœur de la Manche Occidentale, notamment pour la zone de faille Aurigny-Ouessant.
- Les domaines centre-armoricain et sud-armoricain sont séparés par le Cisaillement Sud-Armoricain ONO-ESE, d'affinité varisque. Cet accident se prolonge vers l'ouest, au-delà de la Pointe du Raz en se réorientant sur une direction E-O.
- Dans le domaine sud-armoricain, de nombreuses failles NO-SE / N110-120° (eg. Faille de Machecoul) parallèles au Cisaillement Sud-Armoricain sont identifiées.
- Enfin, l'ensemble du Massif Armorican est recoupé par une famille de failles N140°, prenant le nom d'une de ses représentantes, la Faille de Kerforne, qui traverse le Finistère depuis la Baie de Concarneau à l'est de Ouessant, en passant par Quimper, Crozon, et

le Conquet (Figure 29 et Figure 30). Cette Faille est reprise au Crétacé par l'injection d'un filon doléritique, synchrone du début de l'ouverture de l'Océan Atlantique vers 200 Ma (Jourdan et al., 2003).

La Manche Occidentale et ses Approches sont traversées par des structures NE-SO, constituant le haut structural Aurigny-Ouessant (Figure 20 à Figure 22). Cette direction s'apparente à celles caractéristiques des failles du domaine nord-armoricain et du Léon. On peut donc supposer que les failles du domaine Manche Occidentale possède un héritage structural cadomien et varisque.

Le domaine de marge nord du Golfe de Gascogne est également affecté par des failles N110-N120 et N140, parallèles au Cisaillement Sud-Armoricain et aux failles « Kerforne » d'origine varisque (Figure 30). On peut, à l'instar de la Manche Occidentale, supposer une réactivation méso-cénozoïque des failles varisques dans ce domaine. Une faille d'orientation « Kerforne » est d'ailleurs cartographiée sur la bordure du plateau sud-armoricain, à 140 km des côtes. Les données sismiques montrent qu'elle est active au moins jusqu'au Pliocène (Figure 26).

5. Lithologies du substratum rocheux

Du point de vue géologique, les terrains présents sur la zone NAMO peuvent être séparés en deux grandes catégories :

- Les roches de socle, qui intègrent les roches cristallines (granites, granodiorites, ...), les roches métamorphiques orthodérivées (dont le protolithe est cristallin) et paradérivées (dont le protolithe est sédimentaire). Des roches d'origine volcanique sont également présentes dans le domaine armoricain.
- Les roches sédimentaires, déposées en domaine de bassin, comprennent les roches détritiques terrigènes (grès, argilites), les roches à dominante carbonatée (calcaires, marnes), les roches évaporitiques (halite, gypse). Ces roches sont retrouvées principalement dans le Bassin Anglo-Parisien.

Dans cette section, nous aborderont les grands ensembles lithostratigraphiques à l'échelle des périodes et des époques, tels qu'elles figurent sur la carte géologique de la France au 1/1 000 000^{ème} (Chantraine et al., 2003). Les informations lithostratigraphiques seront elles tirées des cartes, notices et publications scientifiques. Ils sont classés de façon hiérarchique par Eon, Ere, et Période, basée sur la charte chronostratigraphique internationale (Cohen et al., 2023 ; Figure 32).

Lithostratigraphie du socle du Massif Armoricaïn

- PRECAMBRIEN
 - o Protérozoïque
 - Paléoprotérozoïque
 - Il s'agit des roches « icartiennes », présentes en Baie de Lannion et dans le Trégor, sous la forme d'**orthogneiss** (1).
 - Néoprotérozoïque (750 – 550 Ma – orogénèse Cadomienne)
 - **Intrusions Gneiss et granitoïdes** d'un arc continental associé à la subduction qui préfigure la collision de la chaîne cadomienne et affleurant sur le littoral de la Baie de Saint-Brieuc (2).
 - Le Briovérien (b) est une épaisse **série volcano-sédimentaire** déformée et faiblement métamorphique, sauf (1) à proximité des

intrusions « granitiques » où un métamorphisme de contact a généré des **cornéennes**, ou (2) le long des accidents principaux où il peut avoir subi de la fusion partielle et s'être transformé en **paragneiss migmatitique**. On y retrouve des roches volcaniques (**basaltes, pyroclastites, tuffites, phtanites**) de l'arc insulaire (acides et basiques) et des **schistes et grès de type flysch**. Il est présent depuis la Baie du Mont-Saint-Michel à la Baie de Lannion. Des équivalents dont l'âge est plus incertain (Briovérien-Cambrien) sont retrouvés autour de la Presqu'île de Crozon (bk).

La présence de **paragneiss migmatitiques** à protolithe briovérien est documentée au nord-est de Saint-Malo. Des formations métamorphiques à protolithe Briovérien-Cambrien indifférencié (bk) sont également retrouvés au nord et à l'ouest du Léon (**micaschistes, paragneiss, migmatites**), au sud de la Baie d'Audierne (**micaschistes, paragneiss, amphibolites**), et entre la Baie de Quiberon et la Baie de Bourgneuf (**micaschistes, migmatites, amphibolites, anatexites**).

- Le Néoprotérozoïque est également caractérisé par de nombreuses intrusions qui se sont mises en place au cours du cycle cadomien (2-7). On peut ainsi retrouver une grande variété de lithologies dont des **gabbros, diorites, granodiorites, monzogranites et granites**, ainsi que leurs équivalents métamorphiques. Ces intrusions plutoniques présentent une altération pouvant mener à la formation **d'arène granitique**.

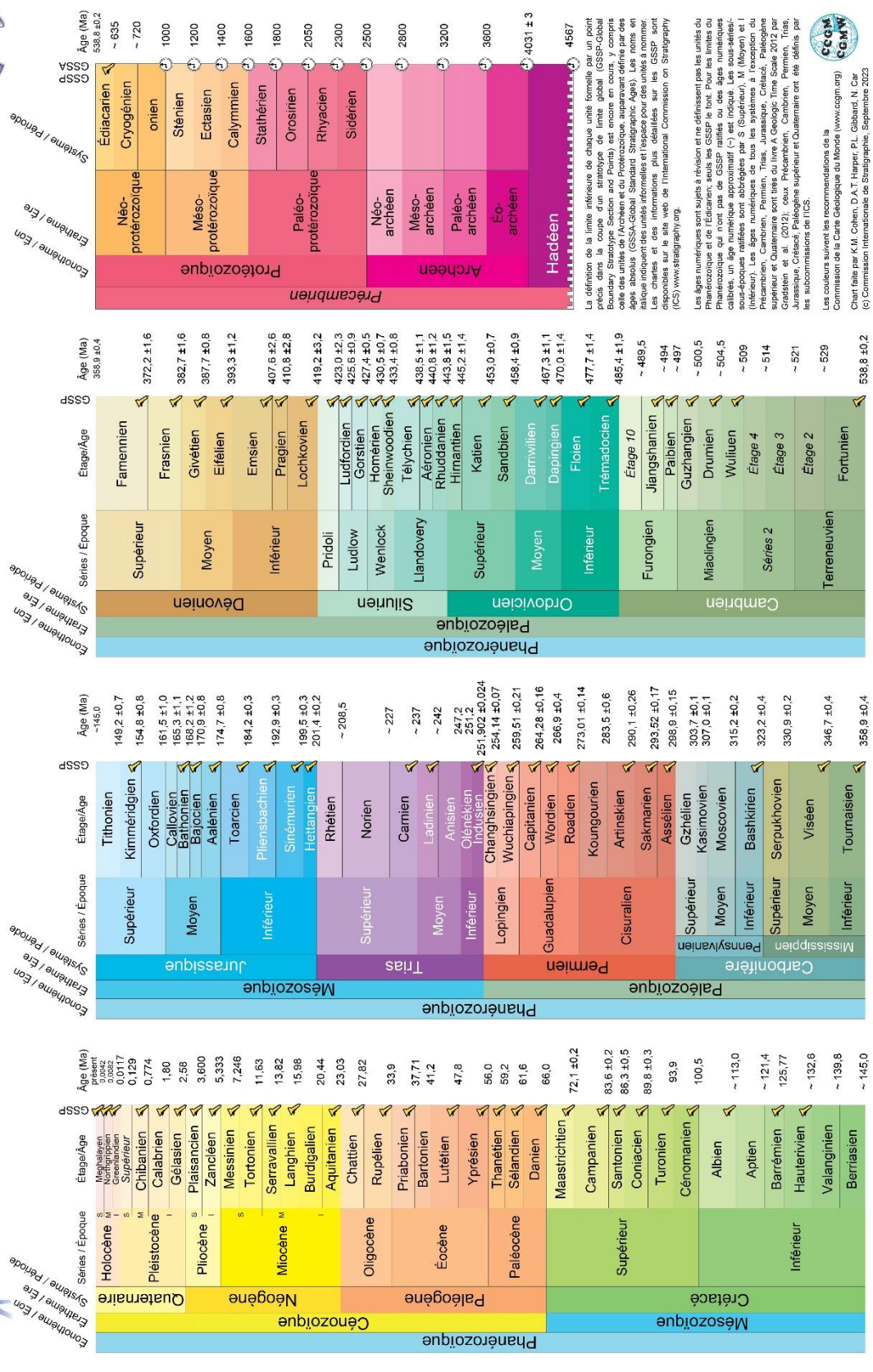


Figure 32 : Charte chronostratigraphique internationale (ICS, 2023).

○ Phanérozoïque

▪ Paléozoïque

- Le Cambrien (k) débute la série sédimentaire paléozoïque par une alternance de **conglomérats, grès et schistes**. En mer, il est parfois retrouvé associé à l'Ordovicien (ko) avec des lithologies équivalentes. On le retrouve principalement au nord de la Baie de Saint-Brieuc. Le Cambro-Ordovicien apparaît également au nord-est de Bréhat, où des lithologies volcaniques alcalines de trachy-andésites et des rhyolites sont retrouvées.
- Le Cambro-Ordovicien est considéré comme le protolithe de l'unité métamorphique de haute-pression / basse-température de l'île de Groix, où il est représenté par des **schistes bleus à glaucophanes, micaschistes à grenats, ou des schistes verts** rétrogrades.
- Enfin, la série ophiolitique à **prasinites (méta-basaltes), amphibolites (méta-gabbros), et serpentinites** de la Baie d'Audierne retrouvée en mer est supposée d'âge cambro-ordovicien.
- L'Ordovicien (o) présente une alternance de **grès, schistes et carbonates** et affleure en mer à l'ouest du Finistère, entre la faille de l'Elorn et le Cisaillement Sud-Armoricain.
- L'Ordovicien-Silurien volcano sédimentaire indifférencié fortement métamorphique (os) est très abondant dans le domaine sud-armoricain, des Glénan à la Baie de Bourgneuf, en passant par Belle-Ile, avec des lithologies de **schistes verts, micaschistes, paragneiss, amphibolites, méta-rhyolites et méta-arkoses porphyroïdes**.
- L'Ordovicien-Dévonien sédimentaire indifférencié (od) est présent au large de la Baie d'Audierne et à l'ouest de l'île d'Ouessant, avec des lithologies de **schistes, grès et quartzite**.
- Le Dévonien (d) est présent au nord du Trégor, sous la forme d'une série à **schistes, grès et calcaires**.
- La série ordovicienne-dévonienne de la Baie d'Audierne se prolonge vers l'ouest par une succession dévono-carbonifère (dh) à **grès, tuffites et schistes**.
- Le paléozoïque est également caractérisé par une variété d'intrusions associées au cycle orogénique varisque (13 à 18) avec des **gabbros, diorites, granodiorites, monzogranites, granites, leucogranites peralumineux**. En mer, ils sont retrouvés principalement dans les domaines du Léon et sud-armoricain.

▪ Mésozoïque

- Le Jurassique est retrouvé entre l'Anse de l'Aiguillon et les Sables d'Olonne.
 - Peu d'information sont disponibles quant aux lithologies en présence. Par corrélation aux formations retrouvées à terre, les lithologies attendues sont **les calcaires, marnes, argiles et grès (j)**.
- Le Crétacé est retrouvé à plusieurs endroits sur l'ensemble de la zone NAMO.

- En Manche Occidentale, le Crétacé est présent sur le fond le long du haut structural Aurigny-Ouessant.
 - Le Crétacé inférieur indifférencié (c1) affleure sur le fond marin, le long du haut Aurigny-Ouessant, à la faveur d'anticlinaux et failles, qui le font localement remonter. Il est constitué de **sables et argiles** peu indurés.
 - Le Crétacé supérieur (intervalle Cénomaniens-Maastrichtien) domine au niveau du haut structural Aurigny-Ouessant, et apparaît localement en bandes étroites, le long du contact socle-couverture, ou le long de failles NO-SE. Les lithologies rencontrées sont les **craies glauconieuses, craies marneuses et craie blanche à silex**.
- Au niveau du domaine de la marge nord-Gascogne, le Crétacé inférieur (c1) est absent à l'affleurement. Le Crétacé supérieur (c2) n'est pas présent dans la partie septentrionale, exception faite d'un possible pointement à l'apex d'un anticlinal au SO de Belle-Ile. Le Crétacé supérieur c2 refait son apparition sur le fond marin au large des Sables d'Olonne, entre Jurassique et Cénozoïque. Les lithologies dominantes sont les **calcaires marneux et crayeux, les craies, les calcaires gréseux**.
- Le Cénozoïque
 - Sur la zone NAMO, le Cénozoïque est représenté par les terrains paléogènes et néogènes (e1, e2, g, m, p).
 - Au niveau de la Manche Occidentale et de ses approches, le Cénozoïque est présent au niveau des Bassins Léon-Cotentin (BLC) et des Approches Occidentales de la Manche (BAOM).
 - L'intervalle Paléocène-Eocène inférieur (e1) correspond aux premiers dépôts cénozoïques de ces bassins, mais ne semble pas former d'auréole continue sur leurs pourtours. Au contraire, il est peu présent à l'affleurement, et principalement sous forme de bandes étroites de part et d'autre du haut Aurigny-Ouessant. Les séries y sont constituées de **sables et calcaires**.
 - L'intervalle Eocène moyen-supérieur (e2) est largement présent (1) dans le BLC, où il constitue l'essentiel des terrains affleurant ou sub-affleurant, et (2) dans le BAOM, où il forme une large auréole autour des terrains néogènes (Miocène). Les lithologies rencontrées sont des **calcaires, grès et argiles**.
 - L'Oligocène (g) n'est présent qu'au sein du BLC, où il est constitué d'**argiles, marnes et calcaires**.
 - Le Miocène (m) constitue le cœur du BAOM et présente des lithologies de **calcaires, marnes et argiles**.

- Les dépôts paléogènes et miocènes du BOAM sont surmontés par un prisme plio-pléistocène (p) installé sur la bordure du plateau continental, et qui se prolonge vers le SE, le long de la marge nord-Gascogne. Il est constitué de **calcaire, marnes, argiles et sables**.
- Le plateau continental de la marge nord-Gascogne développe une série relativement complète du Paléocène au Plio-Pléistocène, basculée vers le SO (domaine océanique du Golfe de Gascogne).
 - Le Paléocène-Eocène inférieur (e2) est présent au contact du socle métamorphique ordovicien-silurien de Belle-Ile et de la Baie de Vilaine, de façon discontinue et affecté par les déformations (Thinon et al., 2008) avec des lithologies de **sables glauconieux, marnes, argiles et calcaires**.
 - L'intervalle Eocène moyen-supérieur (e1) affleure largement et constitue une bande continue NO-SE depuis le SO du Finistère, au SO de la Vendée. Il est également présent plus près des côtes, préservé en domaine de socle armoricain à la faveur de fossés d'effondrement (Baie de Concarneau, Bassin de Gavres, au sud de Lorient). Il est constitué de **calcaires, grès et marnes**.
 - L'Oligocène est peu représenté, à l'exception de pointements dans la Baie de Concarneau et au sud-ouest de Belle-Ile, où il est caractérisé par des **calcaires, grès et sables**. Il est cependant possible qu'une fine bande d'Oligocène NO-SE affleure, intercalée entre Eocène et Miocène cours le long du plateau, mais n'a pas encore été échantillonnée à ce jour.
 - Le Miocène (m) constitue également une bande continue de l'Ouest du Finistère, jusqu'à la Gironde, en façade Sud-Atlantique. Le **calcaire** y est dominant.
 - Le prisme plio-pléistocène recouvre le Miocène et occupe la bordure du plateau continental de la marge nord-Gascogne et est constitué de **calcaires, marnes et argiles**. Dans la pente continentale, les canyons sous-marins incisent le prisme plio-pléistocène, permettant ainsi des affleurements des **calcaires** miocènes.

6. Données géologiques et géophysiques

Dans cette section, les données géologiques et géophysiques disponibles auprès du BRGM et collaborateurs sont présentées. Les données géophysiques correspondent aux données sismiques acquises sur plus de cinq décennies de travaux d'exploration du plateau continental et d'amélioration de la connaissance géologique. Un aperçu des données géologiques et géophysiques issues de l'exploration pétrolière est également proposé.

6.1. DONNEES GEOPHYSIQUES

Vingt-huit campagnes d'acquisition sismiques sont ainsi décrites (détails dans la Table 1) et leurs plans de positions présentés en Figure 33 à Figure 35. Les données sismiques sont ainsi disponibles sous forme « papier » (scannées) ou numériques pour les plus récentes. Les sources sismiques générant l'impulsion acoustique sont de type électrique (Sparker ou Boomer) ou utilisent l'air comprimé. Le système de détection des ondes réfléchies utilise un seul hydrophone ou groupe d'hydrophones (monotrace), ou plusieurs groupes d'hydrophones (multitrace). L'image sismique obtenue est de haute à très haute résolution verticale (métrique). Cette liste de campagnes ne constitue cependant pas un inventaire exhaustif des campagnes et données existantes.

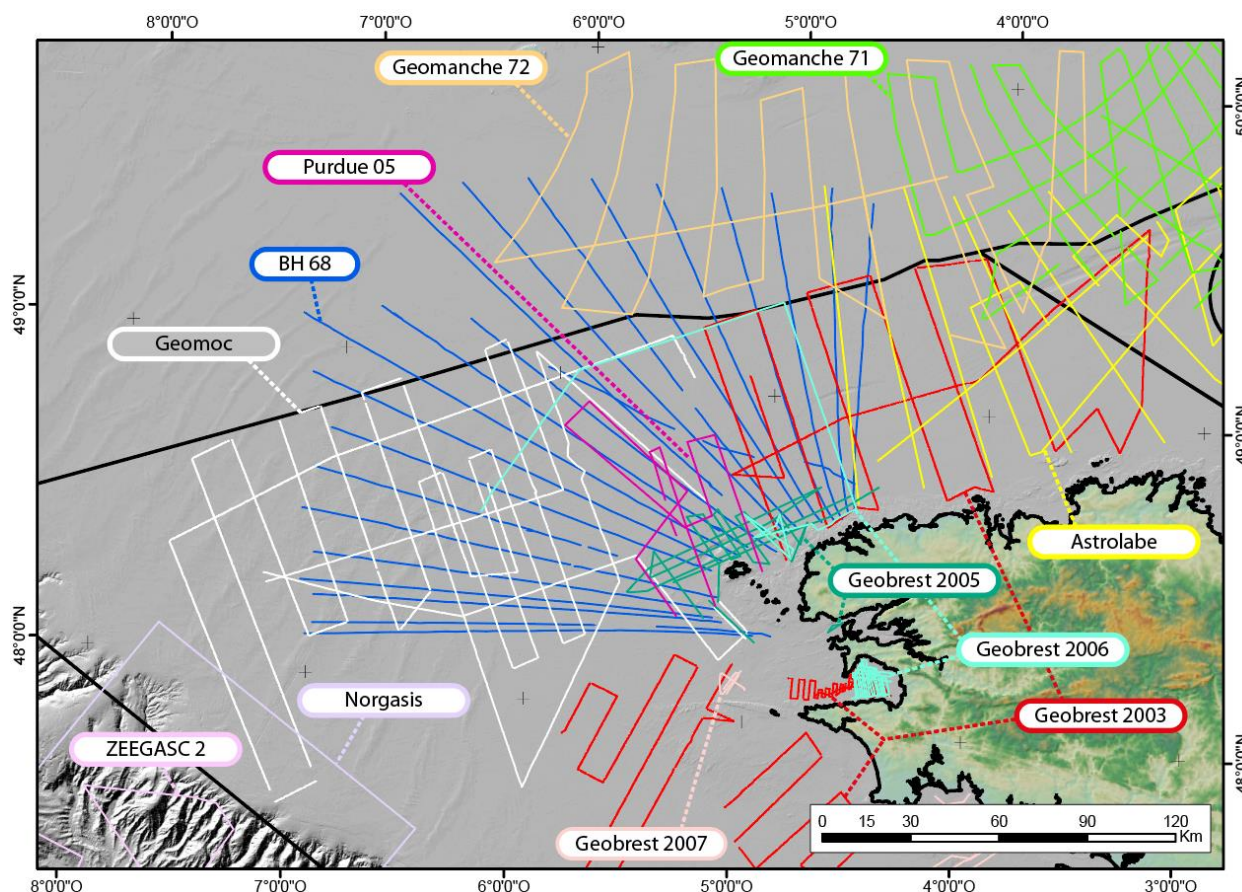


Figure 33 : Carte de distribution des campagnes sismiques du secteur nord de la façade NAMO, disponibles en versions numériques et papiers, auprès du BRGM. Carte sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

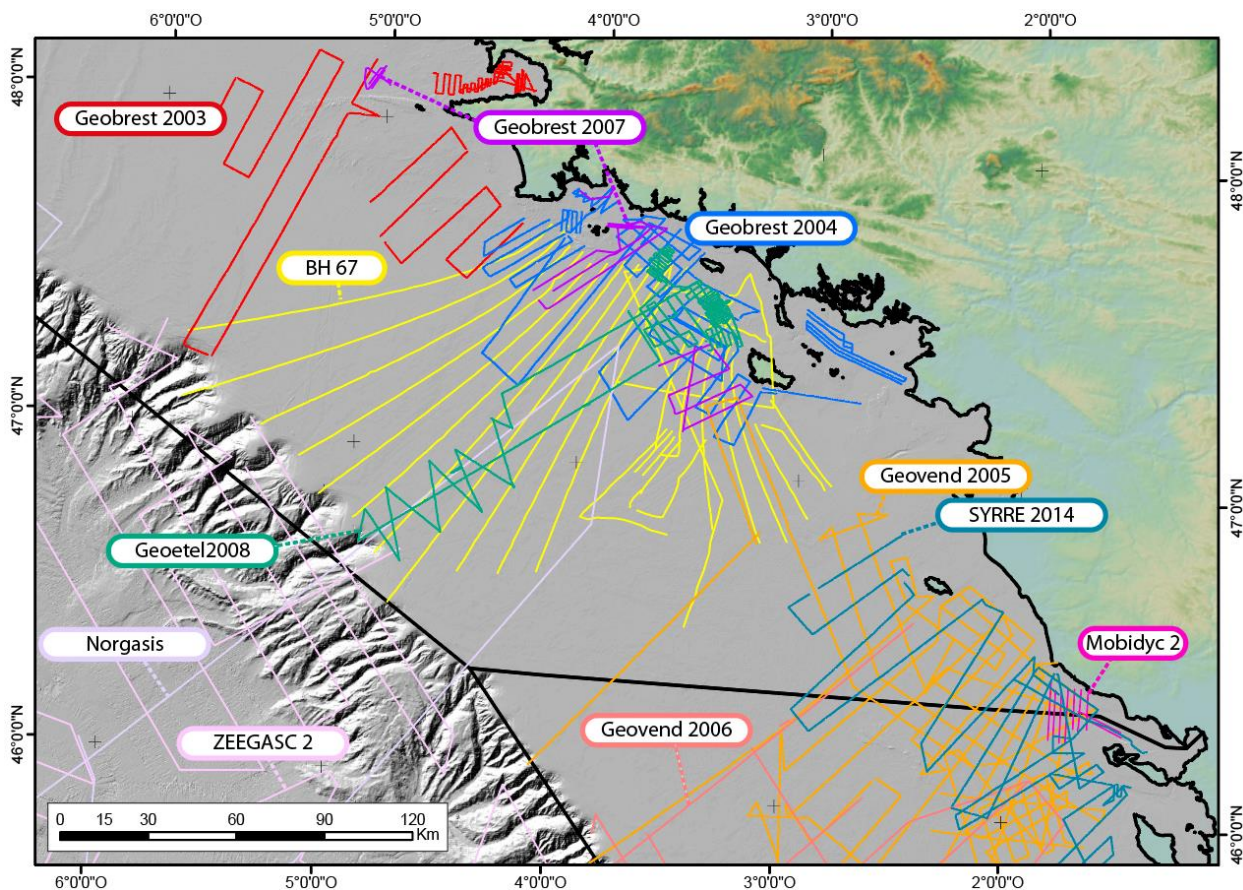


Figure 34 : Carte de distribution des campagnes sismiques « distales » du secteur sud de la façade NAMO, disponibles en versions numériques et papiers, auprès du BRGM. Carte sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

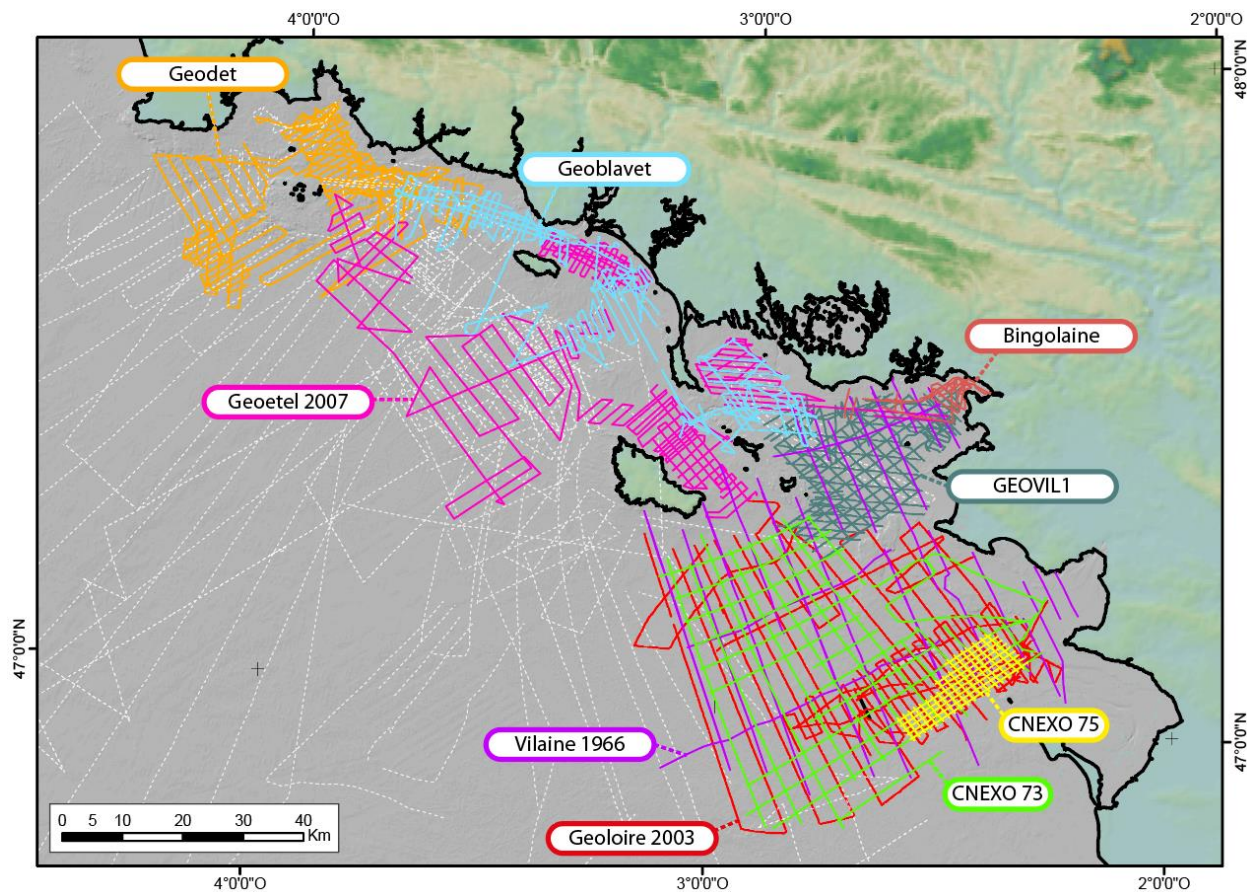


Figure 35 : Carte de distribution des campagnes sismiques « proximales » du secteur sud de la façade NAMO, disponibles en versions numériques et papiers, auprès du BRGM. Carte sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Campagne	Année	Navire	Type de sismique	Chef de mission	Chef de mission Institution	Référence
Données sismique et navigation au format papier et/ou scan						
Vilaine 1966	1966	Belouga	Réflexion monotraces	R. Horn, P. Guennoc	BRGM	/
BH 67	1967	Bir-Hackeim	Réflexion monotraces	R. Horn, P. Guennoc	BRGM	Campagne Géomarge 67 // Bretagne Sud 07-67
BH 68	1968	Bir-Hackeim	Réflexion monotraces	R. Horn, P. Bouysse	BRGM	Campagne Bir-Hackeim 68
Astrolabe	1970	Astrolabe	Sparker monotraces	G. Boillot	Université de Rennes	/
Géomanche 71	1971	NO Le Noroit	Sparker monotraces	R. Horn	BRGM	https://doi.org/10.17600/71000111
Géomanche 72	1972	NO Le Noroit	Sparker monotraces	P. Bouysse	BRGM	https://doi.org/10.17600/72002511
CNEXO 73	1973	NO La Petite-Marie-Françoise	Sparker monotraces	F. Lapierre	BEICIP	Campagne ST-NAZAIRE 1973
CNEXO 74	1974	NO La Petite-Marie-Françoise	Sparker monotraces	A. Cressard, J.C. Cavelier	BEICIP / BRGM	Campagne ST-NAZAIRE 1974
Données sismiques et navigation en format numérique (segyp, shp, ...)						
NORGASIS	1994	NO Le Nadir	Sismique réflexion multitraces	F. Avedik, J.L.Olivet	Ifremer	https://doi.org/10.17600/94000050
ZEEGASC 2	1997	NO L'Atalante	Sismique réflexion multitraces	R. Le Suave	Ifremer	https://doi.org/10.17600/97010070
GEOVIL	1998	NO Thalia	Sparker monotraces	F. Guillocheau, P. Guennoc	Université de Rennes 1	https://doi.org/10.17600/3480150
Bingolaine	2000	Sepiola	Sparker monotraces	D. Menier	Université de Bretagne Sud	/
Geodet	2000	NO Thalia	Sparker monotraces	J.-N. Proust	Université de Rennes 1	https://doi.org/10.17600/70090
Mobidyc 2	2001	NO Côte d'Aquitaine	Sparker monotraces	E. Chaumillon	Université de La Rochelle	https://doi.org/10.17600/1410060
Geoblavet	2001	NO Thalia	Sparker monotraces	D. Menier	Université de Bretagne Sud	https://doi.org/10.17600/1070170
GEOMOC	2002	NO Côte de la Manche	Sparker monotraces	P. Le Roy	Université de Bretagne Occidentale	https://doi.org/10.17600/2480060
Geoloire 2003	2003	NO Thalia	Sparker monotraces	P. Guennoc, J.N. Proust	BRGM	https://doi.org/10.17600/3070180
Geobrest 2003	2003	NO Côte de la Manche	Sparker monotraces	P. Le Roy	Université de Bretagne Occidentale	https://doi.org/10.17600/3480150
Geobrest 2004	2004	NO Côte de la Manche	Sparker monotraces	J.P. Réhault, P. Le Roy	Université de Bretagne Occidentale	https://doi.org/10.17600/4480070
Geobrest 2005	2005	NO Côte de la Manche	Sparker monotraces	P. Le Roy	Université de Bretagne Occidentale	/
Purdue 2005	2005	NO Côte de la Manche	Sparker monotraces	P. Le Roy	Université de Bretagne Occidentale	/

Geovend 2005	2005	NO Côte de la Manche	Sismique réflexion multitrace	J.N. Proust, P. Guennoc	Université de Rennes 1	https://doi.org/10.17600/5480010
Geovend 2006	2006	NO Côte de la Manche	Sparker monotrace	J.N. Proust, P. Guennoc	Université de Rennes 1	https://doi.org/10.17600/6480080
Geobrest 2006	2006	NO Côte de la Manche	Sparker monotrace	P. Le Roy	Université de Bretagne Occidentale	/
Geobrest 2007	2007	NO Côte de la Manche	Sparker monotrace	P. Le Roy	Université de Bretagne Occidentale	/
Geoetel 2007	2007	NO Côte de la Manche	Sparker monotrace	D. Menier	Université de Bretagne Sud	https://doi.org/10.17600/7480050
Geoetel 2008	2008	NO Côte de la Manche	Sparker monotrace	D. Menier	Université de Bretagne Sud	https://doi.org/10.17600/16006700
SYRRE	2014	NO Côte de la Manche	Sparker monotrace	I. Thinon, J.N. Proust	BRGM	https://doi.org/10.17600/14010200

Table 1 : Description des campagnes sismiques réalisées sur la façade NAMO et disponibles auprès du BRGM.

6.2. DONNEES GEOLOGIQUES

Les données de prélèvements géologiques sont issues de la BSS Mer (Banque du Sous-Sol Mer) gérée par le BRGM. Cette base de données regroupe plusieurs milliers de sites de prélèvements incluant de nombreuses informations (campagne, année, engin de prélèvement, localisation, profondeur, description et analyses, ...). Elle est consultable sur le portail cartographique InfoTerre du BRGM (<https://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do>), sous l'onglet « Géologie marine », qui permet de visualiser la distribution et de consulter certaines informations. Pour la façade NAMO et les zones adjacentes, la distribution des prélèvements est présentée en Figure 36. Elle est présentée par type de prélèvement (bennes, dragues, carottiers, sondages, ...).

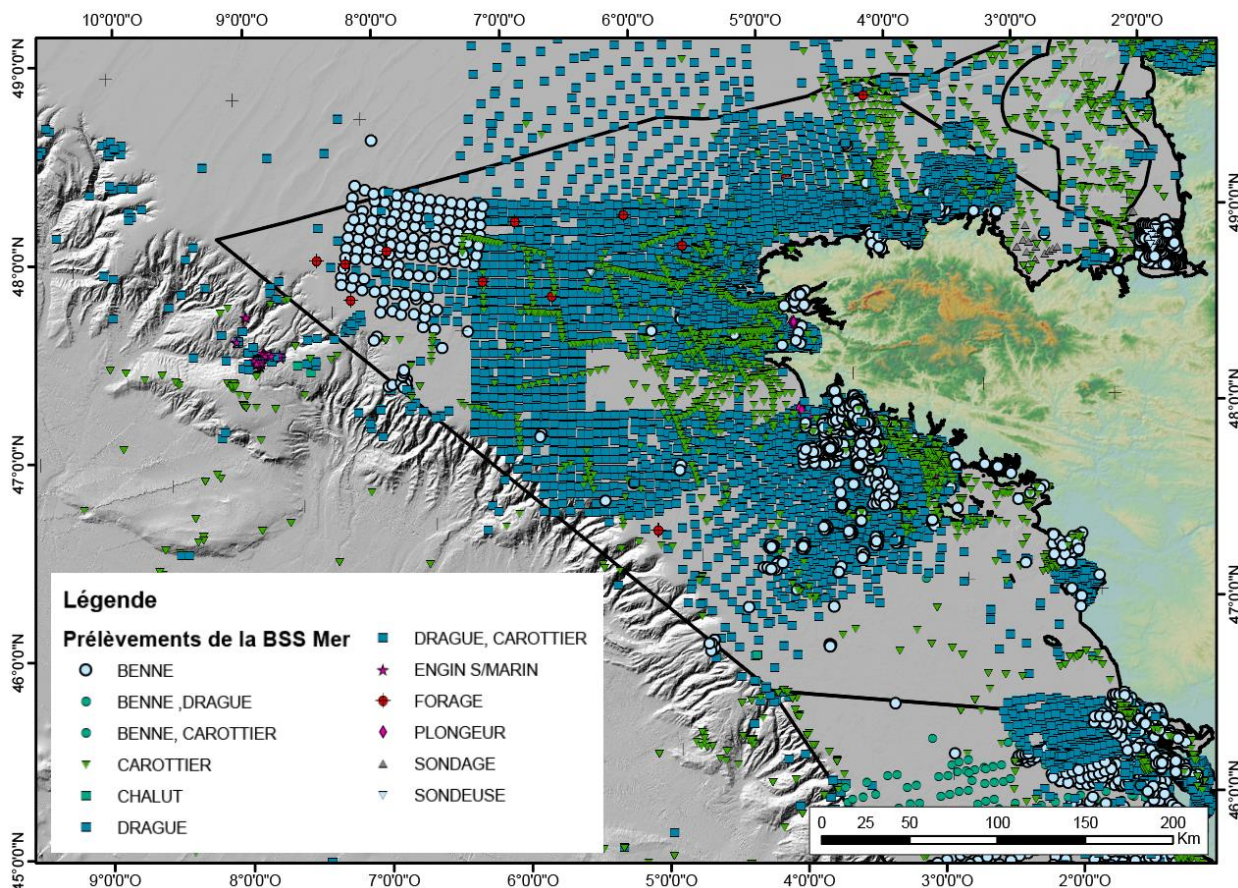


Figure 36 : Carte de distribution des prélèvements de la BSS Mer au niveau de la façade NAMO, différenciés par type d'engin de prélèvement, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Sur l'emprise de la façade NAMO, la BSS Mer dispose de 13 864 prélèvements référencés. Il existe une grande variabilité du niveau d'information disponible pour ces prélèvements. Quelques échantillons sont conservés au sein des établissements propriétaires (BRGM, Ifremer, Universités, ...).

Ce bilan des données géologiques et géophysiques disponibles montre une forte disparité dans leur distribution. Certaines zones sont clairement sous échantillonnées et doivent faire l'objet d'une mise à niveau des connaissances. C'est le cas du Golfe Normand-Breton et de la Manche Occidentale, mais également du plateau continental au large des Pays de la Loire, qui montrent un déficit de données géologiques et également un faible nombre de profils sismiques. Ces derniers sont d'ailleurs majoritairement au format papier et/ou scans (Campagnes Astrolabe, Géomanche 71 et Géomanche 72, BH 68, ...).

6.3. DONNEES GEOLOGIQUES ET GEOPHYSIQUES DE L'EXPLORATION PETROLIERE

Les données géophysiques (sismique conventionnelle) et géologiques (forages d'exploration) issues des recherches d'hydrocarbures sur le territoire français sont présentées ici à titre indicatif (données en mer uniquement - Figure 37). Les données de puits sont intéressantes pour les

lithologies, lithostratigraphie, et propriété pétrophysiques. Les données sismiques ont un intérêt direct limité pour le développement des énergies marines renouvelables, étant donné leur faible résolution. Ces données sont accessibles via le portail Minergies (<http://www.minergies.fr/fr>).

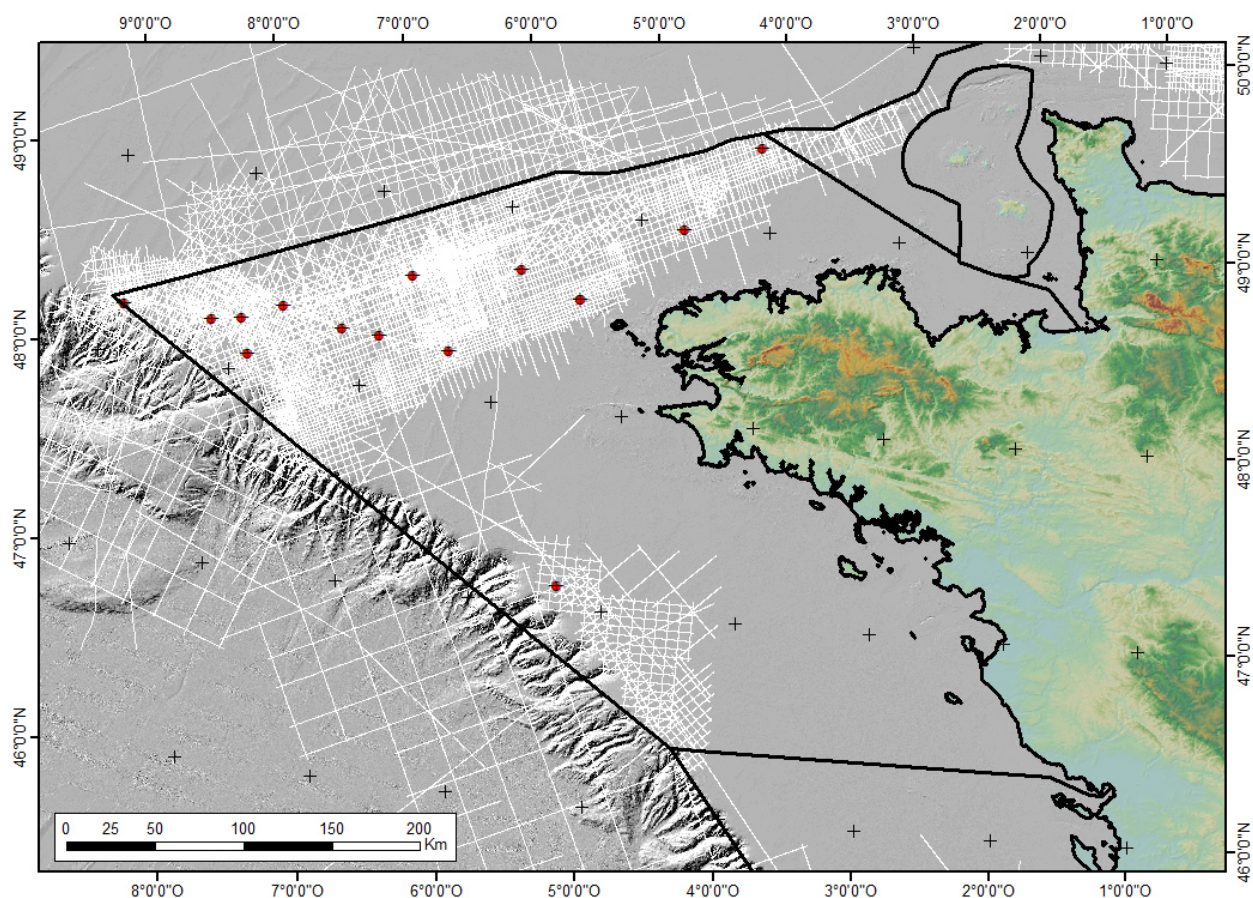


Figure 37 : Carte de positionnement des données sismiques (traits blanc) et des puits d'exploration (cibles rouges) relatifs aux recherches d'hydrocarbures et disponibles via le portail Minergies (<http://www.minergies.fr/fr>).

7. Références

Andreieff P., Bouysse P., Chateauneuf J.-J., L'Homer A. and G., S. (1971). La couverture sédimentaire meuble du plateau continental externe de la Bretagne méridionale (Nord du golfe de Gascogne). Cahiers Océanographiques, XXIII eme année, 4, 343-381.

Andreieff P., et Lefort J.-P. (1972). Contribution à l'étude stratigraphique des terrains secondaires et tertiaires affleurant en Manche Occidentale. Colloque sur la géologie de la Manche, Mémoires du B.R.G.M. 79, 49-56.

Audren, C., et Plaine, J. (1986) Notice explicative de la carte géologique de la France au 1:50000, Feuille Belle-île-en-Mer, Houat, Hoedic (477). BRGM, Orléans, 38 p.

Augris C., Simplet L., Maze J.-P., Morvan L., Satra Le Bris C., Fitamant N., Bourillet J.-F., Stephan M. (2006). Inventaire des ressources en matériaux marins : Façades « Manche-Est » et « Loire-Gironde ». <https://archimer.ifremer.fr/doc/00135/24577/>

Auvray B., Macé, J., Vidal, P. (1980). Données nouvelles sur le Protérozoïque inférieur du domaine nord-armoricain (France) : âge et signification. Canadian Journal of Earth Sciences 17, 532-538.

Ballèvre M., Le Goff E. et Hébert R., 2001. The tectonothermal evolution of the Cadomian belt of northern Brittany : a Neoproterozoic volcanic arc. Tectonophysics 331, 19-43.

Ballèvre, M., Bosse, V., Ducassou, C., Pitra, P. (2009) Palaeozoic history of the Armorican Massif: Models for the tectonic evolution of the suture zones. CR Geosciences 341, 174-201.

Ballèvre, M., Bosse, V., Dabard, M.-P., Ducassou, C., Fourcade, S., Paquette, J.-L., Peucat, J.-J. Pitra, P. (2013) Histoire géologique du Massif armoricain : actualité de la recherche. Bull. Soc. Géol. Minéral. Bretagne D – 10-11, 5-96.

Boillot G., Horn R., et Lefort J.-P. (1972). Evolution structurale de la Manche Occidentale au Secondaire et au Tertiaire. Colloque sur la géologie de la Manche, Mémoires du B.R.G.M. 79, 79-86.

Bois, C., Cazes, M., Gariel, O., Lefort, J.-P., Le Gall, B., Pinet, B., et Sibuet, J.-C. (1991) Principaux apports scientifiques des campagnes SWAT et WAM à la géologie de la mer Celtique, de la Manche et de la marge atlantique. In : Etude de la croûte terrestre par sismique profonde (Mer Celtique, Manche et ses Approches Occidentales; profils SWAT et WAM), C. Bois, O. Gariel et J.-C. Sibuet (eds), Mémoire Soc. Géol. Fr., 159, p. 185-217.

Bosse V., G. Féraud G., Ballèvre M., Peucat J.J., Corsini M. (2005). Rb-Sr and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages in blueschists from the Ile de Groix (Armorican Massif, France): Implications for closure mechanisms in isotopic systems. Chemical Geology 220, 21-45.

Bourillet J.-F., Reynaud J.-Y., Baltzer A., Zaragosi S. (2003). The "Fleuve Manche": the submarine sedimentary features from the outer shelf to the deep-sea fans. Journal of Quaternary Science, 18: 261-282.

Bouysse P., Horn R., Le Gorgeu J.-P., (1968). Résultats d'une prospection sismique réflexion continue en Bretagne méridionale, entre Penmac'h et Belle-Île. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris 267, 568–571.

Bouysse P. (coord.), Lapierre F.; Andreieff P., Boillot G., Chauris L., Deunff J., Hamilton D., Hirschberger f., Horn R., Lefort J.-P., Marec A., Monciardini C., Plusquellec Y. (1975). Carte géologique de la marge continentale française à l'échelle du 1/250 000 – Feuille Ouessant. BRGM, Orléans.

Bouysse P., Horn R., Lapierre F., et Le Lann F. (1976) Etude des grands bancs de sable du Sud-Est de la Mer Celtique. *Marine Geology* 20, 251-275.

Bouysse P. (coord.), Lesueur P. and 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.

Calvez J.J. and Vidal, P. (1978). Two billion years old relicts in the Hercynian belt of Western Europe. *Contrib. Mineral. Petrol.* 65, 395-399.

Chantraine, et al. (2003) Carte Géologique de la France à l'échelle du millionième. Editions BRGM.

Cogné J. (1972). Le Briovérien et le cycle orogénique cadomien dans le cadre des orogènes fini-précambriens. *Colloq. Int. C.N.R.S., Paris*, 192: 193-218.

Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.X. (2023 – 2013 updated). The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes* 36, 199-204.

Curry, D., Hamilton, D., and Smith, A.J. (1970) Geological and shallow subsurface geophysical investigations in the Western Approaches to the English Channel. Report of the Institute of Geological Sciences 70/3.

Denis E. and Dabard M.P. (1988). Sandstone petrography and geochemistry of Late Proterozoic sediments of the Armorican Massif. A key to basin development during the Cadomian orogeny. *Precambrian Res.* 42, 189-206.

Dabard M.-P. (1990). Lower Brioverian formations (Upper Proterozoic) of the Armorican Massif (France): geodynamic evolution of source areas revealed by sandstone petrography and geochemistry. *Sedimentary Geology* 69, 45-58.

Ehlers, J., Gibbard, P.L. (2004). Quaternary Glaciations-Extent and Chronology: Part I: Europe. *Quaternary Sciences*, vol. 1. Elsevier, Amsterdam, Developments, p. 475, 2.

Ehrhold A. (1999). Dynamique de comblement d'un bassin sédimentaire soumis à un régime mégatidal : exemple de la Baie du Mont-Saint-Michel. Mémoire de thèse de doctorat de l'Université de Caen. 300 p.

Estournes G., Menier D., Guillocheau F., Le Roy P., Paquet F., Goubert E. (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, 75-92.

Evans C.D.R., Hillis R.R. Gatliff R.W., Day G.A., Edwards J.W.F. (1990). United Kingdom Offshore Regional Report: The geology of the western English Channel and its western approaches. British Geological Survey. ed. HMSO, London.

Franzetti M., Le Roy P., Delacourt C., Garlan T., Cancouët R., Sukhovich A., Deschamps A., (2013). Giant dune morphologies and dynamics in a deep continental shelf environment: example

of the banc du four (Western Brittany, France). *Mar. Geol.* 346, 17–30.

<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.07.014>.

Franzetti M., Le Roy P., Garlan T., Graindorge D., Sukhovich A., Delacourt C., Le Dantec N., (2015). Long term evolution and internal architecture of a high-energy banner ridge from seismic survey of Banc du four (Western Brittany, France). *Mar. Geol.* 369, 196–211.

<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.08.019>

Gautier E., Augris C., Simplet L., Prevot J., Drussel B., Abrieux E., Morvan L., de Chambure L., Maze J.-P. (2012). Inventaire des ressources en matériaux marins. Façades Bretagne et Sud-Gascogne. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00125/23646/>

GEOTECHNIP (1971). Ecorché géologique à l'échelle du 1/250 000 – Reconnaissance géologique et sédimentologique en Mer d'Iroise. CNEXO – SHOM – DRME.

Guillocheau, F., Brault, N., Thomas, E., Barbarand, J., Bonnet, S., Bourquin, S., Estéoule-Choux, J., Guennoc, P., Menier, D., Néraudeau, D., Proust, J.-N., Wyns, R. (2003) Histoire géologique du Massif Armoricaïn depuis 140 Ma (Crétacé-Actuel). *Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris* 40, 13–28.

Hallot E. (1999). L'Icartien armoricaïn : des roches datées à 2 milliards d'années. *Penn ar Bed* 173/174, 11-28.

Hillis, R.R. (1988). The geology and tectonic evolution of the Western Approaches Trough. Unpublished PhD thesis, University of Edinburgh.

Jouet G., Augris C., Hallegouët B., Le Roy P., Rolet J. (2003) La vallée d'Ys : un paléoréseau hydrographique immergé en baie de Douarnenez (Finistère, France). *CR Géosciences* 335, 487-494.

Jourdan F., Marzoli A., Bertrand H., Cosca M. et Fontignie D., 2003. The northernmost CAMP: 40Ar/39Ar age, petrology and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry of the Kerforne dike, Brittany, France. *American Geophysical Union Geophysical Monograph* 136, 209-226.

Larsonneur, C., Auffret, J.-P., Smith, A.J. (1982). Carte des paléo-vallées et des bancs de la Manche orientale (1/50000). BRGM, Brest.

Larsonneur, C. (1989). La baie du Mont-Saint-Michel. *Bulletin de l'Institut Géologique du Bassin d'Aquitaine* 46, 1-75.

Le Gall J., Dissler E. et Dupret L. (1986). Signification géodynamique des volcanismes briovériens dans le Nord-Est du Massif armoricaïn. *C.R. Acad. Sci. Paris, Ser. If.* 303: 1587-1592.

Lericolais G. (1997). Évolution plio-quadernaire du fleuve Manche : stratigraphie et géomorphologie d'une plateforme continentale en régime périglaciaire. Thèse n°1730 de l'Université de Bordeaux I.

Lericolais G. et al. (2001). Seaward pinching out and internal stratigraphy of the Gironde incised valley on the shelf (Bay of Biscay). *Marine Geology*, 175, pp. 183-197.

Lisiecki LE, Raymo ME. (2005). A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records. *Paleoceanography* 20, 1–17. <https://doi.org/10.1029/2004PA001071>

Lockhart E.A., Scourse J.D., Praeg D., Van Landeghem K.J.J., Mellett C., Saher M., Callard L., Chiverrell R.C., Benetti S., Cofaigh C.O., Clark C.D. (2018). A stratigraphic investigation of the Celtic Sea megaridges based on seismic and cor data from the Irish-UK sectors. *Quaternary Science Reviews* 198, 156-170.

Marsset T, Tessier B, Reynaud J-Y, De Batist M, Plagnol C. (1999). The Celtic Sea banks: an example of sand body analysis from very high-resolution seismic data. *Marine Geology* 158, 89–109.

Menier D. (2004). Morphologie et remplissage des vallées fossiles Sud armoricaines : apport de la stratigraphie sismique. Thèse de l'Université de Rennes I.

Menier D., Augris C., Briend C. (2014) Les réseaux fluviaux anciens du plateau continental de Bretagne Sud. – Editions QUAE, 104 p.

Menier D., Estournès G., Mathew M.J., Ramkumar M., Briend C., Siddiqui N., Traini C., Pian S., Labeyrie L. (2016). Relict geomorphological and structural control on the coastal sediment partitioning, North of Bay of Biscay. *Z. Für. Geomorphol.* 60, 67–74.

Newell A.J., and Evans D.J. (2011). Timing of basin inversion on the Isle of Wight: New evidence from geophysical log correlation, seismic sections and lateral facies change in the Palaeogene Headon Hill Formation. *Proceedings of the Geologists Association* 122, 868–882. <https://doi:10.1016/j.pgeola.2011.04.004>

Paquet, F. (2022). Littoral : géologie, évolution et risques – chapitre 3 : Paléovallées submergées. *Géochronique* 164, 38-39.

Paquet F., Menier D., Estournès G., Bourillet J.-F., Leroy P., Guillocheau F. (2010). Buried fluvial incisions as a record of Middle–Late Miocene eustasy fall on the Armorican Shelf (Bay of Biscay, France). *Marine Geology* 268, 137–151.

Preux, R. (1978) Rapport de fin de sondage Penma-1, Loire Maritime permit, S.N.E.A.P. (Société National Elf Aquitaine Production). BEPH (Bureau Exploration-Production des Hydrocarbures) Open File Report 14-3435. 15 pp.

Proust J.-N., Renault M., Guennoc P., Thinon I. (2010). Sedimentary architecture of the Loire River drowned valleys of the French Atlantic shelf. *Bulletin Société Géologique de France* 181, 129–150.

Reynaud JY, Tessier B, Auffret JP, Berné S, De Batist M, Marsset T, Walker P. (2003). The offshore Quaternary sediment bodies of the English Channel and its Western Approaches. *Journal of Quaternary Science* 18, 361–371.

Thinon I., Réhault J.-P., Fidalgo-Gonzales L. (2002) La couverture sédimentaire syn-rift de la marge Nord-Gascogne et du Bassin Armoricaïn (Golfe de Gascogne) : à partir de nouvelles données de sismique réflexion. *BSGF* 173, n° 6, p.515-522

Thinon, I., Menier, D., Guennoc, P., Proust, J.-P. (2008). Carte géologique de la France à 1/250 000 : Marge continentale – Lorient Bretagne Sud Première édition. ©BRGM.

Traoré K., Menier D., Gensac E., Le Roy P., Lambert C., Bessin P., Pedoja K., Duperret A., Le Gall R. (2021) Evolution of a Holocene banner bank controlled by morphodynamics and structural setting of a macrotidal coast: Saint-Brieuc Bay (NW-Europe). *Geoscience Frontiers* 12, 101183. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101183>

Weber N. (2004). Morphologie, architecture des dépôts, évolution séculaire et millénaire du littoral charentais : Apport de la sismique réflexion combinée à des suivis bathymétriques et validée par des vibro-carottages. Thèse Université de la Rochelle, 374 p.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale ou UTAM

Adresse

Tél. :

www.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm