



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

Document à accès immédiat

# Aperçu géologique de la façade Manche Est - Mer du Nord

Rapport final

BRGM/RP-73268-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 :

Géologie

## 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](mailto: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, Manche Orientale, Mer du Nord

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

**Paquet F.** 2024. Aperçu géologique de la façade Manche Est - Mer du Nord. Rapport final - A. BRGM/RP-73268-FR, 51 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) de 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 Manche Est – Mer du Nord. 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 .....	8
2. Géomorphologie des fonds marins .....	9
3. Nature des fonds et grands ensembles sédimentaires meubles .....	19
3.1. nature des fonds .....	19
3.2. Ensembles sédimentaires meubles .....	20
4. Ensembles géologiques, stratigraphie et structuration globale du substratum .....	26
4.1. Le bassin anglo-parisien .....	28
4.2. Socle du massif armoricain .....	32
4.3. La manche occidentale .....	33
4.4. structures tectoniques majeures.....	34
5. Lithologies du substratum rocheux .....	36
6. Données géologiques et géophysiques .....	42
6.1. Données géophysiques .....	42
6.2. Données géologiques.....	43
6.3. données géologiques et géophysiques de l'exploration pétrolière .....	44
7. Références.....	46

### Liste des figures

Figure 1 : Vue d'ensemble de la façade MEMN, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).....	8
Figure 2 : Localisation des principaux reliefs positifs à forte rugosité au sein de la façade MEMN, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023). .....	10
Figure 3 : Localisation des principaux bancs sableux entre la Mer du Nord et la Baie de Somme, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023). .....	11
Figure 4 : Localisation des dunes (cercles) se regroupant au niveau des bancs sableux, à l'est, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023). .....	12
Figure 5 : Localisation des principaux bancs sableux entre Baie de Seine et Baie du Mont-Saint-Michel, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023). .....	13
Figure 6 : Emprise du vaste champ dunaire à l'ouest des Iles Anglo-Normandes, autour du Plateau des Langoustiers, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023). .....	14
Figure 7 : Mise en évidence des paléovallées sur la morphologie du fond marin entre Dunkerque et la Baie de Somme, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).....	15
Figure 8 : Mise en évidence des paléovallées sur la morphologie du fond marin entre la Baie de Seine et Cherbourg, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).....	16
Figure 9 : Mise en évidence des paléovallées sur la morphologie du fond dans le Golfe Normand-Breton, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).....	17

Figure 10 : Mise en évidence des fosses sur la morphologie du fond dans le Golfe Normand-Breton, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023). ....	18
Figure 11 : 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).....	20
Figure 12 : Carte d'isopaques (épaisseur) des bancs sableux et prisme sédimentaires principaux issue des travaux d'inventaires en granulats marins réalisés par l'Ifremer (2006, 2012), sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023). ....	22
Figure 13 : 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,...). Carte modifiée de Paquet (2022) et établie d'après Larsonneur et al. (1982), Ehlers et Gibbard (2004), Menier (2004), Thinon et al. (2009), Weber (2004), Lericolais et al. (2001).	23
Figure 14 : Carte d'isopaques (épaisseur) des sédiments meubles des paléovallées et des fosses, issue des travaux d'inventaires en granulats marins réalisés par l'Ifremer (Augris et al., 2006 ; Gautier et al., 2012), sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).....	24
Figure 15 : Carte simplifiée montrant la distinction entre le réseau hydrographique de paléovallées immergées (NETWORK 1 - blanc pointillés) et du réseau de fosses (NETWORK 2- isopaques jaunes à rouges), dont la Fosse d'Antifer (An), les Fosses du Cotentin (Co), et le « Deep Groove » (DG). Fond de carte issu de la carte géologique simplifiée mise à jour (modifiée d'après Paquet et al. (2023))......	25
Figure 16 : Carte des grands domaines géologiques autour de la zone MEMN. ....	26
Figure 17 : Carte géologique de la façade MEMN simplifiée d'après Chantraine et al., (2003). ....	27
Figure 18 : Coupe géologique régionale NE-SO à travers le haut structurale Weald Artois et le Bassin de Dieppe Hampshire (modifiée d'après BGS-BRGM, 1988). Localisation de la coupe sur la Figure 17.....	28
Figure 19 : Carte géologique de la façade MEMN – secteur NE, simplifiée d'après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la Figure 17.....	29
Figure 20 : Carte géologique de la façade MEMN – secteur de Calais à Fécamp, simplifiée d'après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la Figure 17. ....	30
Figure 21 : Carte géologique de la façade MEMN – secteur Baie de Seine, simplifiée d'après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la Figure 17.....	31
Figure 22 : Carte géologique de la façade MEMN – secteur Baie de Seine-Golfe Normand-Breton (socle armoricain), simplifiée d'après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la figure 14. Le tracé en pointillés rouge met en évidence la Faille de Granville dans le socle armoricain et sa possible prolongation dans les séries jurassiques de la Baie de Seine (Bassin Anglo-Parisien). ....	32
Figure 23 : Carte géologique de la façade MEMN – secteur Golfe Normand-Breton – Manche Occidentale, simplifiée d'après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la figure 14. ....	34
Figure 24 : Charte chronostratigraphique internationale (ICS, 2023).....	37
Figure 25 : Carte de distribution des campagnes sismiques disponibles en versions numériques et papiers (scans) auprès du BRGM, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023). ....	42

Figure 26 : 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)..... 44

Figure 27 : 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>). ..... 45

# 1. Introduction

Le territoire maritime de la France, associé à la façade MEMN, s'étend du littoral français jusqu'à la frontière maritime avec le Royaume-Uni, globalement situé à équidistance des côtes des deux pays. La distance de cette frontière au littoral évolue de 8 km à l'ouest du Cap de la Hague, en limite de territoire des Iles Anglo-Normandes, à 82 km au nord du Finistère et des Côtes d'Armor. Elle est d'environ 16 km au niveau du Détroit de Calais et d'environ 70 km au nord de la Baie de Seine. Latéralement, la façade MEMN s'étend de la frontière France-Belgique, jusqu'à une ligne traversant le Golfe Normand-Breton depuis la Baie du Mont-Saint-Michel (limite Normandie-Bretagne) jusqu'à la frontière maritime au nord de Roscoff. Plus à l'ouest, elle laisse place au domaine maritime de la façade Nord Atlantique – Manche Ouest (NAMO). Les masses d'eaux principales sont la Mer du Nord (entre Belgique et Détroit de Calais) et la Mer de la Manche dans sa partie orientale (entre Pas de Calais et Golfe Normand Breton). Les masses d'eaux secondaires de Baie de Somme, Baie de Seine, et une partie de la Baie du Mont-Saint-Michel en font également partie (Figure 1). L'ensemble de la zone MEMN est en domaine de plateau continental (0 à environ -200 m).

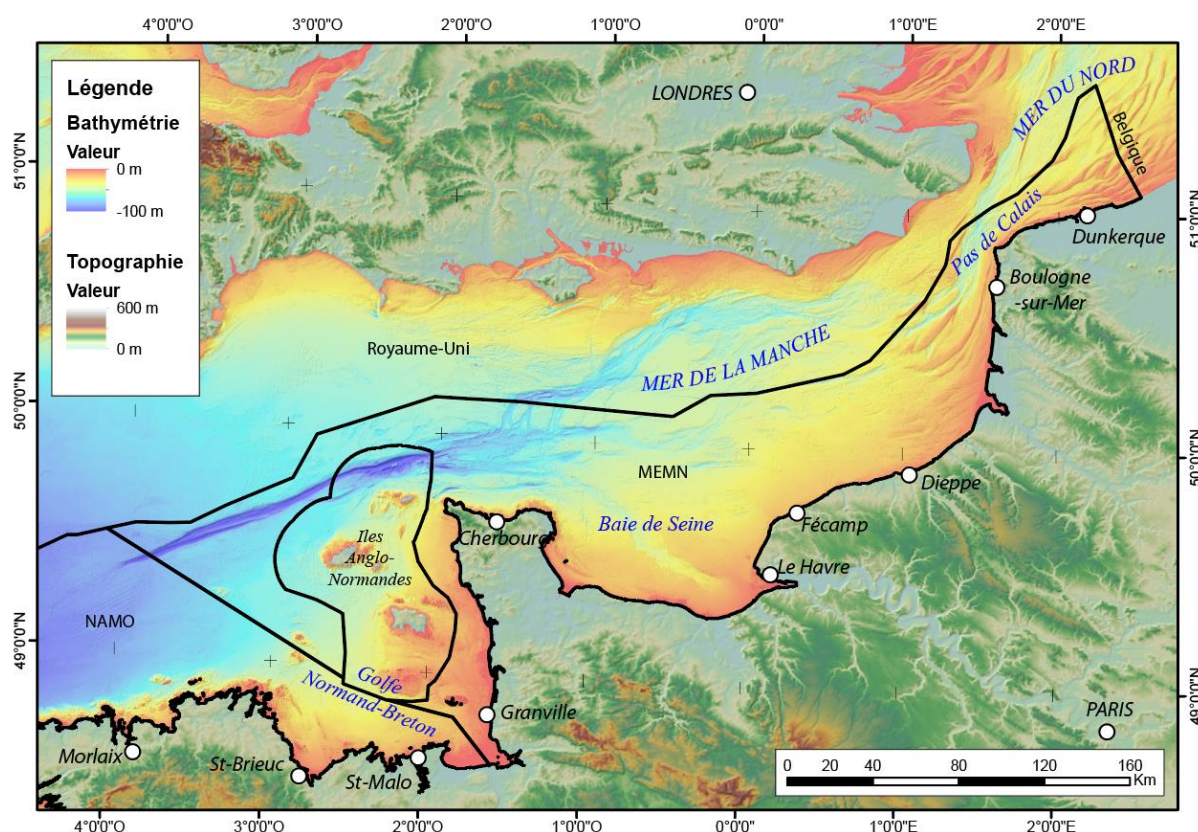


Figure 1 : Vue d'ensemble de la façade MEMN, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Dans les sections suivantes, les détails seront apportés 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 enfin proposée.

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



## 2. Géomorphologie des fonds marins

Le domaine maritime de la façade MEMN (Figure 1) est relativement peu profond et correspond au premier ordre à un vaste plateau de faible pente (0.1 à 0.2°) dont la partie la moins profonde se situe au niveau du Détroit de Calais (de -20 à -30 m). Depuis le détroit, ce plateau descend en pente douce (i) vers le NE (Mer du Nord) jusqu'au point triple France - Belgique - Royaume-Uni, où la profondeur atteint environ -40 m, et (ii) vers l'OSO, jusqu'au point triple MEMN – NAMO - Royaume-Uni, où la profondeur atteint environ les -85 m. La zone MEMN est ainsi incluse en 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.

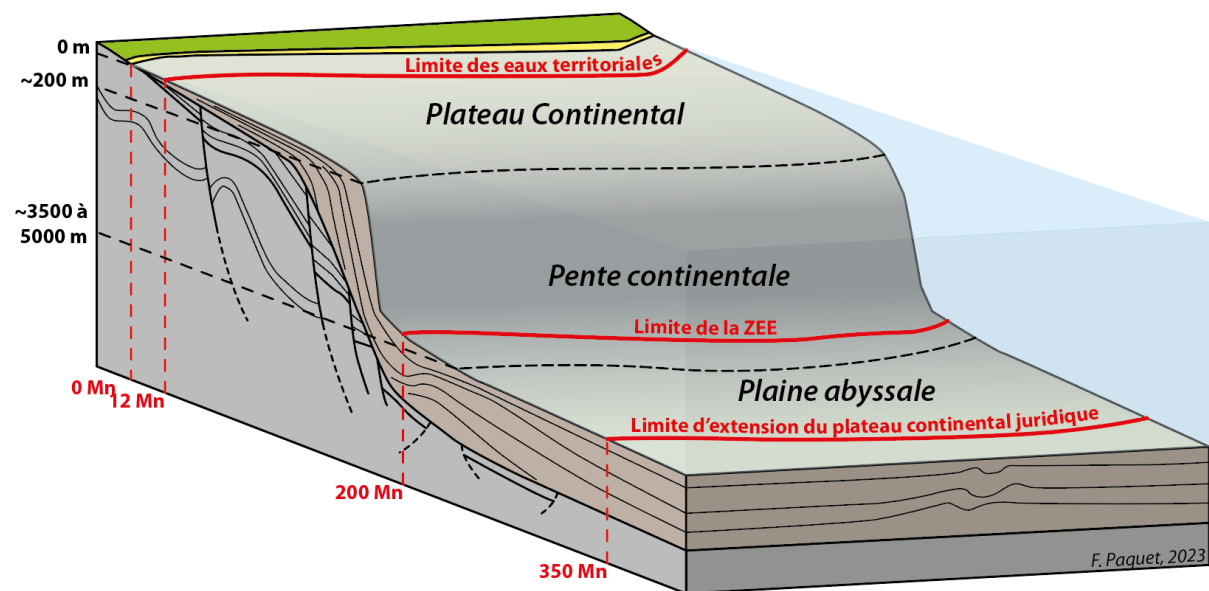


Schéma conceptuel des domaines maritimes morphologique et juridique. Mn=Milles nautiques.

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 dites à forte rugosité**, au large des côtes rocheuses, mais également isolées, 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). C'est la nature rocheuse de ces reliefs, qui leur confère leur rugosité. On compte parmi ces reliefs (hors îles anglo-normandes) :

- Les Iles Saint-Marcouf en Baie de Seine occidentale,
- Les Iles Chausey au large de Granville,
- Le Plateau des Roches de Douvres au nord de la Baie de Saint-Brieuc,
- Le Banc des Langoustiers au nord de Perros-Guirec.

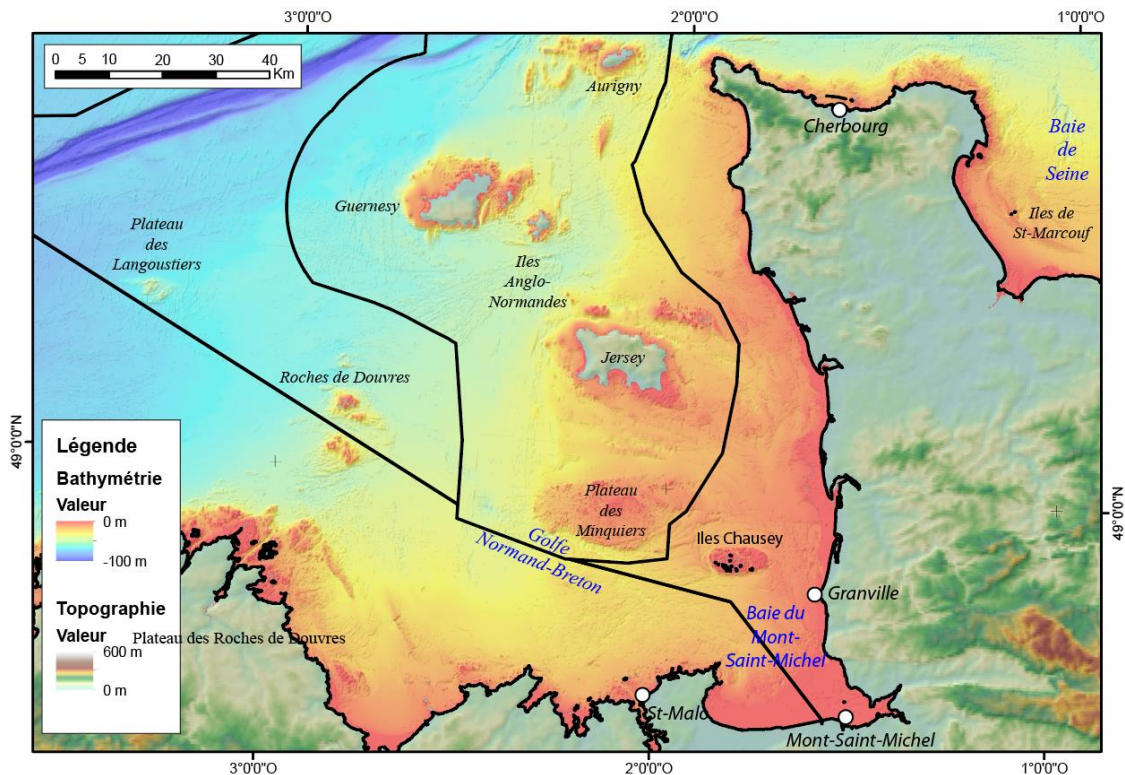


Figure 2 : Localisation des principaux reliefs positifs à forte rugosité au sein de la façade MEMN, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Des **morphologies à faible rugosité** sont également rencontrées sur l'ensemble de la zone MEMN (Figures 3 à 6). 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 appelés bancs sableux (Berné et al., 1994 ; Trentesaux et al., 1999 ; Le Bot et Trentesaux, 2004 ; Mathys, 2009). Certaines de ces structures peuvent émerger à marée basse. Les dunes et champs de dunes sont présents sur l'ensemble de la zone alors que les bancs sont préférentiellement localisés autour du Déroit de Calais. Les principaux bancs sont, d'est en ouest :

Zone du Déroit de Calais à la Baie de Somme (Figure 3)

- Les Bancs Breedt, les Dycks (Oriental, Central, et Occidental), le Out Ruytingen, et le Banc de Sandettié, au large de Dunkerque,
- La Bassure de Baas, le Colbart, et le Vergoyer entre Boulogne-sur-Mer et Baie de Somme.

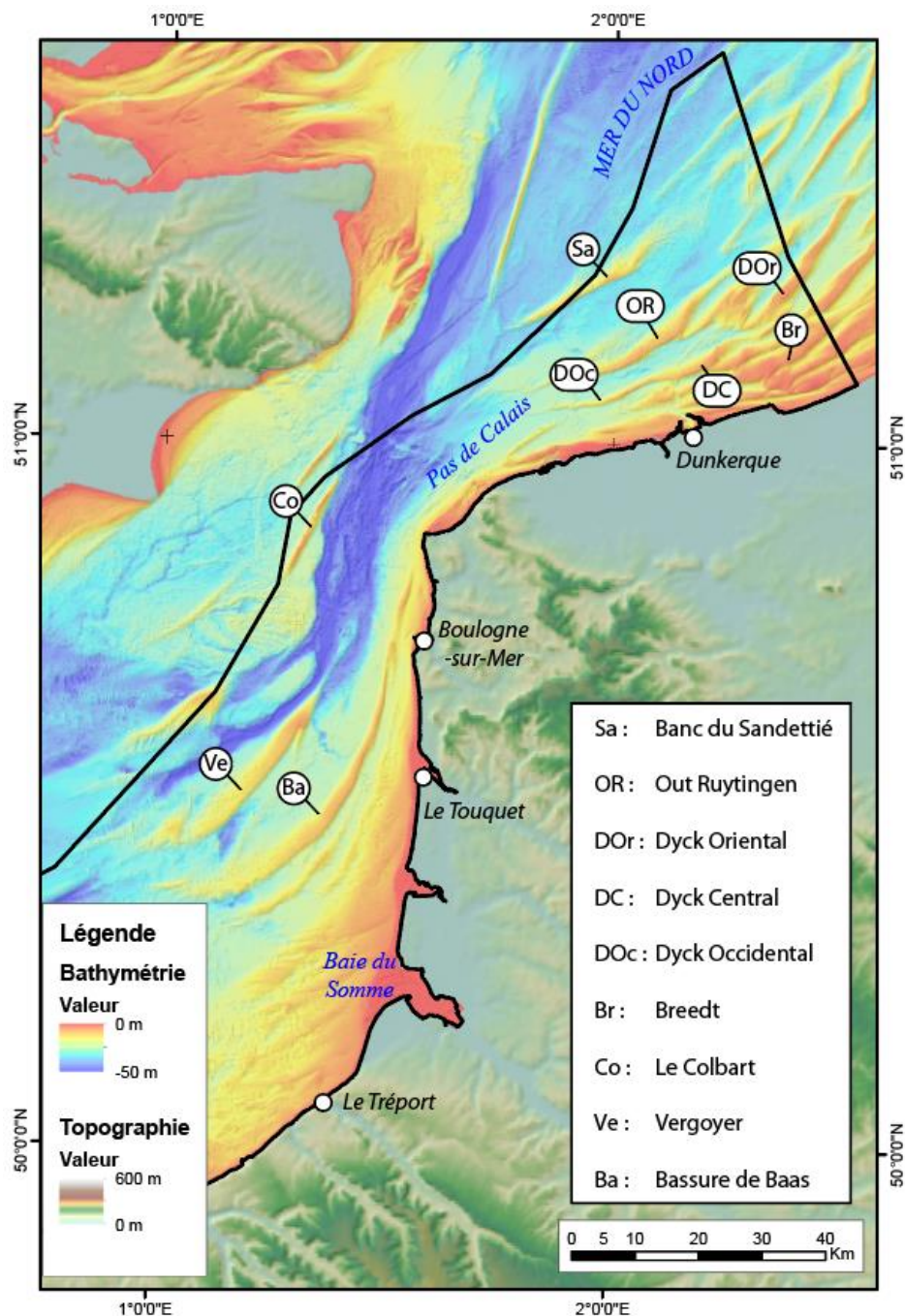


Figure 3 : Localisation des principaux bancs sableux entre la Mer du Nord et la Baie de Somme, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Zone de la Baie de Somme à la Baie de Seine (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)

- Vaste champ de dunes sableuses de plus en plus nombreuses et coalescentes vers l'est, où apparaissent les premiers bancs sableux (Ecamias, Riddens de Dieppe).

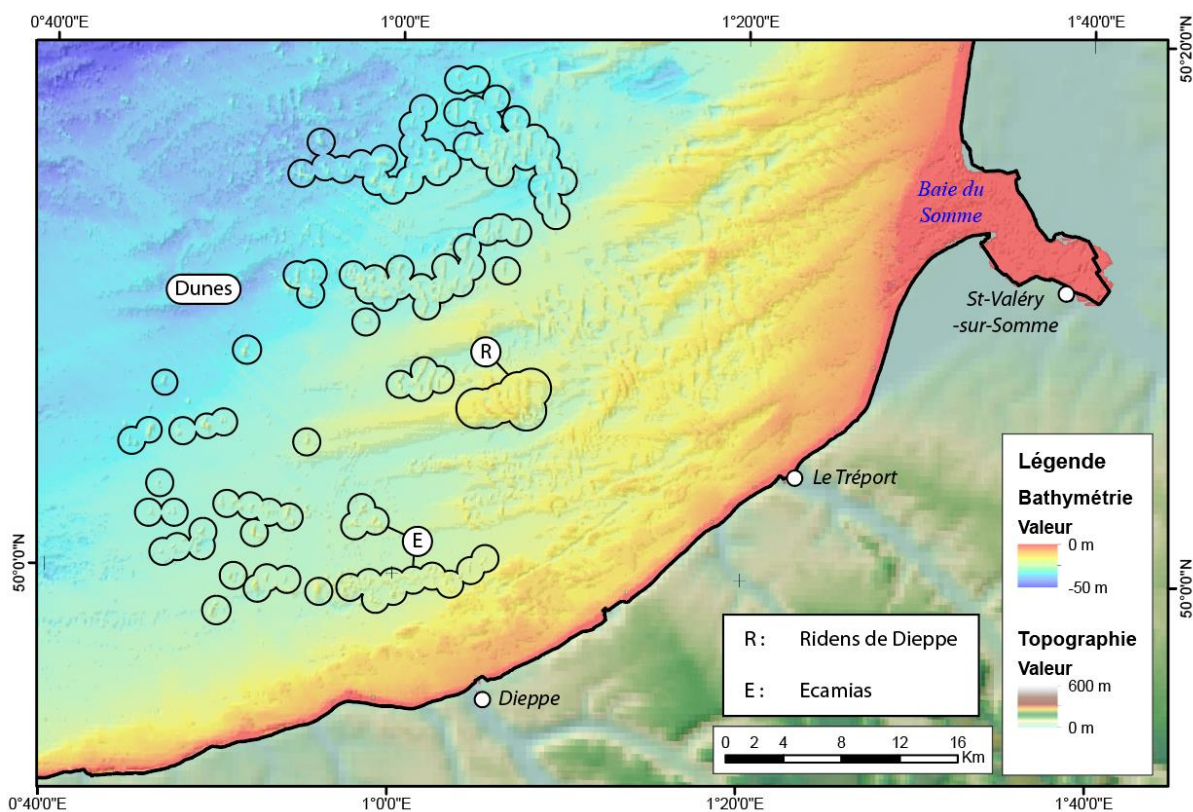


Figure 4 : Localisation des dunes (cercles) se regroupant au niveau des bancs sableux, à l'est, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Zone de la Baie de Seine – Est Cotentin (Figure 5)

- Le Banc de Seine à l'ouest du Havre,
- Le Banc de Saint-Pierre au nord de la Pointe de Barfleur,
- Le Banc du Cardonnet et le Banc de Saint-Marcouf, de part et d'autre de des Iles Saint-Marcouf,

Zone de l'ouest Cotentin à la Baie du Mont-Saint-Michel (Figure 5)

- Le Banc de la Hague (dénomination officielle)
- Les Bancs de la Catheue et le Banc de la Corbière de part et d'autre des Iles Chausey.

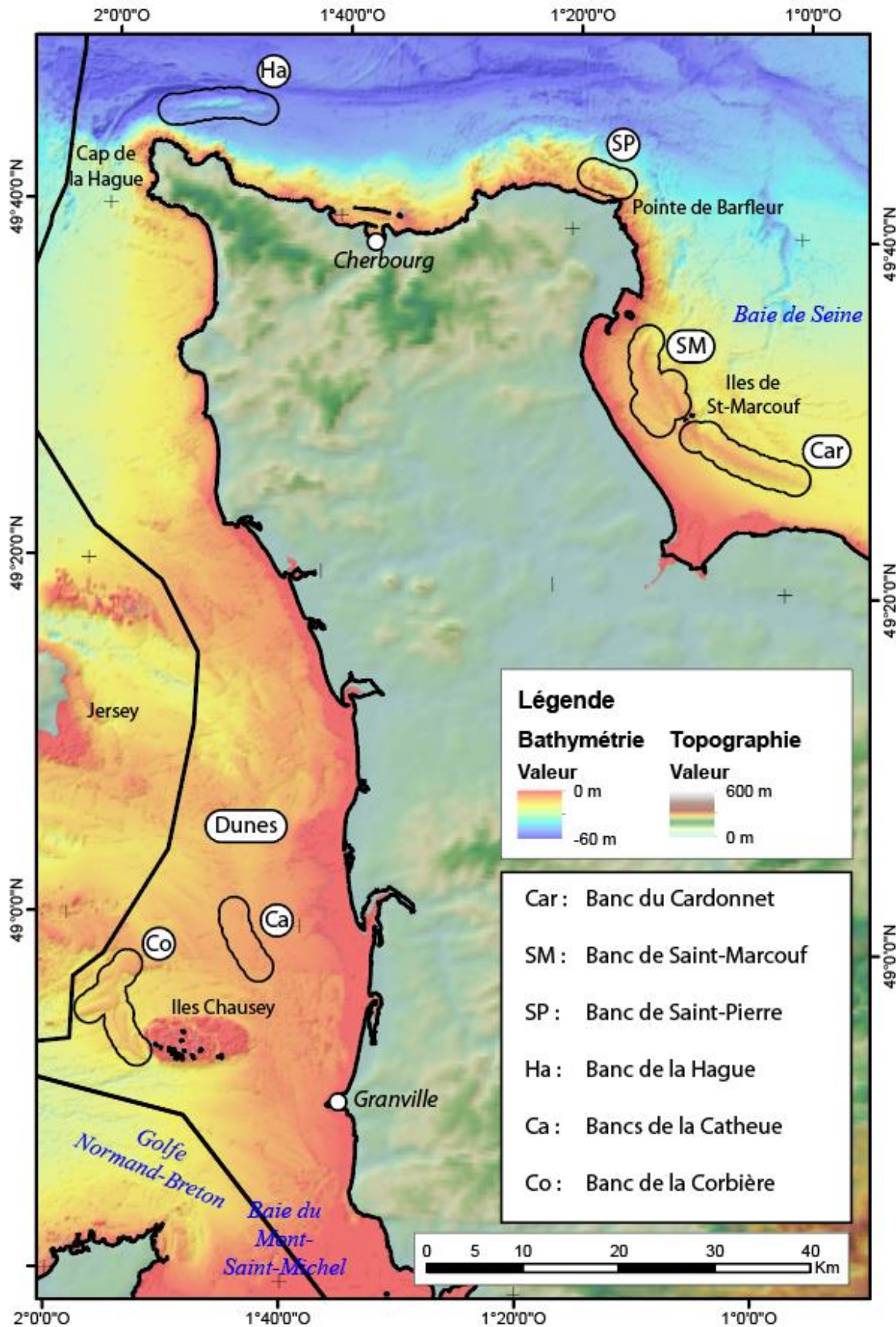


Figure 5 : Localisation des principaux bancs sableux entre Baie de Seine et Baie du Mont-Saint-Michel, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Zone au-delà des Iles Anglo-Normandes (Figure 6)

- Un vaste champ de dunes étirées se développe depuis les Roches de Douvres vers le nord-ouest, jusqu'à la limite la plus occidentale de la MEMN. Les Dunes ont une largeur comprise entre 100 et 400 m, une longueur comprise entre 200 m et plusieurs kilomètres, et une hauteur d'environ 10 mètres.

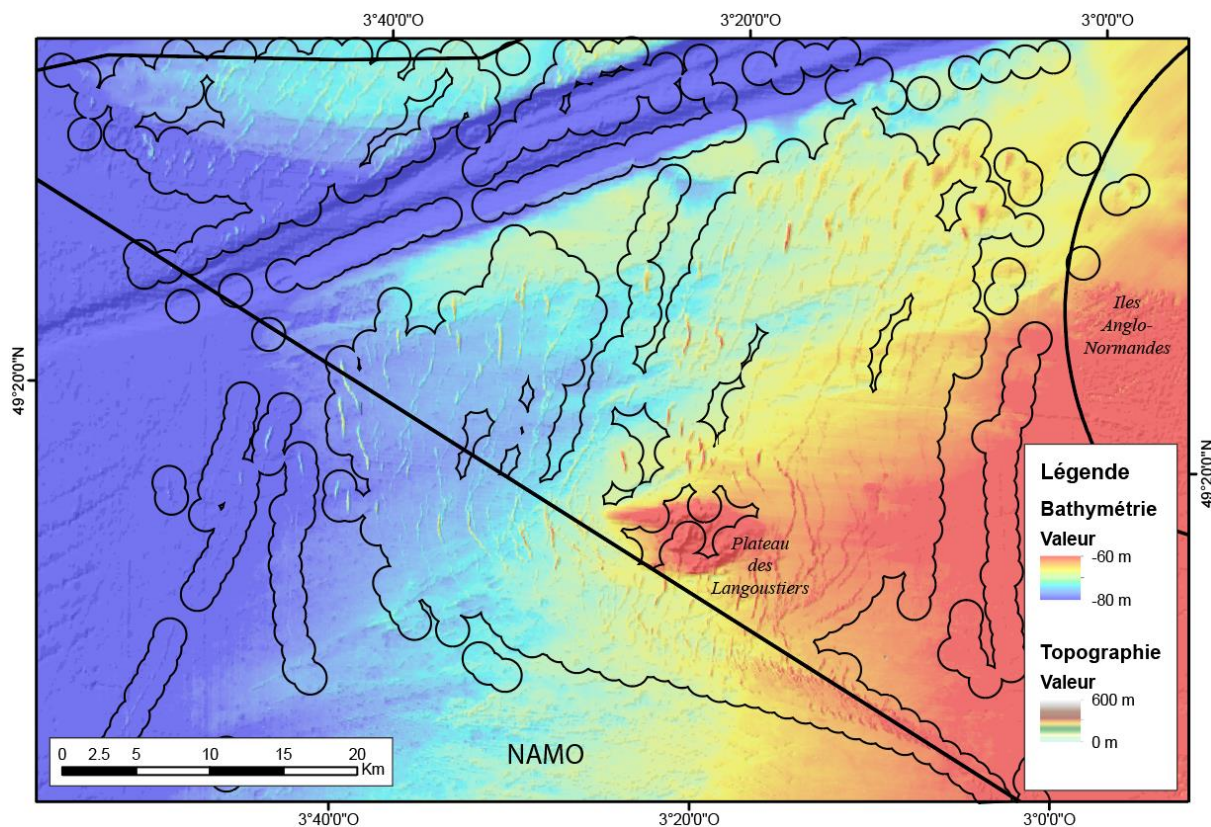


Figure 6 : Emprise du vaste champ dunaire à l'ouest des Iles Anglo-Normandes, autour du Plateau des Langoustiers, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Parmi les reliefs négatifs, on retrouve :

Un réseau de dépressions sinueuses connectées se développant dans le prolongement du réseau fluviatile actuel. Elles sont habituellement désignées sous le terme de paléovallées, faisant référence à leur origine fluviatile. 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 MEMN est entièrement émergé et parcouru par des fleuves qui rejoignaient le littoral en incisant progressivement le substratum (Alduc et al., 1979 ; Auffret et al., 1980 ; Auffret et Alduc, 1982 ; Augris et al., 2006 ; Bourillet et al., 2003 ; Larsonneur et al., 1982 ; Lericolais, 1997 ; Mellett et al. 2012 ; Gupta et al, 2017 ; Paquet et al., 2023).

On retrouve d'est en ouest (Figure 7 à Figure 9) :

- La paléovallée de l'Aa se jetant en Mer du Nord au large de Dunkerque et Calais,
- Les paléovallées de la Slack, du Wimereux et de la Liane entre Cap Gris-Nez et Boulogne-sur-Mer,

- La paléovallée de la Canche, au large du Touquet,
- La paléovallée de l'Authie, au large de Berck,

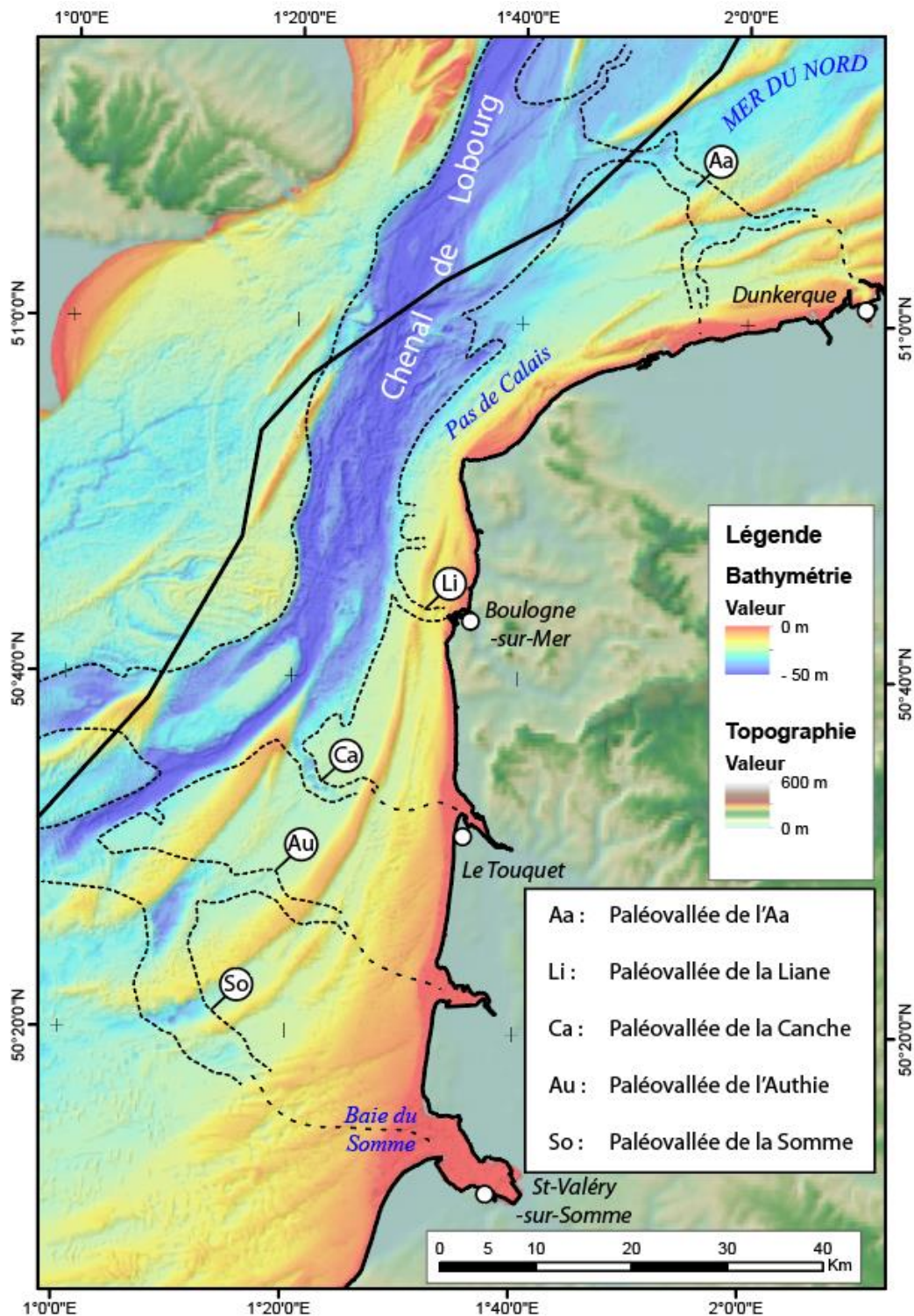


Figure 7 : Mise en évidence des paléovallées sur la morphologie du fond marin entre Dunkerque et la Baie de Somme, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

- Le Chenal de Lobourg, provenant de Mer du Nord (R-U), entrant dans la zone MEMN au large de Cap Blanc-Nez et en sortant à l'ouest du Touquet, et auquel se connectent les paléovallées citées précédemment,
- La paléovallée de la Somme, dont le tracé morphologique reste incertain.
- La paléovallée de la Seine s'étirant de l'embouchure actuelle (Le Havre) jusqu'au nord-est du Cotentin (Figure 8),
- Les paléovallées de la Seulles et de la Vire, qui rejoignent la paléovallée de la Seine,
- La paléovallée Médiane, possible prolongement de la paléovallée de la Somme,
- Les chenaux de la paléovallée septentrionale, prolongement du Chenal de Lobourg, et qui entre dans la zone MEMN au nord du Cotentin.

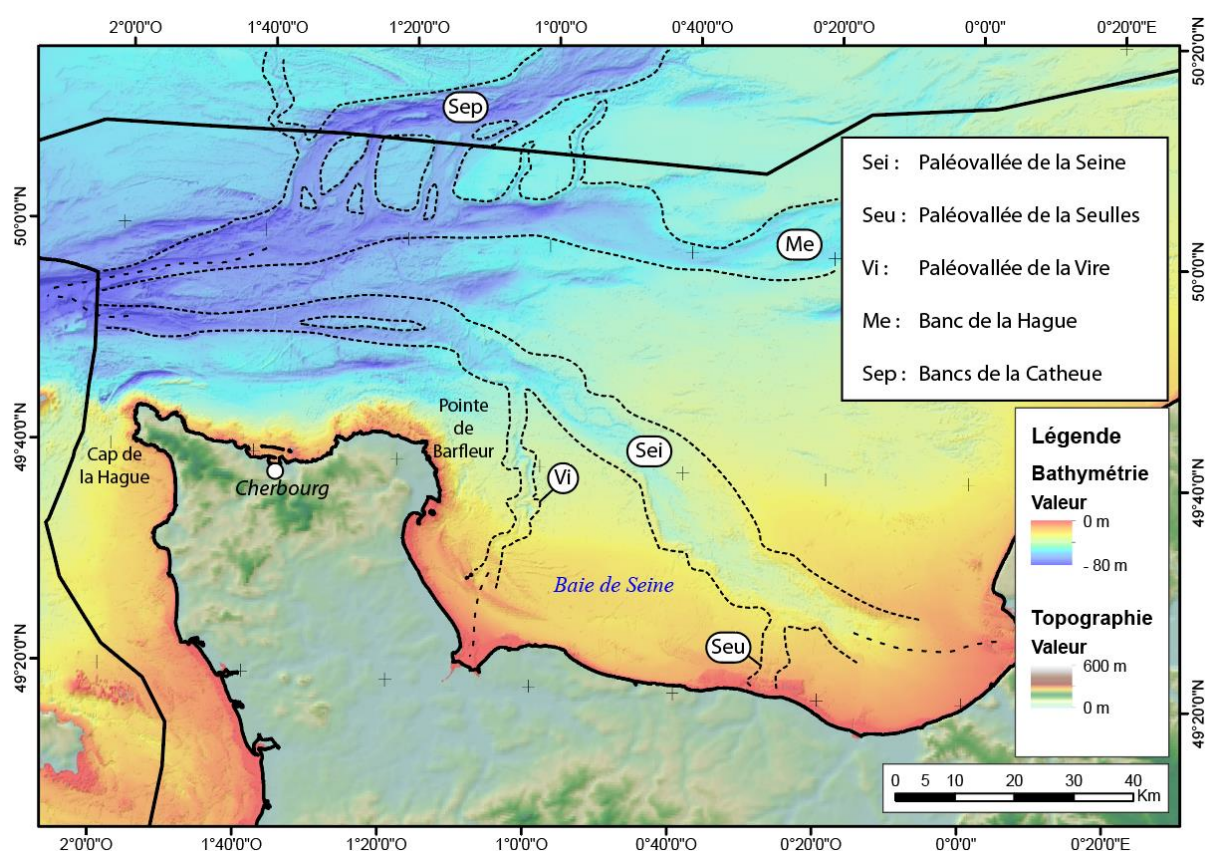


Figure 8 : Mise en évidence des paléovallées sur la morphologie du fond marin entre la Baie de Seine et Cherbourg, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

- Une paléovallée correspondant à la confluence des fleuves Sée, Sélune, Couesnon, Rance (...) et se développant à l'est du Plateau des Roches de Douvres (Figure 9).



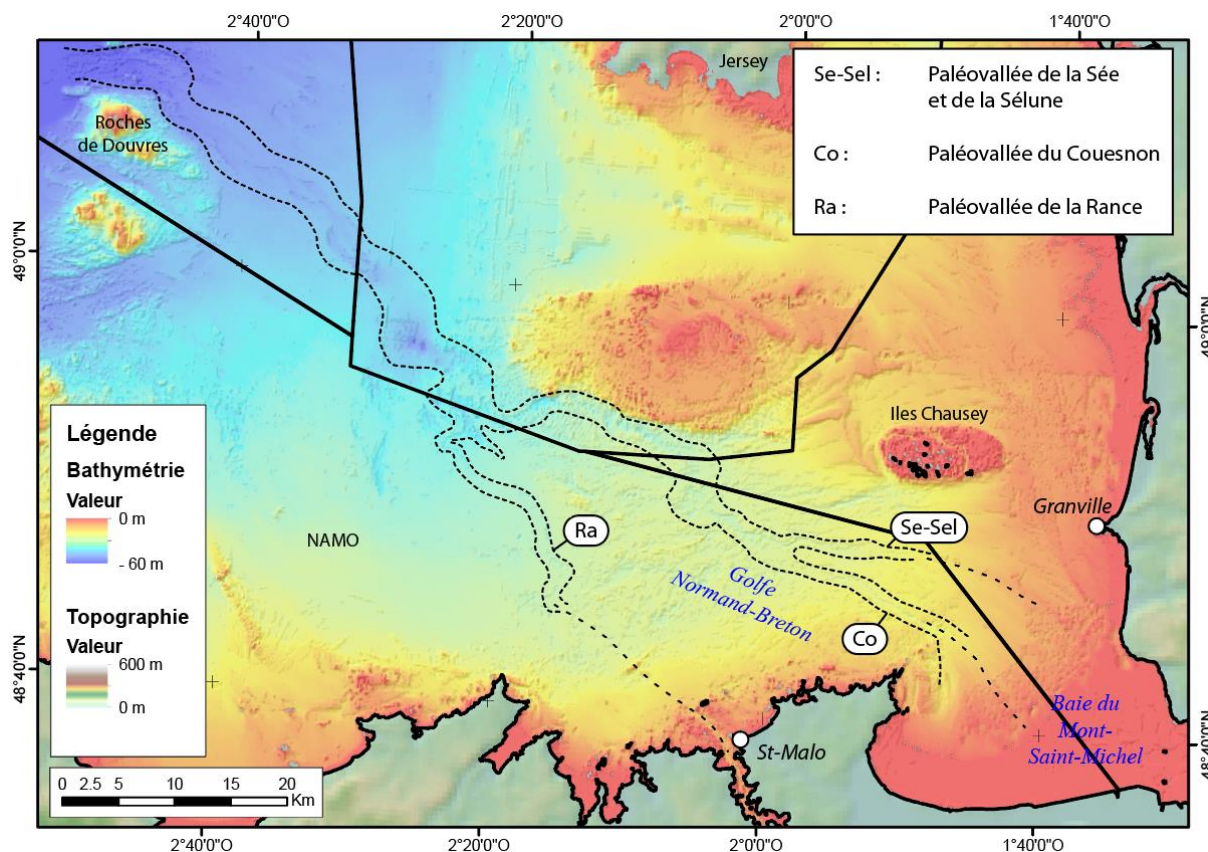


Figure 9 : Mise en évidence des paléovallées sur la morphologie du fond dans le Golfe Normand-Breton, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

- Une série de dépressions plus rectilignes, plus ou moins isolées, et plus ou moins connectées au réseau de paléovallées. Elles sont habituellement dénommées « fosses » (Hamilton and Smith, 1972 ; Alduc, 1979 ; Paquet et al., 2023). Leur profondeur par rapport au plateau environnant est de 20 à 30 m mais peut atteindre les 50 m (Fosse Centrale).

D'est en ouest, on note (Figure 10) :

- La Fosse d'Antifer, ou creux d'Antifer, au large du terminal portuaire d'Antifer,
- Les Fosses du Cotentin situées à la jonction des paléovallées Somme, Seine, et Septentrionale, dont la Fosse de la Hague,
- La Fosse Centrale (ou Hurd Deep), qui débute au nord-ouest du Cotentin et continue vers l'ouest-sud-ouest sur plus de 160 km. Une partie de la Fosse Centrale se trouve dans les eaux des Iles Anglo-Normandes, où son plancher est 110 à 120 m sous le plateau environnant, atteignant des bathymétries autour de 170 m. Sa terminaison occidentale se trouve à l'intérieur de la façade NAMO.

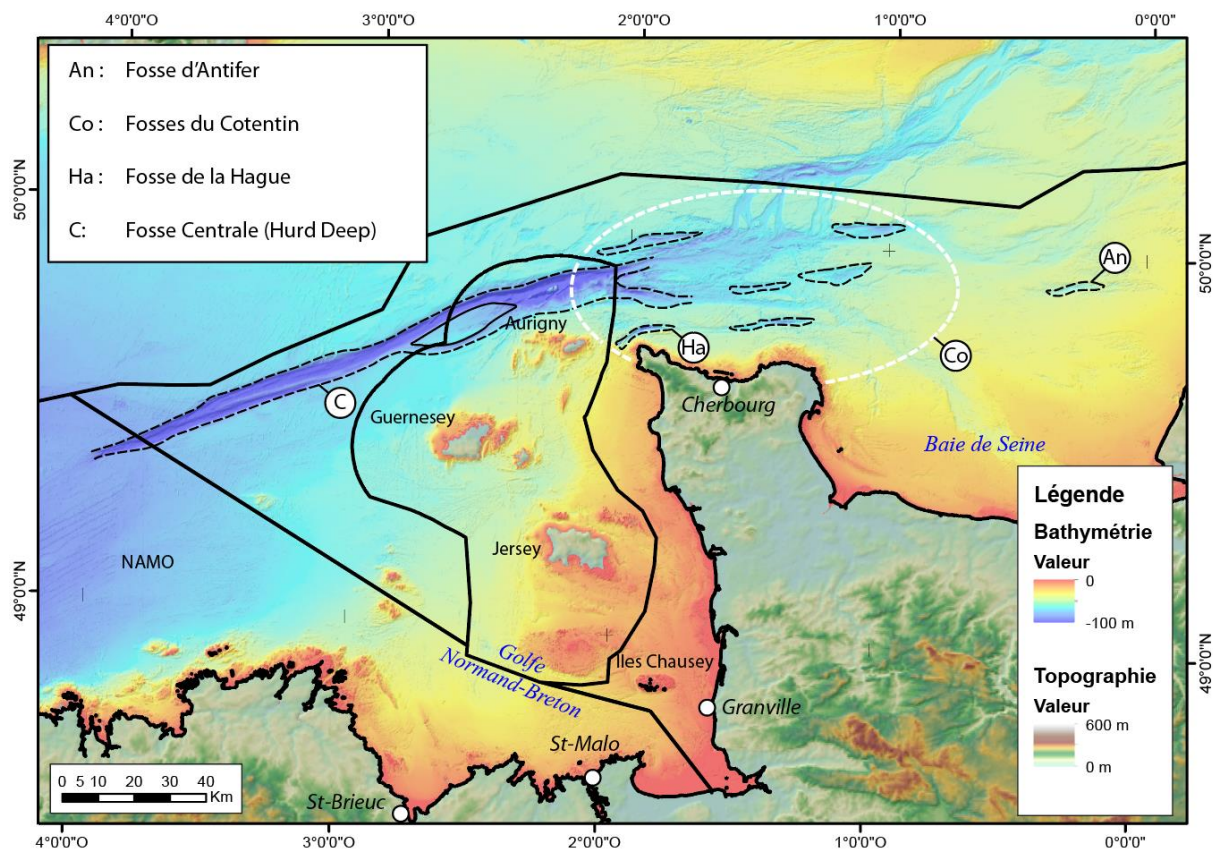


Figure 10 : Mise en évidence des fosses sur la morphologie du fond dans le Golfe Normand-Breton, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

## 3. Nature des fonds et grands ensembles sédimentaires meubles

### 3.1. NATURE DES FONDS

En règle générale, les fonds marins peuvent être recouverts d'une épaisseur variable de sédiments plus ou moins grossiers, ou bien 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.

Sur la zone MEMN, 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 ».

La cartographie de la nature des fonds de la façade MEMN (Figure 11) 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).

La façade montre ainsi des fonds dominés par des sédiments grossiers (cailloutis, graviers) et par les sables. Les sédiments fins (sables fins, silts, vases et argiles) sont cantonnés aux estuaires, baies et zones environnantes (Baies d'Étaples, de l'Authie et de Somme, Embouchure de la Seine, Baie des Veys, Havres de la Manche, Baie du Mont-Saint-Michel). Des zones de roches affleurantes sont identifiées, principalement à proximité des côtes rocheuses, au niveau des plateaux et hauts-fonds cités dans la section géomorphologie précédente, ou 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.

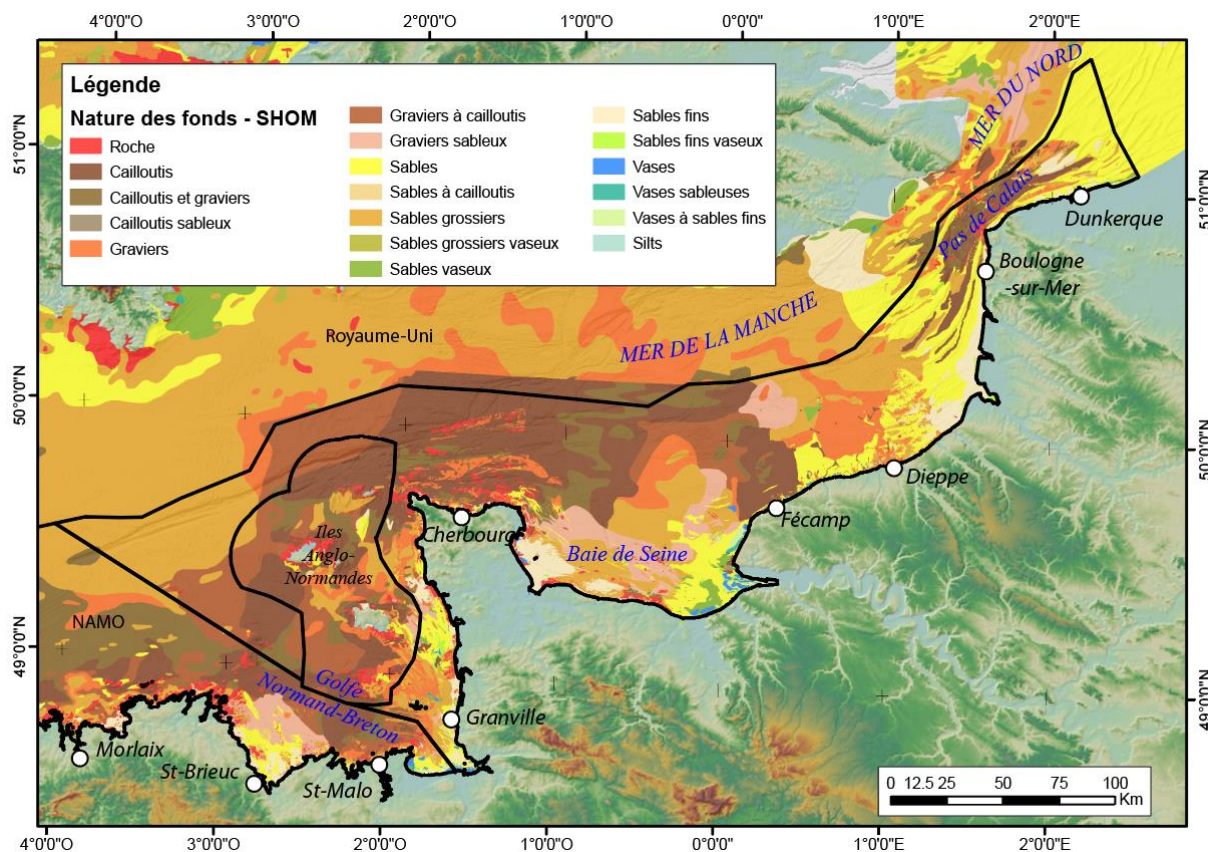


Figure 11 : Cartographie de la nature des fonds issue de la Carte Sédimentologique Mondiale (©SHOM, 2021), sur fonds bathymétrique (ombrage seul ; ©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

### 3.2. ENSEMBLES SEDIMENTAIRES MEUBLES

Au-delà de la nature des fonds, ce chapitre s'intéresse 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 parfois 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 MEMN, trois grands ensembles sont identifiés :

- Le prisme littoral
- Les dunes et bancs sableux
- Le remplissage des paléovallées

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

Le prisme littoral (Figure 12) 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. L'épaisseur du prisme littoral peut atteindre des valeurs de 20 à 25 m, comme en Baie du Mont-Saint-Michel (Auffret (1989), dans Larsonneur (1989)).

Les dunes et bancs sableux (Figure 12), déjà évoqués dans la section « géomorphologie », 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 MEMN présente plusieurs ensembles et champs dunaires depuis son extrémité occidentale, jusqu'à l'approche du détroit de Calais, où elles sont associées aux bancs sableux. Ces derniers constituent les corps sédimentaires principaux de la portion orientale de la zone MEMN et se prolongent au-delà, en Mer du Nord, en territoire belge et britannique. L'épaisseur des dunes atteint 5 à 10 m, alors que celle des bancs peut atteindre 20 ou 30 m, et jusqu'à une cinquantaine de mètres pour les plus développés. 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.

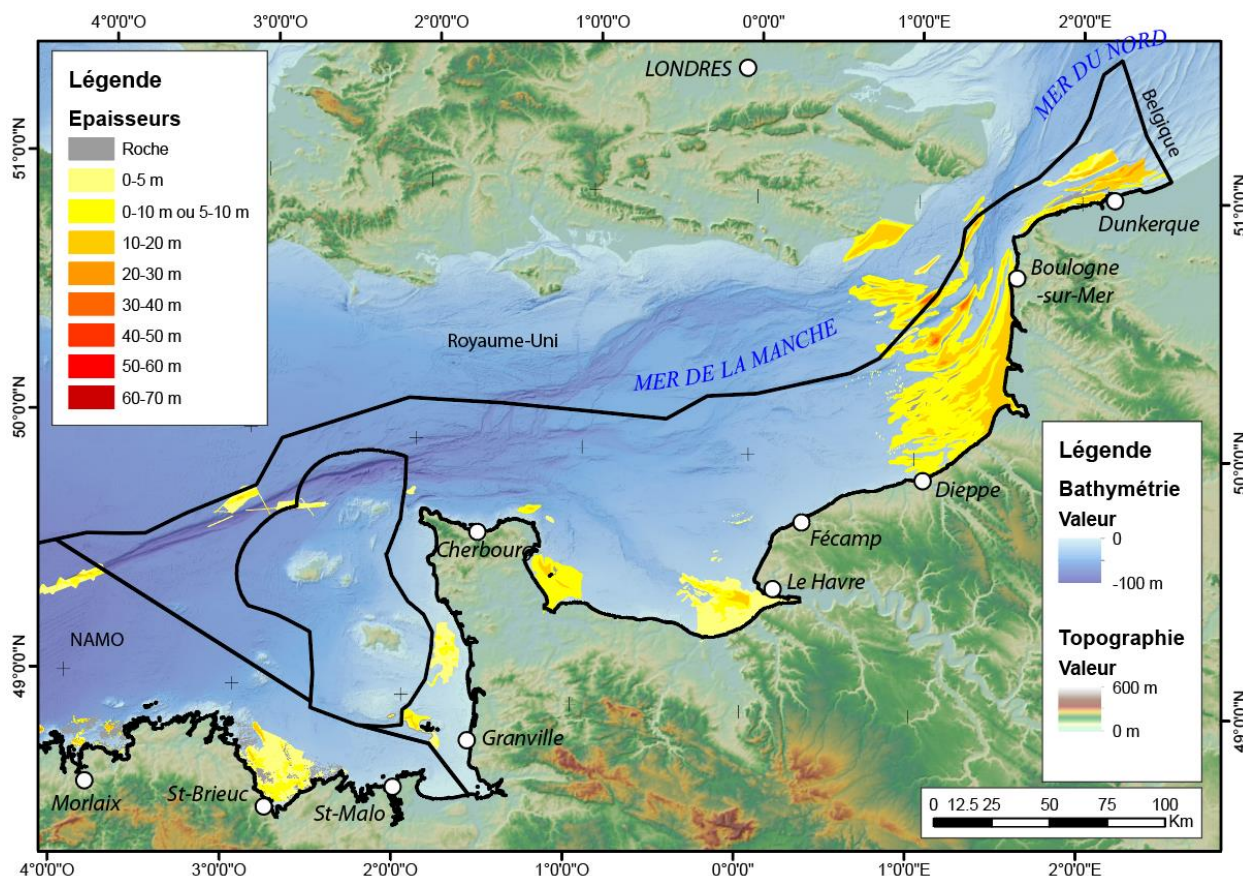


Figure 12 : Carte d'isopaques (épaisseur) des bancs sableux et prisme sédimentaires principaux issue des travaux d'inventaires en granulats marins réalisés par l'Ifremer (2006, 2012), sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Le remplissage des paléovallées 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 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 (Lisiecki and Raymo, 2005). 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 13.

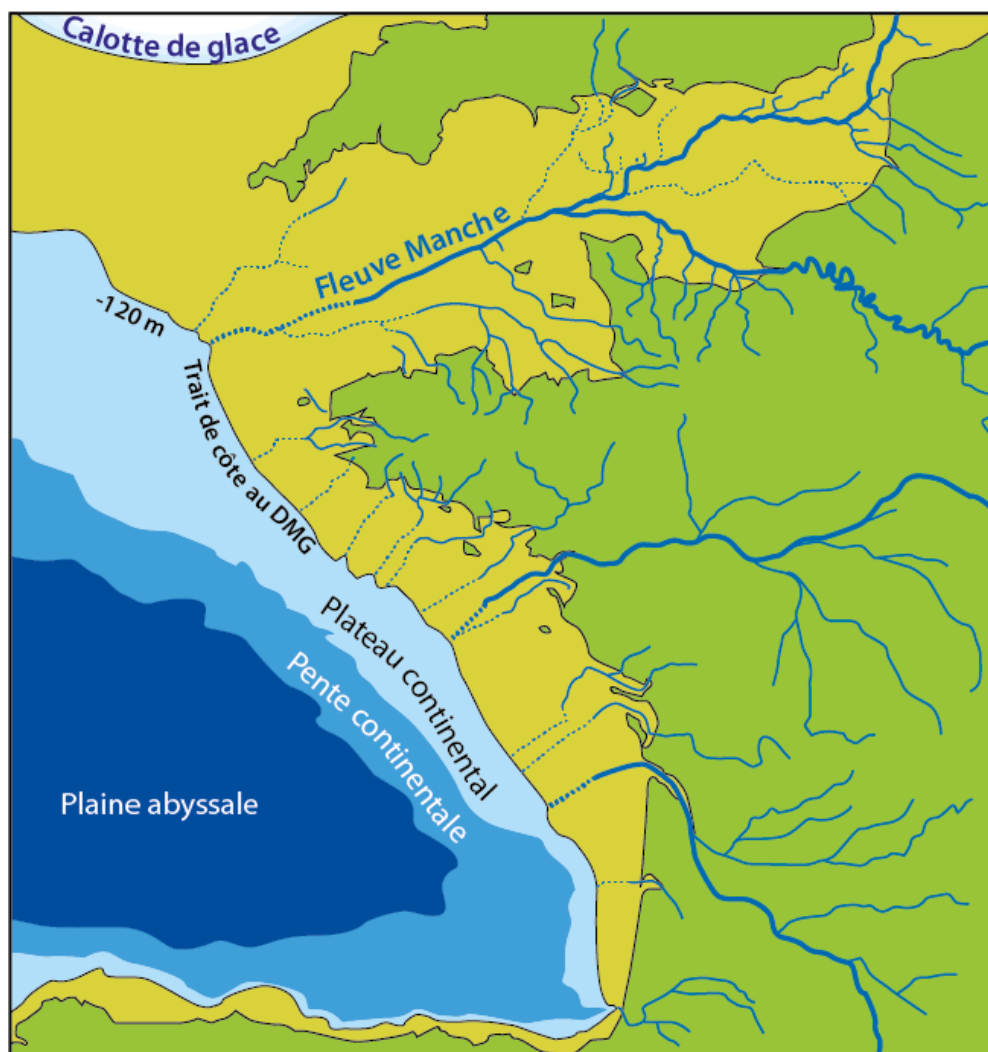


Figure 13 : Reconstitution de la paléogéographie des façades de l'Atlantique et de la Manche au cours du dernier maximum glaciaire (DMG), il y a environ 20 000 ans. Une large portion du plateau continental actuel est alors émergée (vert clair). Les fleuves s'y prolongent jusqu'au littoral et se rejoignent parfois pour former de nouveaux cours d'eau comme le fleuve Manche (Seine, Somme, Tamise, ...). Carte modifiée de Paquet (2022) et établie d'après Larsonneur et al. (1982), Ehlers et Gibbard (2004), Menier (2004), Thion et al. (2009), Weber (2004), Lericolais et al. (2001).

Au niveau de la zone MEMN, on observe que le plateau continental, actuellement immergé, se trouve totalement émergé. La Manche et la mer du Nord sont « asséchées », et les littoraux sont repoussés soit vers le cœur de la Mer du Nord (partiellement englacée), ou au large du Finistère. 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. C'est au sein de ces incisions que sont préservés les sédiments fluviaux des périodes de bas niveaux, mais également les sédiments tidaux d'embouchure (estuaires), 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, au contraire, atteindre plusieurs dizaines de mètres localement (Figure 14).

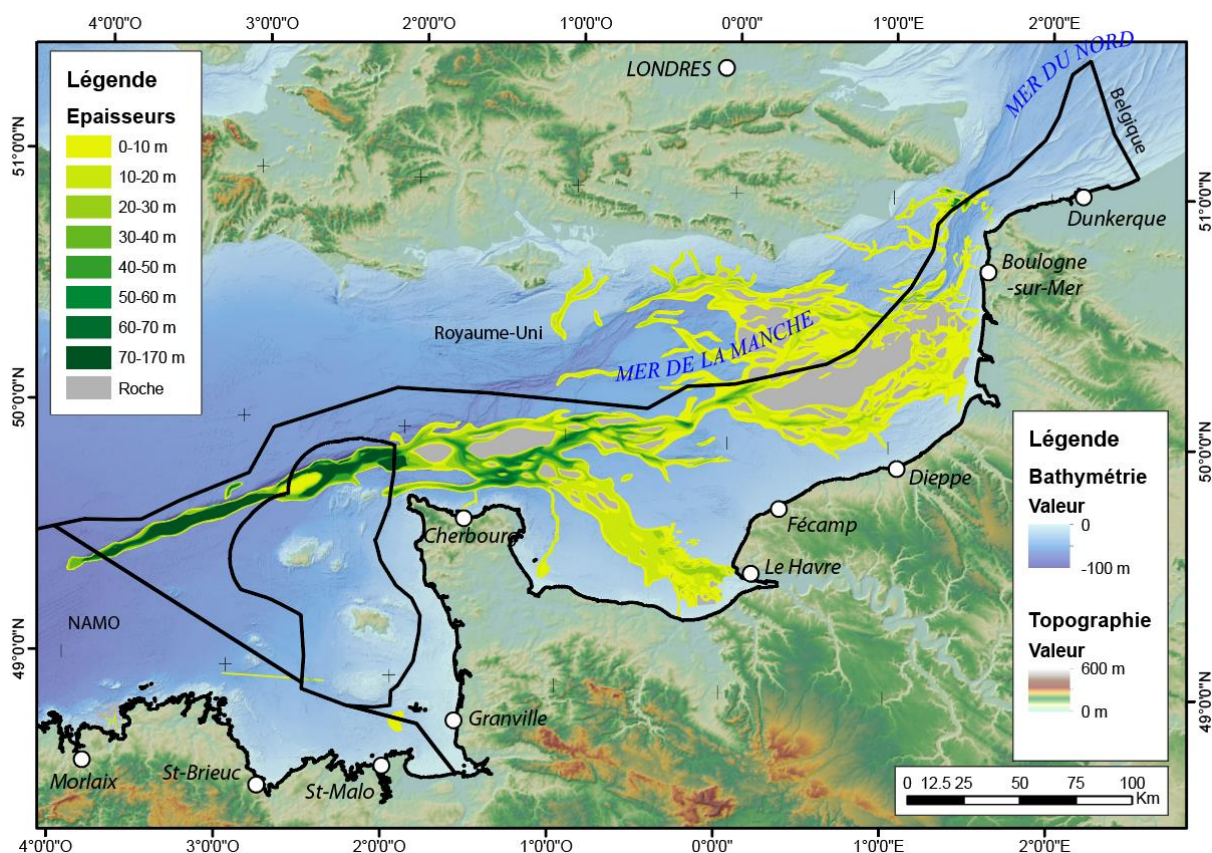


Figure 14 : Carte d'isopaques (épaisseur) des sédiments meubles des paléovallées et des fosses, issue des travaux d'inventaires en granulats marins réalisés par l'Ifremer (Augris et al., 2006 ; Gautier et al., 2012), sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Les incisions de type fosses décrites dans la section « géomorphologie » sont habituellement associées aux paléovallées (Figure 14). Elles sont principalement documentées en Manche. Leur origine et leur relation génétique avec les paléovallées sont débattues depuis leur découverte. Cependant, les études récentes basées sur des données nouvellement acquises remettent en cause ce lien génétique en proposant une origine plus ancienne et possiblement marine pour leur creusement (Paquet et al., 2023 ; Kaci, 2023 ; Figure 15). Certaines fosses présentent des morphologies en dépression (voir section géomorphologie) lorsqu'elles ne sont pas complètement comblées (cas le plus fréquent). La profondeur d'incision de ces fosses et l'épaisseur de leur remplissage peut dépasser aisément les 100 m, atteint 200m dans la Fosse Centrale (extrémité ouest de la façade MEMN), et dépasse les 350 m dans le « Deep Groove », au nord de la Baie de Seine (Paquet et al., 2023). L'âge de l'incision et du remplissage des fosses reste incertain mais est compris entre le Bartonien (40 Ma) et le Pléistocène (120 ka). L'induration de tout ou partie du remplissage est également un point de questionnement qui reste à adresser.



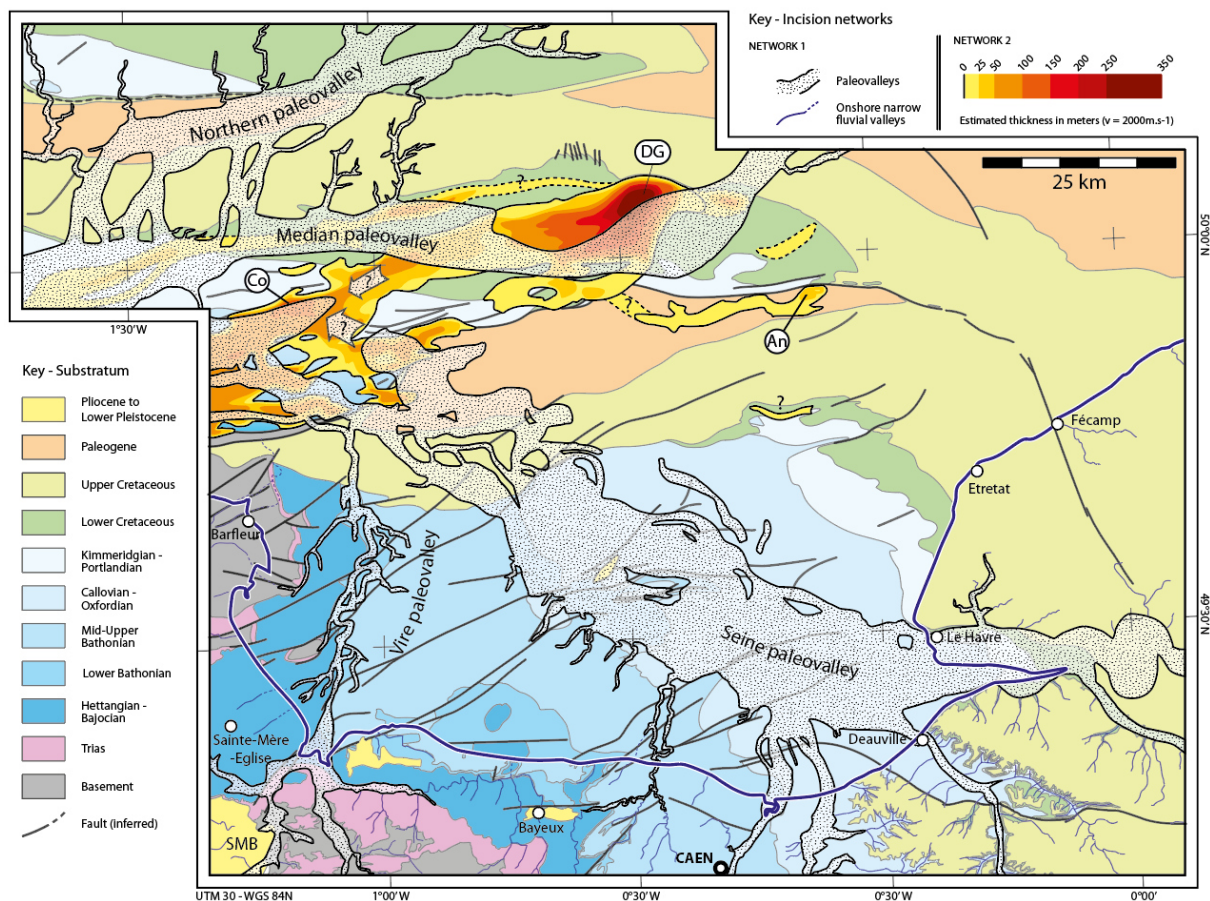


Figure 15 : Carte simplifiée montrant la distinction entre le réseau hydrographique de paléovallées immergées (NETWORK 1 - blanc pointillés) et du réseau de fosses (NETWORK 2- isopaques jaunes à rouges), dont la Fosse d'Antifer (An), les Fosses du Cotentin (Co), et le « Deep Groove » (DG). Fond de carte issu de la carte géologique simplifiée mise à jour (modifiée d'après Paquet et al. (2023)).

La géomorphologie, la nature du fond marin et les grands ensembles de sédiments meubles montrent une cohérence forte. La distribution des morphologies et des sédiments reflète l'évolution paléo-environnementale et hydrodynamique quaternaire et actuelle du plateau continental. Les alternances glaciaires-interglaciaires ont façonné le plateau en créant une vaste plaine actuellement immergée, et parcourue d'incisions (paléovallées et fosses) témoignant d'évolution des reliefs lors des chutes ou remontées du niveau marin. Les sables sont actuellement mobilisés par l'hydrodynamisme important de ce secteur et forment dunes et bancs sableux qui évoluent sans cesse. Hormis ces ensembles sableux et le remplissage des incisions, le plateau est recouvert d'une épaisseur souvent infra-métrique de sédiments grossiers (gravier, galets), laissant parfois affleurer le substratum rocheux.

## 4. Ensembles géologiques, stratigraphie et structuration globale du substratum

Les sédiments meubles reposent sur un soubassement induré communément appelé substratum, et qui est souvent sub-affleurant, hors des zones d'accumulation sédimentaires (dunes et bancs, paléovallées, prisme littoral). Les premiers travaux de géologie en Manche ont permis de caractériser les grands ensembles du substratum rocheux et ainsi de dessiner le prolongement des grands ensembles géologiques connus à terre, de part et d'autre du corridor maritime. Dans cette section, la description des grands ensembles géologiques (Figure 16), 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 (Chantraine et al., 2003 ; Figure 17).

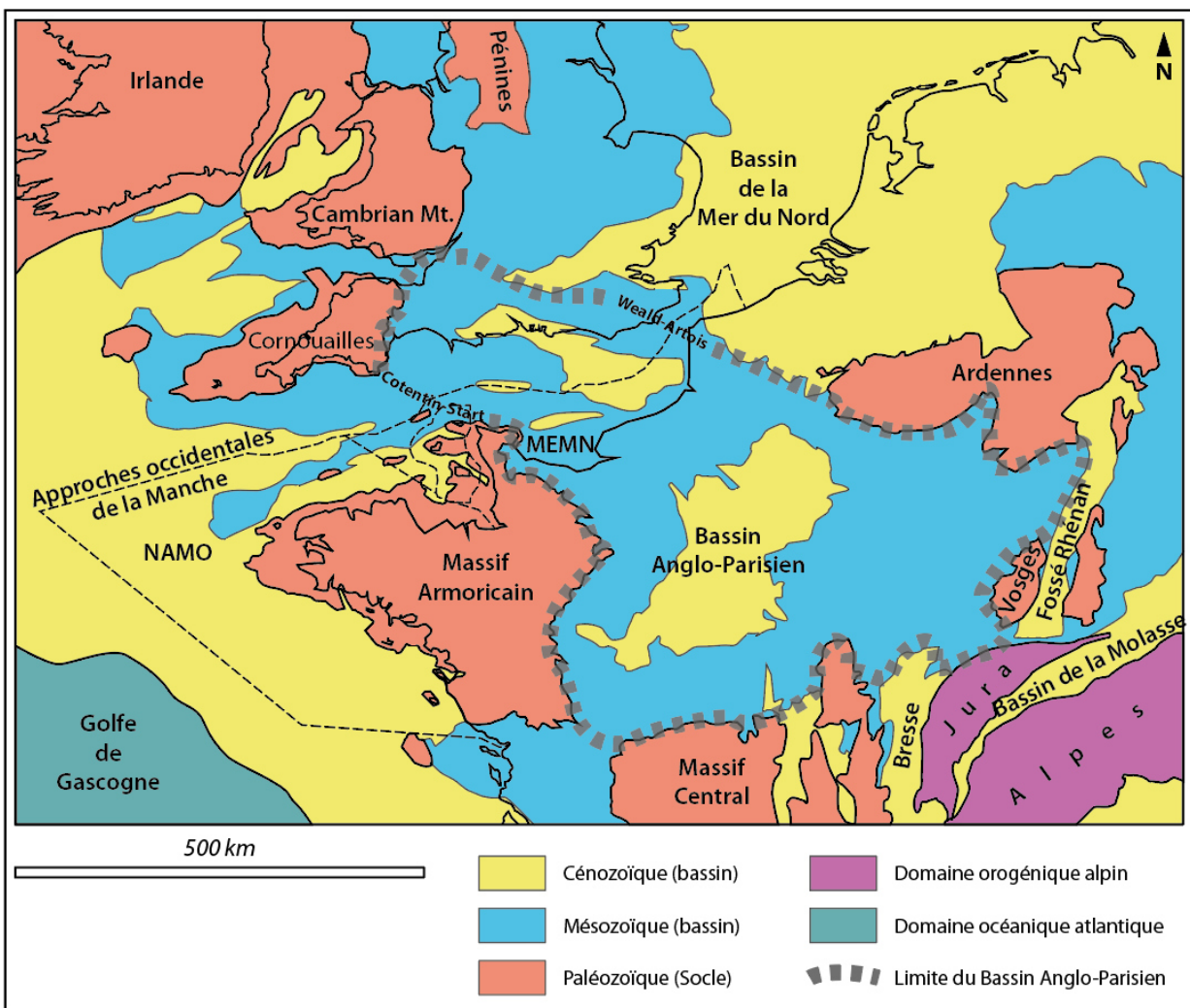
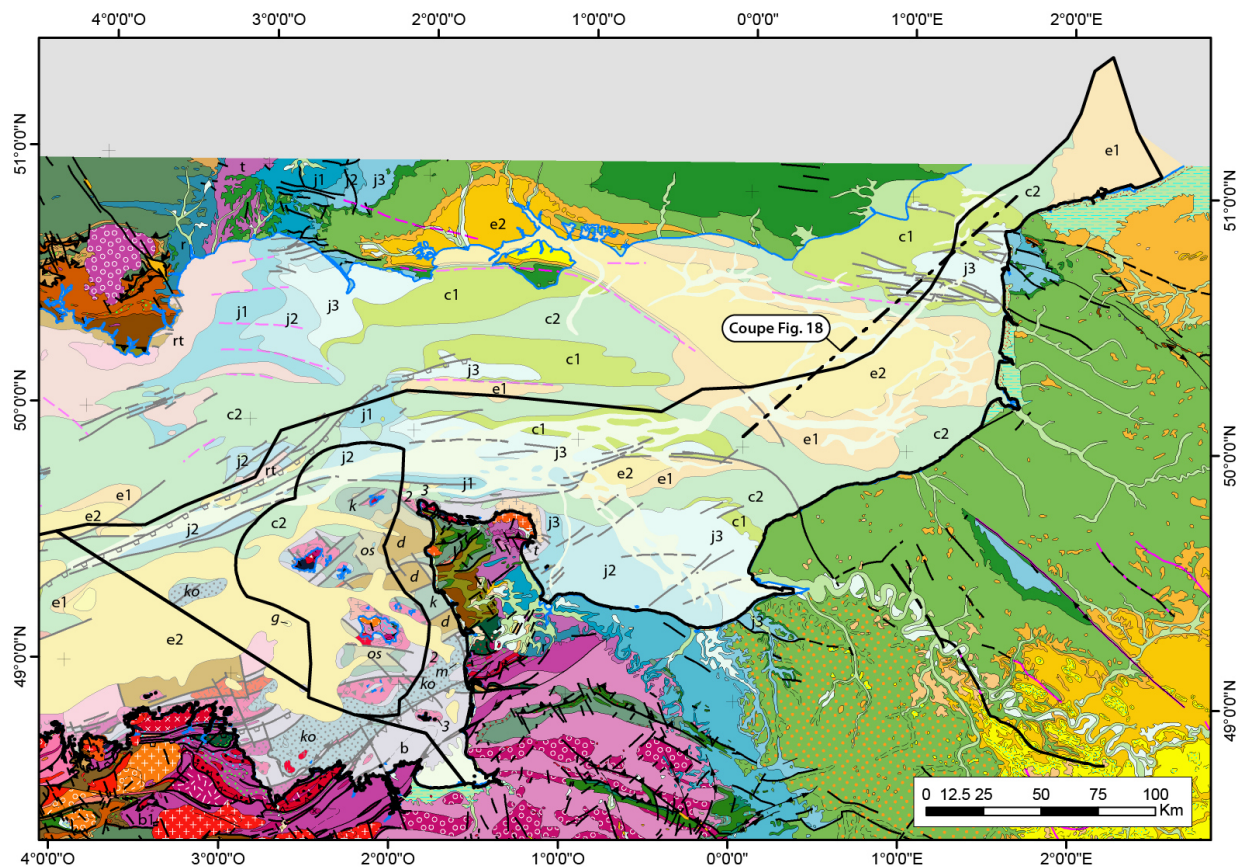


Figure 16 : Carte des grands domaines géologiques autour de la zone MEMN.



Légende des grandes ensembles stratigraphiques en mer (zone MEMN)

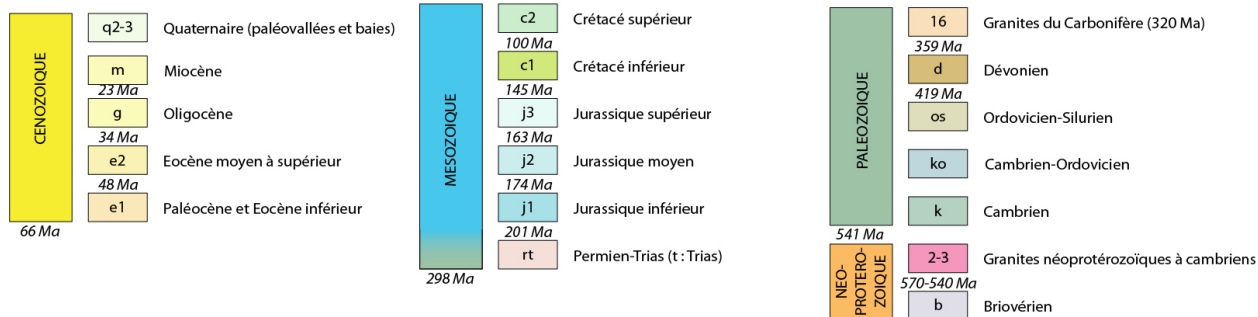


Figure 17 : Carte géologique de la façade MEMN simplifiée d'après Chantraine et al., (2003).

La façade MEMN est à cheval sur quatre grands domaines géologiques que sont le Bassin de Mer du Nord (Bassin des Flandres), le Bassin Anglo-Parisien, le bassin des Approches Occidentales de la Manche (et la Manche Occidentale), et le domaine de socle du Massif Armoricaïn (Figure 16).

#### 4.1. LE BASSIN ANGLO-PARISIEN

La façade MEMN est dominée par un substratum sédimentaire méso-cénozoïque, qui depuis son extrémité orientale jusqu'au Cotentin, prolonge les séries sédimentaires connues à terre appartenant au Bassin Parisien. Ces séries se prolongent d'ailleurs vers le nord et réapparaissent au sud de l'Angleterre, faisant partie intégrante du Bassin de Londres, ainsi que vers le Bassin de la Mer du Nord, que nous décrivons ici. On peut donc considérer que le substratum rocheux d'une majeure partie de la façade MEMN correspond au remplissage sédimentaire du Bassin Anglo-Parisien, qui couvre une large partie de l'Europe occidentale (Figure 16).

Au sein de ce large Bassin Anglo-Parisien, le jeu des structures tectoniques a individualisé des zones en surrection (hauts structuraux, seuils) et des zones en subsidence (sous-bassins), et a ainsi contrôlé les séries se retrouvant à l'affleurement ou sub-affleurantes.

Les paragraphes suivants décrivent la succession des séries stratigraphiques principales et des grandes structures tectoniques du Bassin Anglo-Parisien, de l'est vers l'ouest de la façade MEMN.

A l'extrémité est de la zone MEMN, nous trouvons les séries cénozoïques du Bassin des Flandres (Paléocène, Eocène), légèrement pentées vers le NE et apparentées au Bassin de la Mer du Nord (De Batist et Henriot, 1995). Le pendage vers le NE est lié à la présence à l'ouest du haut structural du Weald-Artois (Figure 17), d'orientation ONO-ESE, traversant la région entre le Boulonnais et le Kent. Ce haut structural, associé à un large anticlinal, fait remonter en surface les séries mésozoïques depuis le Crétacé supérieur, jusqu'au Jurassique supérieur, au cœur de la structure (Carter et Destombes, 1979 ; Groupe Norois, 1979). Il marque la limite entre Bassin Anglo-Parisien et Bassin des Flandres (Mer du Nord). Au SO de l'axe du Weald-Artois, la pile sédimentaire est inclinée vers le SSO. Se succèdent ainsi à l'affleurement, les séries mésozoïques du Jurassique supérieur, du Crétacé inférieur puis du Crétacé supérieur. Il est à noter que cette zone a fait l'objet d'une mise à jour de la carte géologique à l'échelle du 1/250 000 lors du projet Interreg GEOSYNTH (Guennoc et al., 2002).

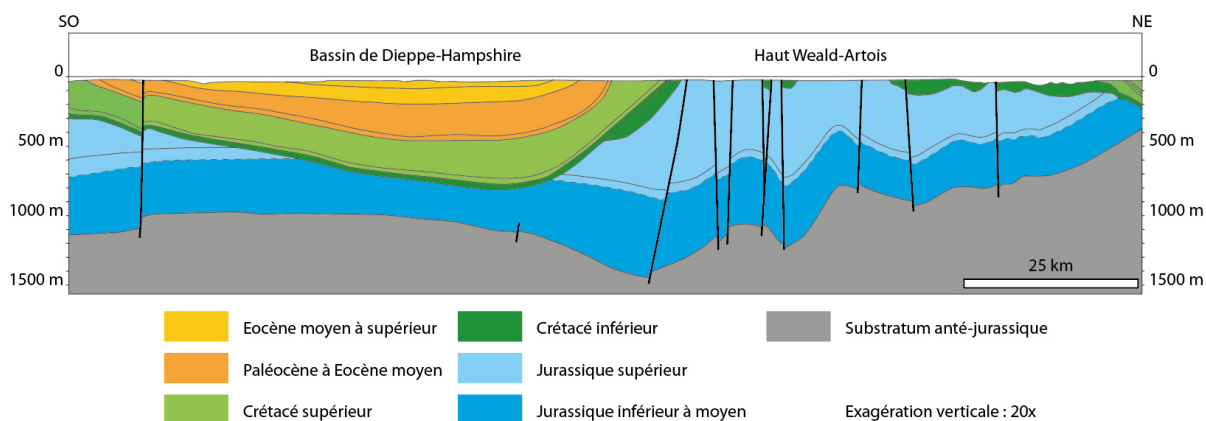


Figure 18 : Coupe géologique régionale NE-SO à travers le haut structural Weald Artois et le Bassin de Dieppe Hampshire (modifiée d'après BGS-BRGM, 1988). Localisation de la coupe sur la Figure 17.

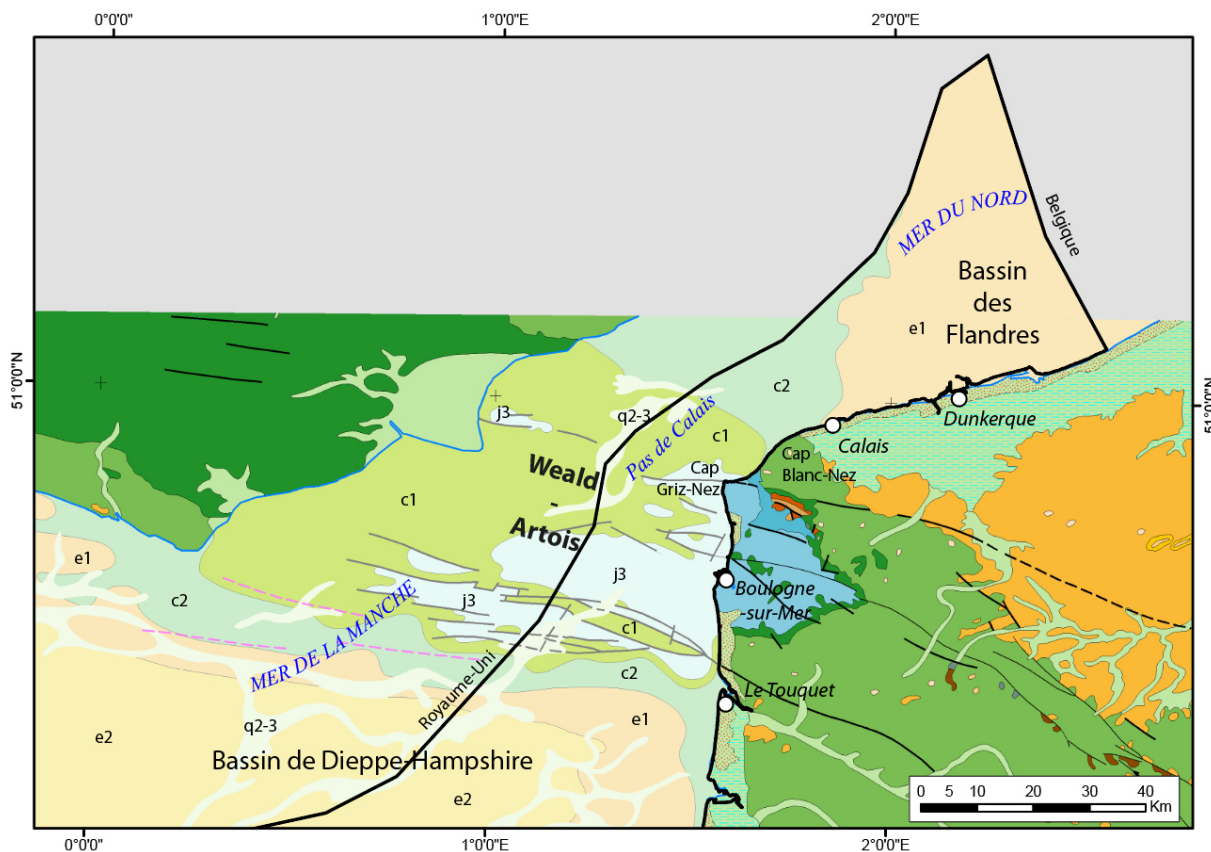


Figure 19 : Carte géologique de la façade MEMN – secteur NE, simplifiée d'après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la Figure 17.

Cette tendance se prolonge dans les séries cénozoïques jusqu'à l'axe du synclinal de Dieppe-Hampshire (Figure 19 et Figure 20). Cette large structure à cœur de Cénozoïque est orientée ONO-ESE, parallèlement au Weald-Artois. L'auréole cénozoïque, qui prend la dénomination de Bassin de Dieppe-Hampshire, est principalement immergée, mais affleure largement dans le sud de l'Angleterre (Hampshire, Dorset, Wiltshire, Ile de Wight), et de façon plus réduite en Normandie (Cap d'Ailly). Le Bassin de Dieppe-Hampshire a fait l'objet d'études récentes en cours de publication (Jollivet-Castelot et al., en cours).

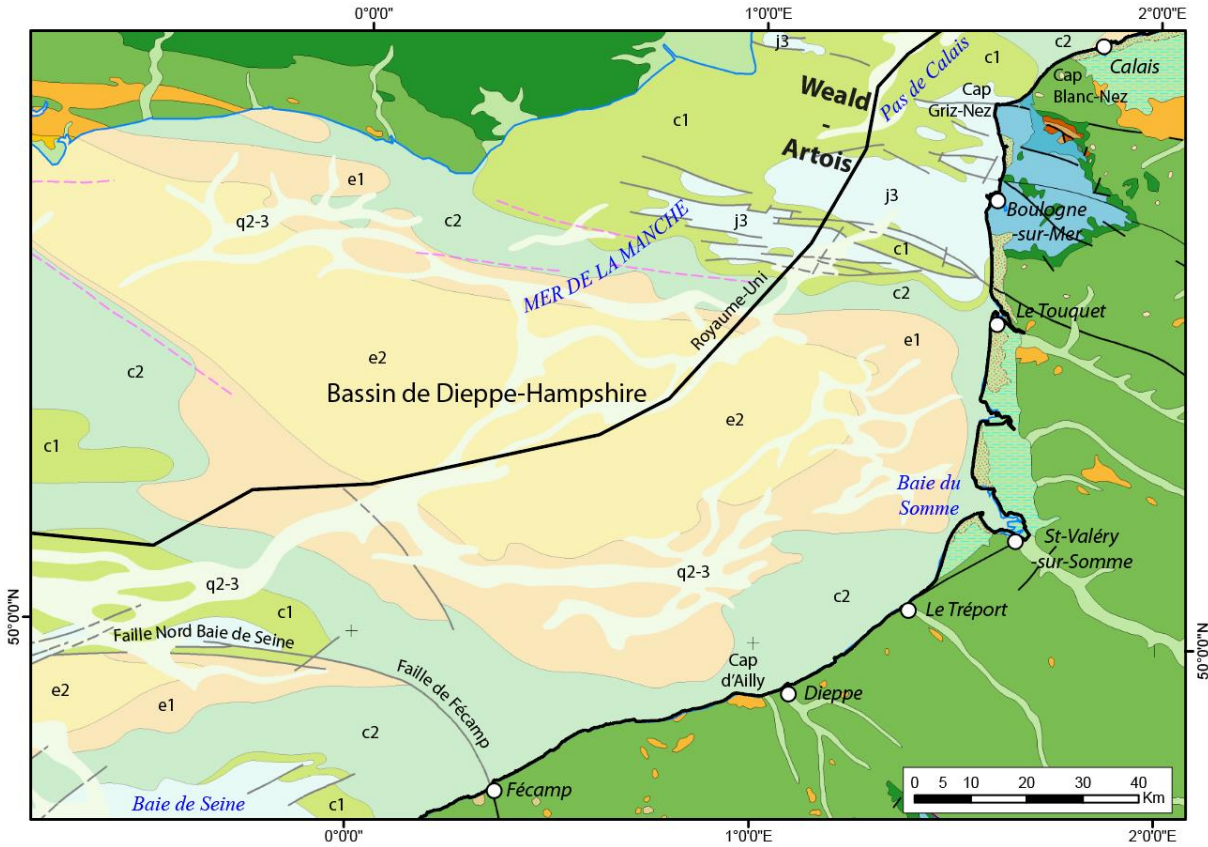


Figure 20 : Carte géologique de la façade MEMN – secteur de Calais à Fécamp, simplifiée d'après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la Figure 17.

Vers le SO, les séries mésozoïques réapparaissent progressivement avec un pendage régional vers le NE (Figure 20 et Figure 21). Le Crétacé (supérieur et inférieur) est majoritairement représenté au NO du Pays de Caux. Le Jurassique domine le substratum de la Baie de Seine (Larsonneur, 1971 ; Benabdellouahed, 2014). Il est à noter que cette zone fait l'objet d'une mise à jour de la carte géologique à l'échelle du 1/250 000 (Paquet et al., en cours).

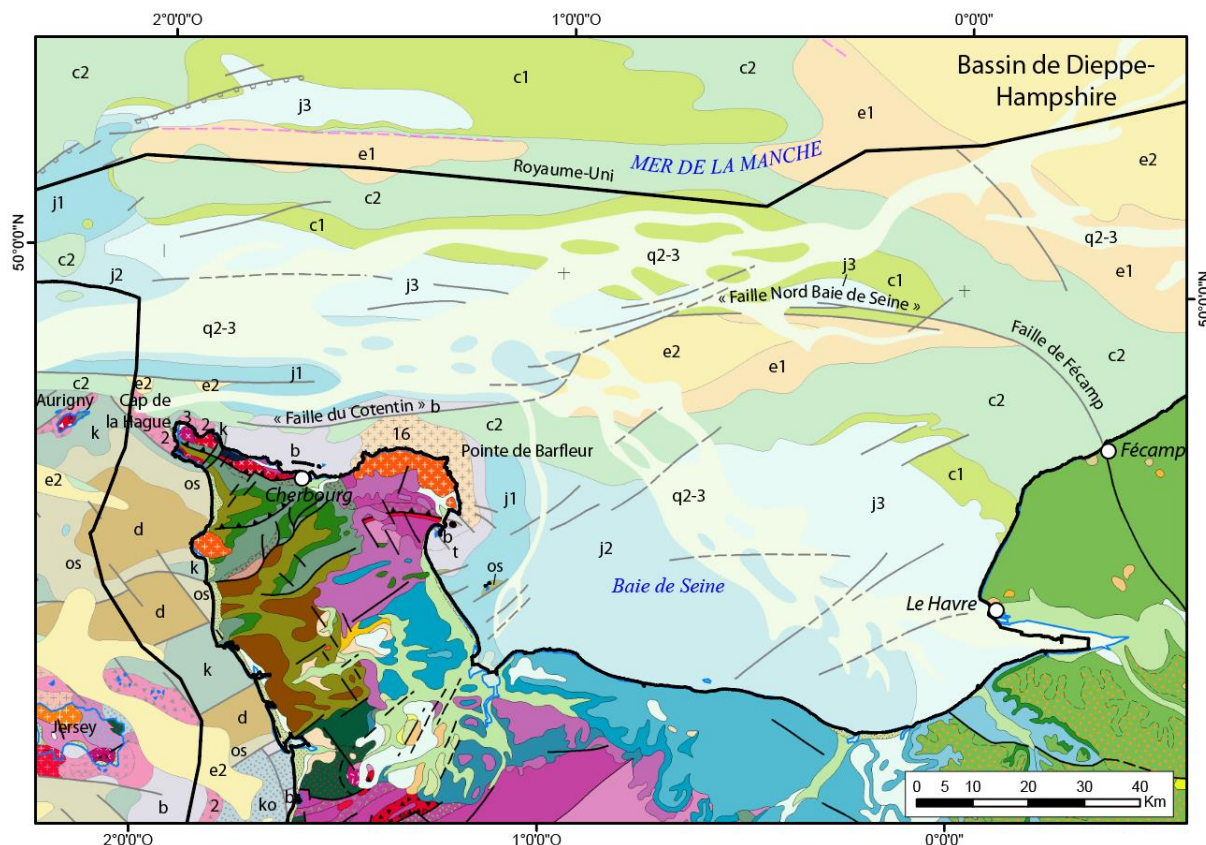


Figure 21 : Carte géologique de la façade MEMN – secteur Baie de Seine, simplifiée d'après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la Figure 17.

La présence des séries du Trias en surface à l'ouest marque la bordure du Bassin Parisien et l'entrée, au niveau du Cotentin, dans le domaine de socle du Massif Armoricaïn. A l'échelle régionale, cette configuration se prolonge à travers la Manche jusque dans le S-O de l'Angleterre (Dorset, Devon). Cette bordure trans-Manche du Bassin Anglo-Parisien connue sous le nom de Ligne Cotentin-Start est néanmoins profondément perturbée par un système de structures tectoniques est-ouest qui réorientent les séries méso-cénozoïques formant une succession d'anticlinaux et synclinaux E-O faillés (Larsonneur, 1971). Le nord de la Baie de Seine voit ainsi sub-affleurer les séries du Crétacé supérieur en discordance sur le Jurassique, puis l'apparition des séries cénozoïques au sein du synclinal dissymétrique « Nord-Baie de Seine ». Ce synclinal est limité au nord par une structure majeure E-O, au-delà de laquelle affleure à nouveau le Jurassique, Crétacé inférieur puis supérieur, et de nouveau le cénozoïque, le long de la bordure septentrionale de la zone MEMN (synclinal du bassin cénozoïque Centre Manche). Au nord du Cotentin, les structures E-O, NE-SO et NO-SE contrôlent la distribution des séries à l'affleurement.

Le Cotentin marque la bordure ouest du Bassin Anglo-Parisien et le passage dans le domaine de socle armoricaïn vers le sud dans le Golfe Normand-Breton, et dans le domaine de bassin de la Manche Occidentale.

## 4.2. SOCLE DU MASSIF ARMORICAIN

Autour du Cap de la Hague, le socle présente une variété importante de terrains témoignant d'une longue histoire géologique (Figure 22). La formation la plus ancienne, constituée de gneiss, y est retrouvée et est associée à l'icartien (orogénèse icartienne paléoprotérozoïque vers 2 Ga ; Cogné, 1972 ; Calvez et Vidal, 1978). Ces gneiss sont les roches les plus anciennes de France et d'Europe. Si leur présence sur le fond marin est confirmée autour des Iles Anglo-Normandes, elle n'est pas attestée dans la zone MEMN. Ils jouxtent des terrains granitiques et méta-sédimentaires néoprotérozoïques associés à l'orogénèse cadomienne (650-540 Ma ; Auvray, 1979 ; Le Gall et al., 1986 ; Denis et Dabard, 1988 ; Dabard, 1990). Depuis le sud du Cap de la Hague vers la Baie du Mont-Saint-Michel, au sein du Golfe Normand-Breton, la structuration principalement NE-SO fait affleurer les séries paléozoïques plissées au nord (Cambrien à Dévonien plissés lors de l'orogénèse varisque), puis fait remonter le socle ancien, jusqu'à l'affleurement des séries néoprotérozoïques (Briovérien) fortement déformées au sud (déformation du cycle cadomien). Ces séries sédimentaires et méta-sédimentaires sont localement recoupées par des plutons granitiques intrusifs. Les massifs les plus anciens liés au cycle orogénique cadomien sont intrusifs dans les séries du Briovérien (granodiorite de Chausey, leucogranites de Tombelaine et du Mont-Saint-Michel – Graindor et al., 1976). Le Briovérien domine la partie méridionale du Golfe Normand-Breton (Figure 22), mais est également présent au nord et à l'est du Cotentin. Les intrusions les plus récentes sont associées à l'orogénèse varisque et correspondent au granite de Flamanville et au granite de Barfleur, intrusifs dans le Briovérien et le Paléozoïque du Cotentin. Le Granite de Barfleur est le seul granite varisque documenté en mer au NE du Cotentin, sur la zone MEMN.

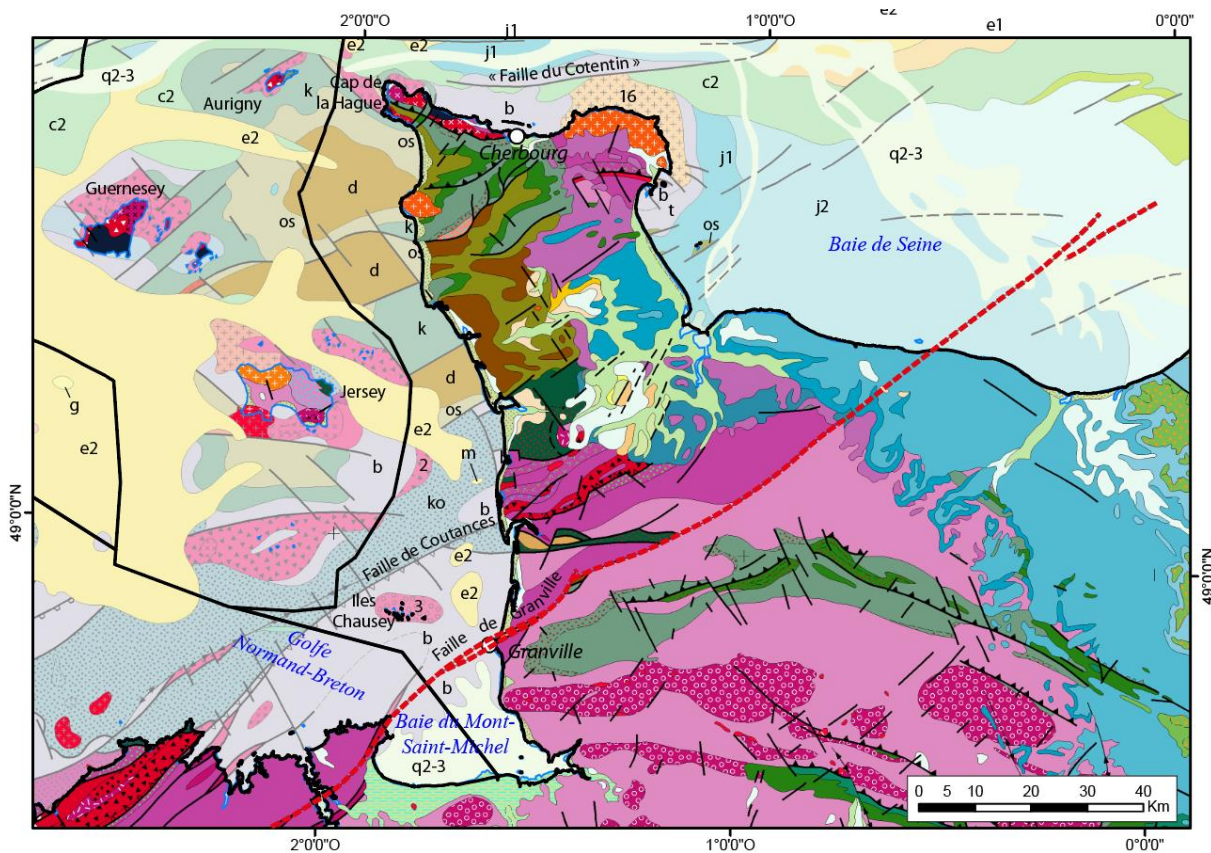


Figure 22 : Carte géologique de la façade MEMN – secteur Baie de Seine-Golfe Normand-Breton (socle armoricain), simplifiée d'après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la figure 14. Le tracé en



*pointillés rouge met en évidence la Faille de Granville dans le socle armoricain et sa possible prolongation dans les séries jurassiques de la Baie de Seine (Bassin Anglo-Parisien).*

A l'ouest du Cotentin et dans le cœur du Golfe Normand-Breton, la présence des Iles Anglo-Normandes (Jersey, Guernesey, Aurigny) implique une vaste indentation au sein des eaux françaises et de la façade MEMN. Cette dernière se prolonge néanmoins à l'ouest des Iles Anglo-Normandes et forme également un étroit corridor d'une quinzaine de kilomètres au nord. Cette zone voit la transition des domaines de la Manche Orientale et du socle armoricain à celui de la Manche Occidentale.

### **4.3. LA MANCHE OCCIDENTALE**

Au nord du domaine armoricain, et à l'ouest du Bassin Anglo-Parisien (Ligne Cotentin-Start), la zone MEMN se trouve principalement sur des terrains sédimentaires méso-cénozoïques du Trias à l'Oligocène, et dans une moindre mesure, sur des terrains cristallins ou métamorphiques du socle armoricain, principalement dans la partie méridionale (Figure 23). Dans le détail, une vaste zone est couverte par une série cénozoïque de l'Eocène à Oligocène « pelliculaire », de quelques dizaines de mètres (Bignot et al., 1968 ; Giresse et al., 1979), qui se biseaute au sud sur le socle armoricain, et au nord, sur les séries du Crétacé supérieur. Le contact sous-jacent entre socle cambro-ordovicien et Crétacé apparaît à la faveur d'un large bombement à l'ouest de Guernesey. Au nord, la remontée en surface du Crétacé supérieur, du Jurassique, et localement du Trias, se fait à la faveur du jeu de structures tectoniques (failles et plis) d'orientation OSO-ENE. Ces structures encadrent notamment la Fosse Centrale (Hurd Deep), suggérant une influence de celles-ci sur la genèse de l'incision. Le Cénozoïque est également retrouvé le long de certaines structures, en bordure septentrionale de la zone MEMN (Andreieff et Lefort, 1972 ; Boillot et al., 1979).

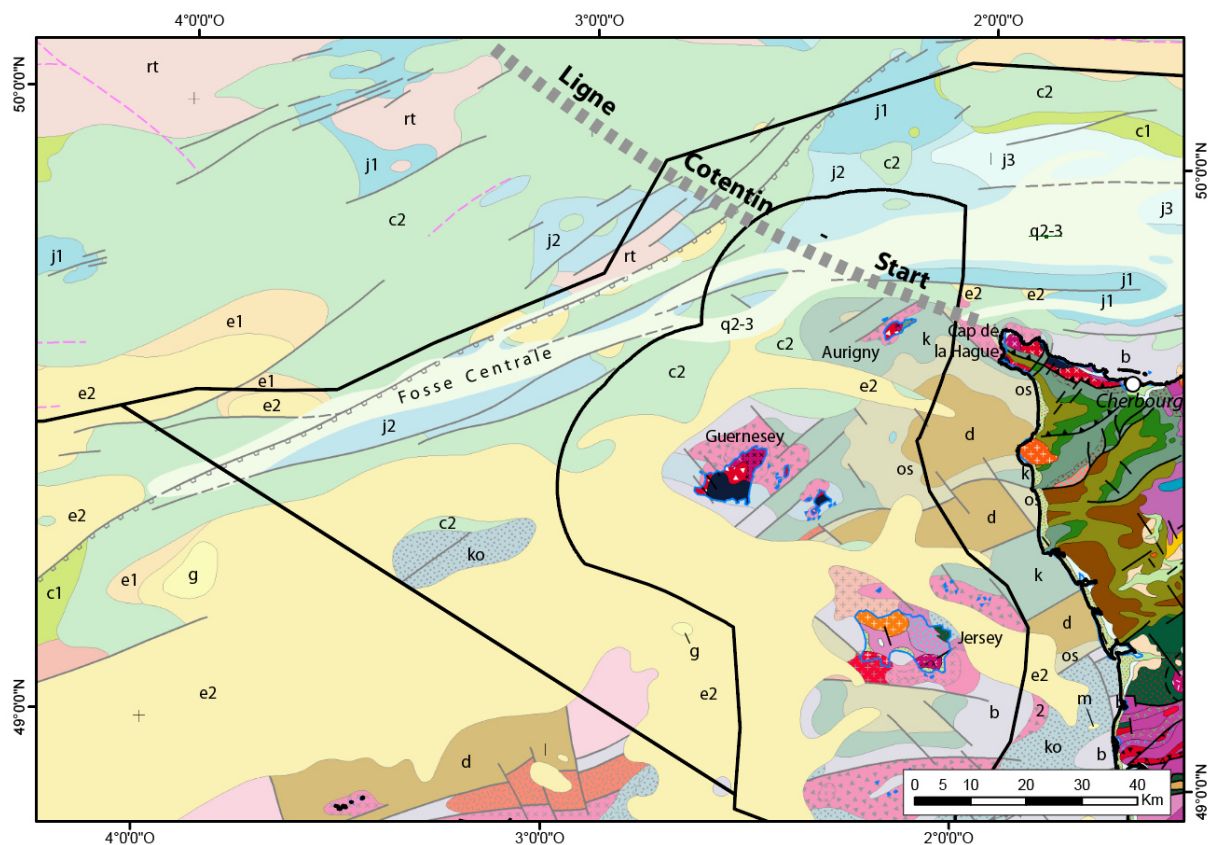


Figure 23 : Carte géologique de la façade MEMN – secteur Golfe Normand-Breton – Manche Occidentale, simplifiée d'après Chantraine et al., (2003). Légende identique à la figure 14.

Si le domaine de la Manche Occidentale peut être rattaché au Bassin intracratonique Anglo-Parisien, son évolution structurale de la fin du Jurassique à la fin du Crétacé inférieur va progressivement le rattacher à l'histoire géologique la marge atlantique, notamment au niveau de son segment des « Approches Occidentales », situé plus à l'extrême ouest du plateau continental, au sein de la façade Nord-Atlantique-Manche Occidentale (NAMO).

#### 4.4. STRUCTURES TECTONIQUES MAJEURES

La façade MEMN est à cheval sur 3 grands domaines géologiques que sont le Bassin Anglo-Parisien, La Manche Occidentale et le Massif Armoricain. Ces domaines sont limités ou traversés par de grandes structures tectoniques qui peuvent les subdiviser en sous domaines (Lagarde et al., 2003).

A l'est du domaine du Bassin Anglo-Parisien, le haut structural du Weald-Artois traverse la Manche et sépare les sous-bassins cénozoïques des Flandres et de Dieppe-Hampshire (Figure 18, Figure 19, et Figure 20). Ce haut et les structures qui le composent sont orientés ONO-ESE. Cette structuration est héritée des structures de socle du front nord de la chaîne varisque, qui s'est développée à la fin du Paléozoïque (Dévonien-Carbonifère – 380-290 Ma), et qui ont été réactivées en inversion au cénozoïque à partir du Bartonien-Priabonien. Certaines de ces failles montrent une activité sismogène récente (Mansy et al., 2003 ; Lagarde et al., 2003 ; Jollivet-Castelot et al., In prep.).

Vers le sud, les terrains sont peu déformés et montrent une large synforme mise en évidence par les contours du bassin de Dieppe-Hampshire (Figure 18 et Figure 20).

Au sud-est, au niveau du Pays de Caux (Figure 20 et Figure 21), la faille de Fécamp se prolonge en mer selon une direction NO-SE, puis se réoriente en E-O au nord de la Baie de Seine (« Faille Nord Baie de Seine »). Un réseau de failles connectées prend le relais vers le SO, puis se réoriente en E-O, une dizaine de kilomètres au nord du Cotentin (« Faille du Cotentin »), puis se connecte à un accident OSO-ENE depuis le nord d'Aurigny, le long du flanc sud de la Fosse Centrale (Figure 21 et Figure 23). Une autre faille d'orientation similaire est retrouvée au nord de la Fosse Centrale (Figure 23), longeant la bordure de la zone MEMN. Cette succession d'accidents tectoniques est également héritée des phases tectoniques antérieures qui ont structuré le socle armoricain, et constitue la limite septentrionale du domaine armoricain varisque. Ces failles présentent également une activité sismogène récente.

Le domaine de socle armoricain est affecté par de nombreuses déformations dont les principales sont d'orientation NE-SO, comme visible le long du littoral manchois (Figure 22). La cartographie montre que ces accidents de socle associés aux orogénèses cadomienne (750-540 Ma) et varisque (380-290 Ma), semblent traverser le Bocage, le Cotentin et le Bessin (Faille de Granville-Cancale, Faille de Coutances, ...), pour être retrouvés en Baie de Seine, affectant les séries méso-cénozoïques. Cette observation conforte le caractère hérité des failles ayant joué pendant l'orogénèse pyrénéenne et ayant encore une activité sismogène actuellement.

## 5. Lithologies du substratum rocheux

Du point de vue géologique, les terrains présents sur la zone MEMN 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 dans le Bassin Anglo-Parisien et ses sous-bassins.

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<sup>ème</sup> (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 24).

Lithostratigraphie du socle du Massif Armoricain

- PRECAMBRIEN
  - o Protérozoïque
    - Paléoprotérozoïque
      - Il s'agit des roches « icartiennes », présentes au Cap de la Hague, sous la forme de **gneiss ortho- et paradérivés**.
    - Néoprotérozoïque (640 – 550 Ma – orogénèse Cadomienne)
      - Le Briovérien (b) est une épaisse série volcano-sédimentaire déformée et faiblement métamorphique, sauf à proximité des intrusions « granitiques » où un métamorphisme de contact a généré des cornéennes. On y retrouve des roches volcaniques (**basaltes, pyroclastites, tuffites**) de l'arc insulaire (acides et basiques) et des **schistes et grès de type flysch**. Il est présent au nord et à l'est du Cotentin, et plus au sud, depuis Agon-Coutainville, jusqu'à la Baie du Mont-Saint-Michel. Au sud de Chausey, la présence de **paragneiss migmatitiques** à protolithe briovérien est suspectée dans le prolongement de l'unité de Saint-Malo (zone NAMO).
      - **Granites, granodiorites et leucogranites** mancelliens (2-3 ; Chausey, Mont-Saint-Michel, Cap de la Hague) intrusifs dans les séries du Briovérien (auréole de métamorphisme de contact). Ces intrusions plutoniques présentent une altération pouvant mener à la formation **d'arène granitique**.

# CHARTe CHRONOSTRATIGRAPHIQUE INTERNATIONALE

v 2023/09

Commission Internationale de Stratigraphie

www.stratigraphy.org

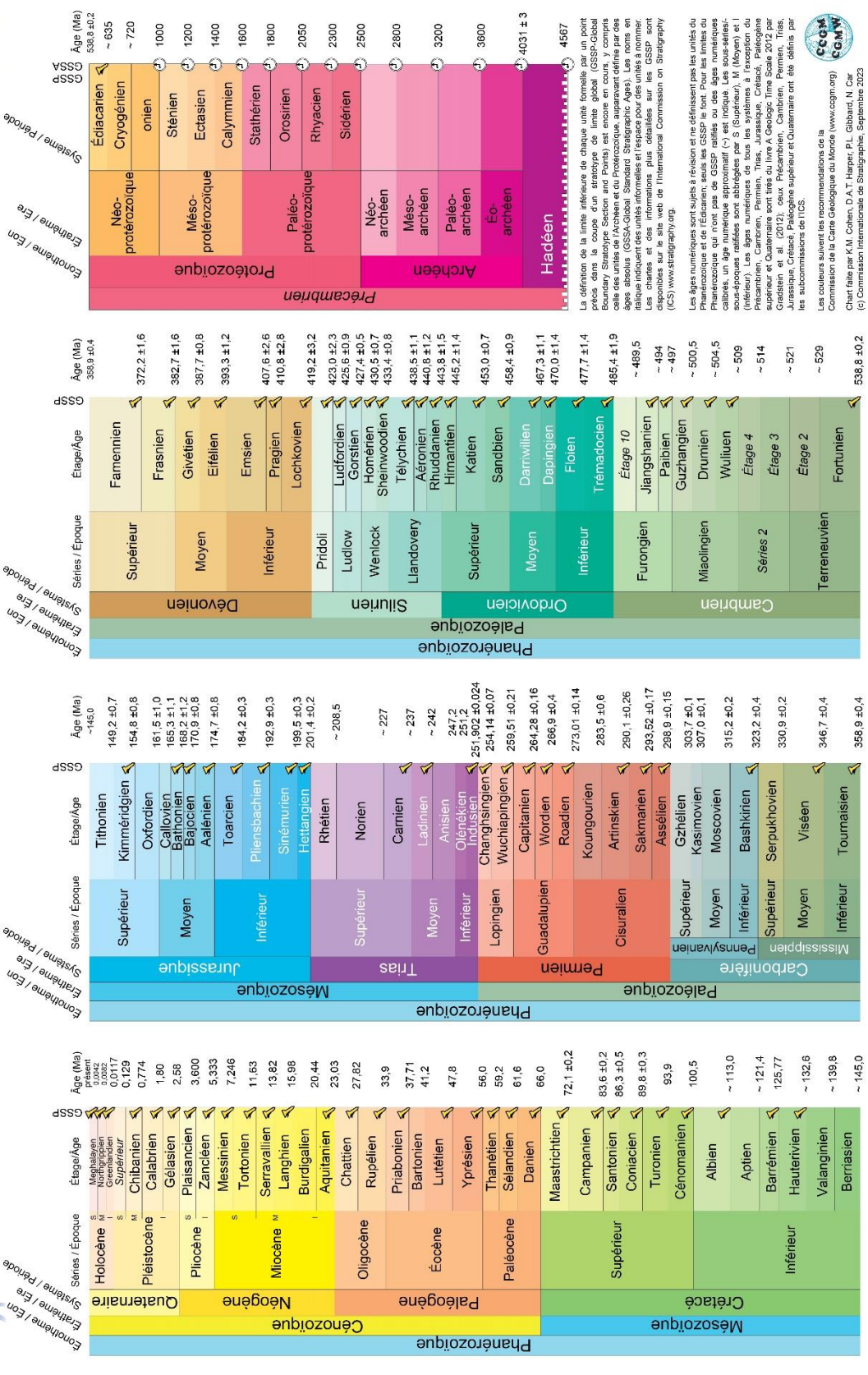


Figure 24 : Charte chronostratigraphique internationale (ICS, 2023).

- 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 à l'ouest du Cotentin, du Cap de la Hague à Agon-Coutainville. Il apparaît également dans une fenêtre, à l'ouest de Guernesey mais son attribution est incertaine, le BGS proposant un âge dévonien.
    - L'Ordovicien (o) continue l'alternance de **grès et schistes** et affleure en mer à l'ouest du Cotentin, où il est associé au Silurien (os). Il est également retrouvé sous forme de pointements en Baie de Seine (Iles Saint-Marcouf).
    - Le Silurien est présent localement dans le Cotentin, sous la forme de **schistes ampéliteux**, et est associé à l'Ordovicien en mer (os).
    - Le Dévonien (d) est présent dans l'ouest du Cotentin autour du granite de Flamanville et plus au sud jusqu'à Lessay sous la forme de **grès et calcaires**. Il est documenté en mer entre Cotentin et Iles Anglo-Normandes.
    - **Granites** carbonifères (varisques/hercyniens) de Barfleur et Flamanville se mettent en place lors de l'orogénèse varisque vers 320 Ma. Si le granite de Barfleur affleure largement en mer au NE du Cotentin, celui de Flamanville n'est pas documenté au large.
    - Le Carbonifère et le Permien sédimentaires sont présents à terre mais n'ont pas été retrouvés en mer. Une occurrence associée au permo-trias (rt) est indiquée au nord de la Fosse Centrale.
  - Mésozoïque
    - Le Trias est présent à l'est du Cotentin et se prolonge en mer en bordure ouest de la Baie de Seine le long du granite de Barfleur. Il est constitué de **poudingues, grès, et argilites**.
    - Le Jurassique est retrouvé à plusieurs endroits sur l'ensemble de la zone MEMN.
      - A l'est, le Jurassique supérieur est affleurant ou sub-affleurant sous les bancs sableux à la faveur des structures tectoniques, qui constituent le haut structural Weald-Artois. Il est retrouvé au large entre le Cap Gris-Nez et le Touquet, et correspond à une alternance de **grès, argilites, et calcaires**.
      - Une série jurassique quasi-complète (Jurassique inférieur (Hettangien) à supérieur (Kimméridgien-Tithonien)) affleure sur le secteur Baie de Seine, dont elle constitue l'essentiel du substratum rocheux entre l'est-Cotentin et le Bec de Caux.
        - Le *Jurassique inférieur* est présent entre le Cotentin et la paléovallée de la Vire, avec des lithologies de calcaires, marnes et argiles.
        - Le *Jurassique moyen* est présent entre les paléovallées de la Vire et de la Seine, avec des lithologies dominées par les **calcaires** et quelques formations **marneuses**.

- Le Jurassique supérieur est présent entre la paléovallée de la Seine et le Bec de Caux, avec des lithologies de **calcaires, marnes et argilites**. Au nord de la Baie de Seine, il est recouvert en discordance par les séries du Crétacé.
- Au nord de la Baie de Seine et du Cotentin, une structure tectonique est-ouest fait remonter une série jurassique quasi-complète à l’affleurement depuis le NO du Cotentin (Jurassique inférieur) jusqu’à une quarantaine de kilomètres au NO de Fécamp (Tithonien). La succession est moins documentée mais les lithologies sont équivalentes à celles retrouvées en Baie de Seine (**Calcaires, marnes, argilites**). La série est partiellement recouverte par le remplissage des fosses et des paléovallées.
- Plus à l’ouest, le long de la limite France - Royaume-Uni de la MEMN, les failles NE-SO font également remonter la série jurassique (inférieur à moyen) sur le fond marin. Les lithologies d’**argilites, grès et calcaires** sont documentées. La série est partiellement recouverte par le remplissage de la Fosse Centrale.
- Le Crétacé est retrouvé à plusieurs endroits sur l’ensemble de la zone MEMN.
  - A l’est, le Crétacé est affleurant ou sub-affleurant sous les bancs sableux à la faveur des structures tectoniques, qui constituent le haut structural Weald-Artois.
    - Le Crétacé inférieur (intervalle Barrémien-Albien) est retrouvé au large, au cœur du haut Weald-Artois, entre Cap Blanc-Nez et Le Touquet, entouré stratigraphiquement et cartographiquement par le Jurassique supérieur et Crétacé supérieur. Les lithologies correspondent à une alternance de **grès, siltites, argilites, et marnes** plus ou moins indurés.
    - Le Crétacé supérieur (intervalle Coniacien-Campanien à Maastrichtien possible) est retrouvé de part et d’autre du haut structural Weald-Artois, entouré stratigraphiquement et cartographiquement par le Crétacé inférieur et le Cénozoïque des bassins des Flandres et de Dieppe-Hampshire. Les lithologies rencontrées sont les **craies glauconieuses, craies marneuses et craie blanche à silex**.
  - De la Baie de Somme au Pays de Caux (est de la Faille de Fécamp), le Crétacé supérieur est présent sur le pourtour du Bassin de Dieppe-Hampshire. Au nord du 50<sup>ème</sup> parallèle, il se prolonge vers l’ouest, jusqu’au nord du Cap de la Hague à la faveur d’une structure E-0. Il y présente les mêmes lithologies **craies**. Il surmonte le Crétacé inférieur **argilo-sableux** présent au sud et localement recouvert par le remplissage des fosses et paléovallées.

- A l'ouest du Pays de Caux (ouest de la faille de Fécamp), le Crétacé supérieur **crayeux** surmonte le Crétacé inférieur apto-albien **argilo-sableux**.
- Au nord de la Baie de Seine et du Cotentin, le Crétacé supérieur **crayeux** se prolonge directement en discordance sur les terrains jurassiques à l'est, puis paléozoïques et protérozoïques au nord du Cotentin. Ici, le Crétacé supérieur est préservé de façon pelliculaire et discontinue. Le Crétacé inférieur n'est plus présent vers l'ouest au sein de la zone MEMN.
- Vers l'ouest le Crétacé supérieur crayeux est retrouvé en discordance sur le jurassique inférieur à moyen (et sur le paléozoïque en fenêtre à l'ouest de Guernesey). Il est surmonté en discordance par les dépôts cénozoïques.
- Le Cénozoïque
  - Sur la zone MEMN, le Cénozoïque est représenté majoritairement par les terrains paléogènes (e1, e2, g (Paléocène-Eocène-Oligocène)).
    - A l'extrémité est de la MEMN, en Mer du Nord, la série paléogène (Paléocène-Eocène inférieur – e2) du bassin des Flandres repose en discordance sur le Crétacé supérieur. Le Paléogène est **argilo-sableuse** à la base (Paléocène – Thanétien) et est rapidement dominé à l'est par les **argiles** (Yprésien), et ce jusqu'à la frontière belge.
    - Au sud du Haut Weald-Artois, le Cénozoïque est préservé au sein de la synforme du Bassin Dieppe-Hampshire. La série est plus complète et repose en discordance sur le Crétacé supérieur. Elle inclue le Thanétien **sableux** (e1), l'Yprésien **argileux** (e1), le Lutétien **calcaire** (e2), et le Bartonien **sableux** (e2). Le Priabonien (Eocène terminal) n'est pas documenté dans les eaux françaises du bassin de Dieppe-Hampshire.
    - Au nord de la Baie de Seine, une autre synforme orientée E-O préserve une série identique à celle du Bassin Dieppe-Hampshire (Thanétien à Bartonien – e1-e2).
    - A une cinquantaine de kilomètres au nord du Cotentin, la base de la série cénozoïque (Thanétien-Yprésien) est également préservée dans la synforme E-O du Bassin Centre-Manche et présente des lithologies sablo-argileuses.
    - Le Lutétien (e2) **calcaire** (faluns) est retrouvé sous forme de reliques, en discordance sur le Mésozoïque, à une dizaine de kilomètres au nord du Cap de la Hague.
    - Dans le Golfe Normand-Breton, le Lutétien (e2) **calcaire** est également identifié en discordance sur le Paléozoïque et le Protérozoïque, sous forme de reliques, dont l'extrémité est du Bassin des Ecréhous et à l'est de des Iles Chausey.
    - A l'ouest des Iles Anglo-Normandes, le Cénozoïque est en discordance sur les formations protérozoïques à mésozoïques. Au nord de la Fosse Centrale, la série



commence par les **craies** de la base du Paléocène (e1 - Danien). Il est surmonté directement par les **calcaires** lutétiens et bartoniens (e2). Au sud de la Fosse Centrale, la série commence dans le Lutétien **calcaire** (e2) qui couvre la majeure partie de cette zone sur une épaisseur pouvant avoisiner les 200 mètres. Le Bartonien **calcaire** (e2) est caractérisé par de rares prélèvements. Enfin, l'Oligocène est documenté à 30 km à l'ouest de Jersey où il est représenté par des argiles vertes (Andreieff et Lefort, 1972)

- Le Néogène (Miocène-Pliocène) est suspecté, notamment dans le remplissage de fosses. Il n'a jamais été prélevé, hormis des faluns du Miocène moyen (Langhien-Serravalien), sous forme de reliques, sur le platier du littoral ouest du département de la Manche (Gouville-sur-Mer).

## 6. Données géologiques et géophysiques

Dans cette section, les données géologiques et géophysiques disponibles auprès du BRGM et de ses collaborateurs sont présentées. Elles correspondent aux données sismiques et de prélèvements acquis 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

Quatorze campagnes d'acquisition sismiques sont décrites dans la Table 1 et leurs plans de positions présentés en Figure 25. 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). Le système de détection des ondes réfléchies utilise un seul hydrophone ou groupe d'hydrophones (monotrace). 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.

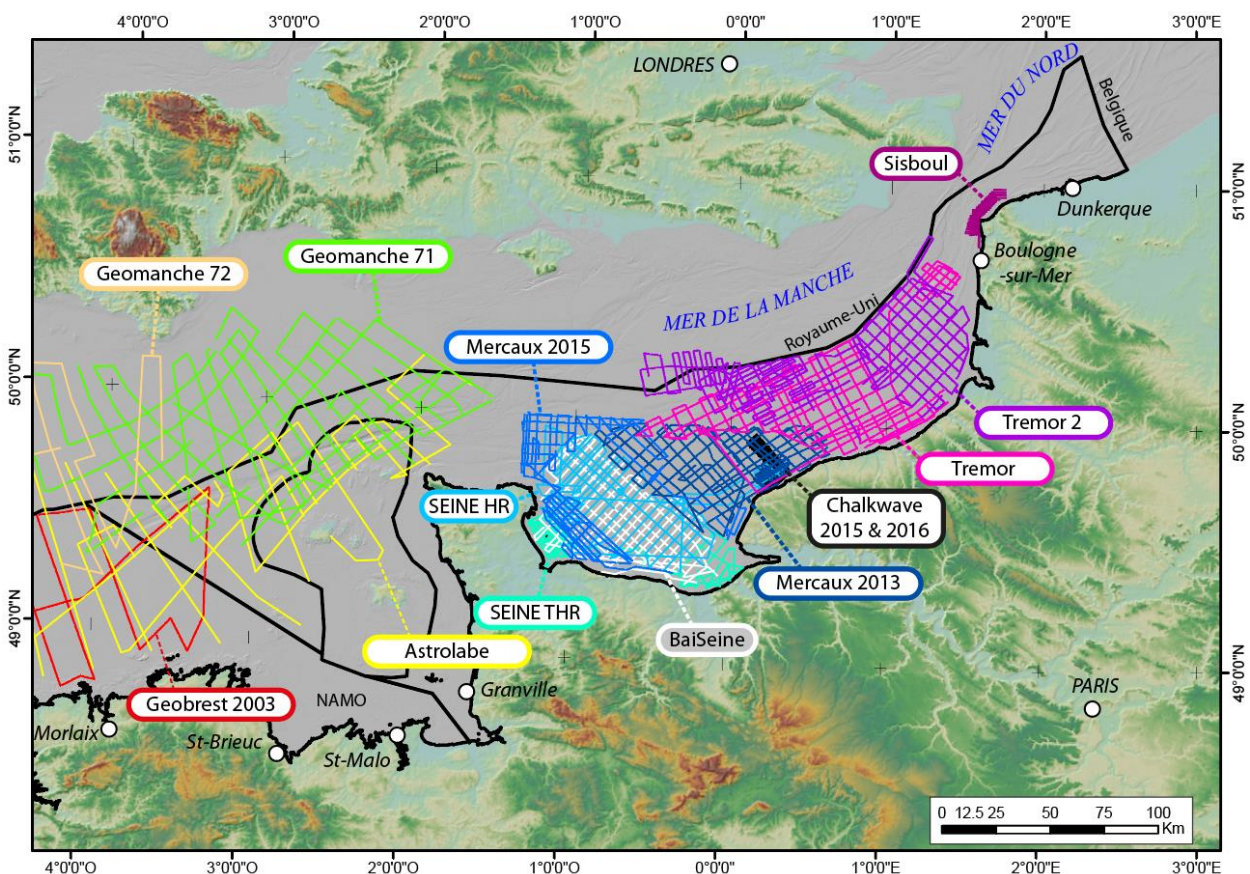


Figure 25 : Carte de distribution des campagnes sismiques disponibles en versions numériques et papiers (scans) auprès du BRGM, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Campagne	Année	Navire	Type de sismique	Chef de mission	Chef de mission Institution	Référence
<b>Données sismique et navigation au format papier et/ou scan</b>						
Astrolabe	1970	Astrolabe	Sparker monotrace	G. Boillot	Université de Rennes	/
Géomanche 71	1971	NO Le Noroit	Sparker monotrace	R. Horn	BRGM	<a href="https://doi.org/10.17600/71000111">https://doi.org/10.17600/71000111</a>
Géomanche 72	1972	NO Le Noroit	Sparker monotrace	P. Bouysse	BRGM	<a href="https://doi.org/10.17600/72002511">https://doi.org/10.17600/72002511</a>
<b>Données sismiques et navigation en format numérique (segy, shp, ... )</b>						
Sisboul	1996	NO Côte d'Aquitaine	Sparker monotrace	J.-M. Proust	Université de Rennes	<a href="https://doi.org/10.17600/96410190">https://doi.org/10.17600/96410190</a>
Géobrest 2003	2003	NO Côte de la Manche	Sparker monotrace	P. Le Roy	Univ. De Bretagne Occidentale	<a href="https://doi.org/10.17600/3480150">https://doi.org/10.17600/3480150</a>
BaiSeine	2007	NO Côte d'Aquitaine	Sparker monotrace	B. Tessier	Université de Caen	<a href="https://doi.org/10.17600/7410020">https://doi.org/10.17600/7410020</a>
SEINE THR	2008	NO Côte d'Aquitaine	Boomer monotrace	B. Tessier	Université de Caen	<a href="https://doi.org/10.17600/8410090">https://doi.org/10.17600/8410090</a>
SEINE HR	2008	NO Côte de la Manche	Sparker monotrace	P. Guennoc	BRGM	<a href="https://doi.org/10.17600/8480120">https://doi.org/10.17600/8480120</a>
Mercaux 2013	2013	NO Côte de la Manche	Sparker monotrace	F. Paquet	BRGM	<a href="https://doi.org/10.17600/13480060">https://doi.org/10.17600/13480060</a>
Tremor	2014	NO Côte de la Manche	Sparker monotrace	V. Gaullier	Université de Lille	<a href="https://doi.org/10.17600/14010400">https://doi.org/10.17600/14010400</a>
Mercaux 2015	2015	NO Thalia	Sparker monotrace	F. Paquet	BRGM	<a href="https://doi.org/10.17600/15010000">https://doi.org/10.17600/15010000</a>
Chalkwave 2015	2015	NO Thalia	Sparker monotrace	F. Paquet	BRGM	<a href="https://doi.org/10.17600/15017300">https://doi.org/10.17600/15017300</a>
Chalkwave 2016	2016	NO Thalia	Sparker monotrace	F. Paquet	BRGM	<a href="https://doi.org/10.17600/16006700">https://doi.org/10.17600/16006700</a>
Tremor 2	2017	NO Thalia	Sparker monotrace	F. Paquet	BRGM	<a href="https://doi.org/10.17600/17006700">https://doi.org/10.17600/17006700</a>

Table 1 : Description des campagnes sismiques réalisées sur la façade MEMN 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 MEMN et les zones adjacentes, la distribution des prélèvements est présentée en Figure 26. Elle est présentée par type de prélèvement (bennes, dragues, carottiers, sondages, ...).

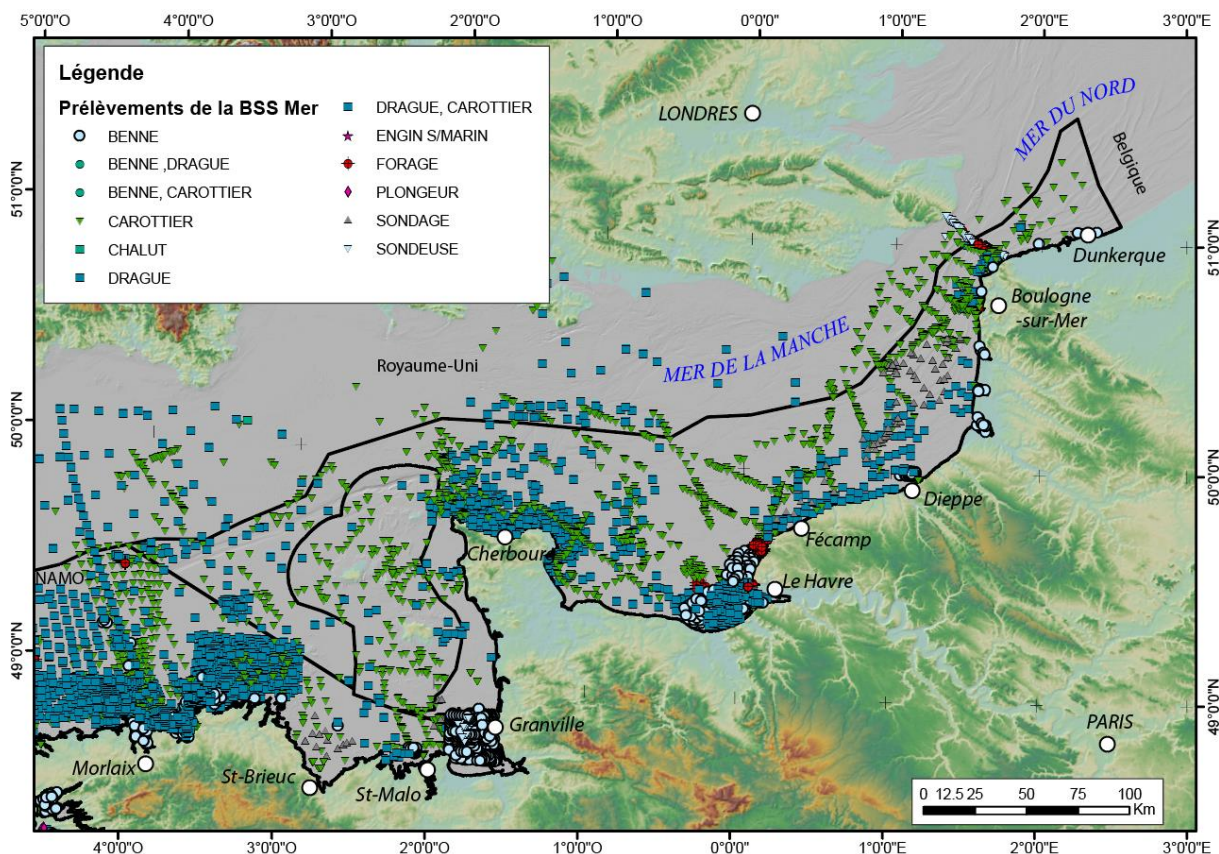


Figure 26 : Carte de distribution des prélèvements de la BSS Mer au niveau de la façade NAMO, différenciés par type d'engin de prélèvement, sur fonds bathymétrique (©EMODNet, 2022) et topographique (©GEBCO, 2023).

Sur l'emprise de la façade MEMN, la BSS Mer dispose de 4916 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, qui montre 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, Geomanche 71 et Geomanche 72). Le secteur Pas-de-Calais – Bassin des Flandres nécessiterait également d'être revisité.

### 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 27). Les données de puits sont intéressantes pour les lithologies, la lithostratigraphie, et les propriétés 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>).

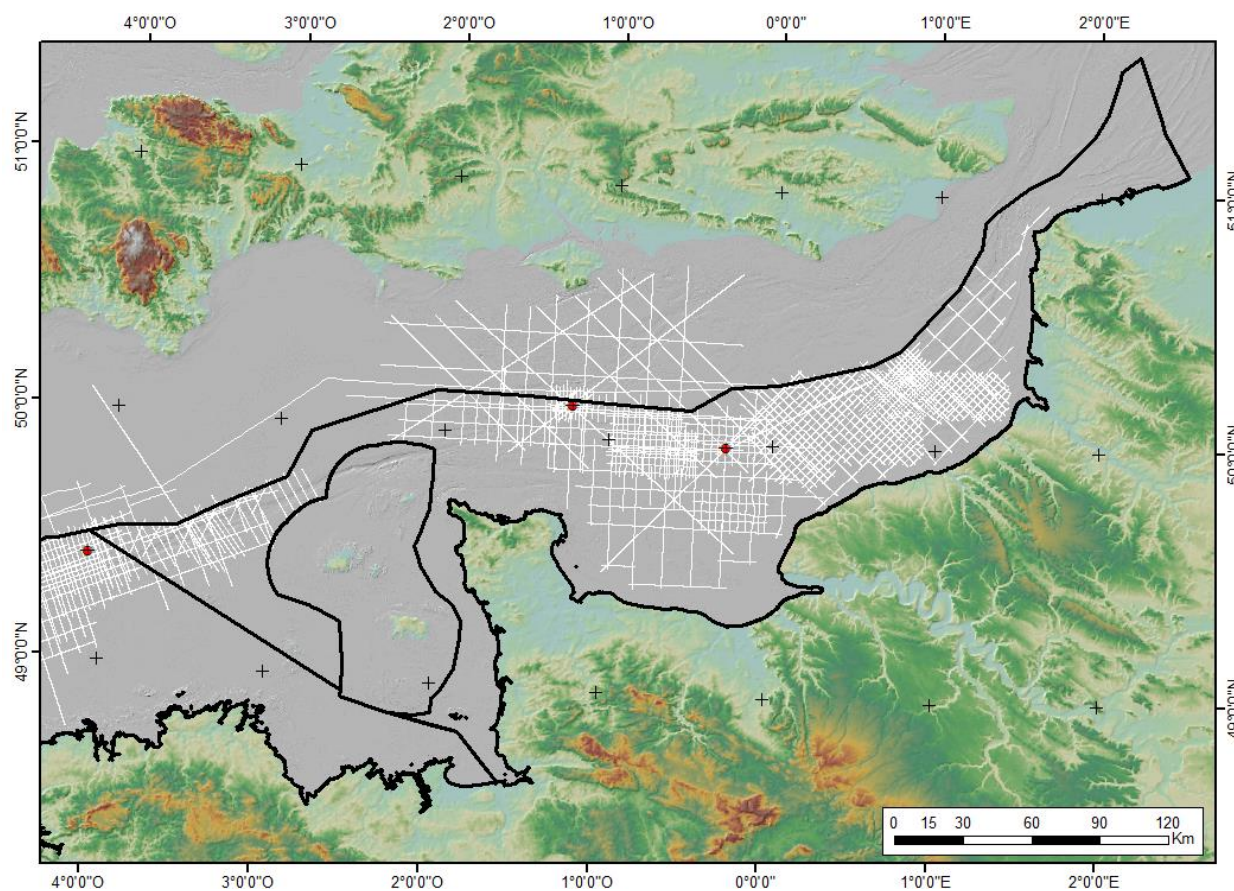


Figure 27 : Carte de positionnement des données sismiques (traits blanc) et des puits d'exploration (cibles rouges) relatifs aux recherches d'hydrocarbures et disponibles via le portail Minergies (<http://www.minergies.fr/fr>).

## 7. Références

- Alduc D. (1979). La Manche Orientale, étude géomorphologique du réseau des paléovallées. Mémoire de thèse de doctorat, Université de Caen, 146 p.
- Alduc D., Auffret J.-P., Carpentier G., Lautridou J.-P., Lefebvre D., Porcher M. (1979). Nouvelles données sur le Pléistocène de la basse vallée de la Seine et son prolongement sous-marin en Manche orientale. Bull. Info. Des Geol. Du Bassin de Paris, 16, p.27-33.
- 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.
- Auffret J.-P., Alduc D., Larsonneur C., Smith A.-J. (1980). Cartographie du réseau des paléovallées et de l'épaisseur des formations superficielles meubles de la Manche orientale. Ann. Inst. Océanogr., Paris, 56, 5, p. 21-35
- Auffret et Alduc (1982). La Manche orientale : carte des paléo-vallées et des bancs sableux (échelle 1/500 000 et notice explicative). Université de Caen, CNEXO, BRGM et CNRS.
- 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. (1979). Genèse et évolution de la croûte continentale dans le Nord du Massif Armoricaïn. Thèse d'Etat, Rennes, 680 pp.
- 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.
- British Geological Survey – Bureau de Recherches Géologiques et Minières (1988). 1:250,000 Series of Solid Geology maps: Sheet 50N00 Dungeness–Boulogne, British Geological Society, Keyworth, Nottinghamshire.
- Benabdellouahed M., Dugué O., Tessier B., Thinon I., Guennoc P., Bourdillon C. (2014). Nouvelle cartographie du substratum de la baie de Seine et synthèse géologique terre-mer : apports de nouvelles données sismiques et biostratigraphiques. Géologie de la France 1, 21–45.
- Berné S., Trentesaux A., Stolk A., Missiaen T. and De Batis M. (1994). Architecture and long term evolution of a tidal sandbank: the Middelkerke Bank (southern North Sea). Marine Geology, 121: 57-72.
- Bignot G., Hommeril P., Larsonneur C. (1968). Le lutetien au large du Cotentin. Mémoires du B.R.G.M. 58, 405-416.
- Boillot G., Horn R., et Lefort J.-P. (1979). 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.
- 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.

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

Carter D.J. et Destombes J.-P. (1979) Stratigraphie du Cénomaniens du Déroit du Pas-de-Calais. Colloque sur la géologie de la Manche, Mémoires du B.R.G.M. 79, 117-121.

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.

De Batist, M. and Henriët, J.P. (1995). Seismic sequence stratigraphy of the Palaeogene offshore of Belgium, southern North Sea. *Journal of the Geological Society of London*, 152, 27- 40.

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.

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/>

Giresse P., Hommeril P., Lamboy M. (1979). Résultats préliminaires d'une campagne de sismique réflexion dans le Golfe Normand-Breton. Colloque sur la géologie de la Manche, Mémoires du B.R.G.M. 79, 193-201.

Guennoc P., James J.W.C., Vinchon C., Simien F., Janjou D., Harrison M., Philpott S., Bee E., Garlan T., Trentesaux A., Le Bot S., Mahieux G., Briet D., Augris C. (2002). GEOSYNTH, Synthèse géologique du Pas de Calais. CD-Rom, BRGMBGS Ed.

Gupta S, Collier JS, García-Moreno D, Oggioni F, Trentesaux A, Vanneste K, De Batist M, Camelbeeck T, Potter G, Van Vliet-Lanoë B, Arthur JC. 2017. Two-stage opening of the Dover Strait and the origin of island Britain. *Nature Communications* 8. <https://doi.org/10.1038/ncomms15101>.

Graindor M.-J., Roblot M.-M. (1976) – Géologie sous-marine de la baie du Mont-Saint-Michel et de ses abords, 268 pages, 1 carte. Bulletin de la direction des études et recherches N°1/2 1976 EDF.

Groupe Norois (1979) Contribution à l'étude stratigraphique des terrains affleurant en Manche Centrale et Orientale. Colloque sur la géologie de la Manche, Mémoires du B.R.G.M. 79, 123-170.

Hamblin R.J.O., Crosby A., Balson P.S., Jones S.M., Chadwick R.A., Penn I.E., Arthur M.J. (1992). United Kingdom Offshore Regional Report: The geology of the English Channel, British Geological Survey. Ed. HMSO, London.

Hamilton D. and Smith A.J. (1972). The origin and sedimentary history of the Hurd Deep, English Channel, with additional notes on the other deeps in the Western English Channel. Colloque sur la géologie de la Manche, Mémoires du B.R.G.M. 79, 59-78.

Jollivet-Castelot M., Briais J., Paquet F., Lasseur E., Gaullier V., Thinon I., Chanier F., Averbuch O., Châteauneuf J.-J. (en cours) The onset of the Dieppe-Hampshire syncline: sedimentary record of Paleogene far-field deformations in the Eastern English Channel and routing system implications.

Kaci T. (2023). Tectonique du Nord-Ouest Cotentin par approche Terre-Mer et implications sismo-tectoniques. Thèse de doctorat, Université Le Havre Normandie. 249 p.

Lagarde J.-L., Amorese D., Font M., LaVille E., Dugué O. (2003). The structural evolution of the English Channel area. *Journal of Quaternary Science* 18, 201-213.

Larsonneur C. (1971). Manche centrale et baie de Seine. Géologie du substratum et des dépôts meubles. Géologie, Université de Caen, 394 p.

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 Bot S., Trentesaux A. (2004). Types of internal structure and external morphology of submarine dune under the influence of tide- and wind-driven processes (Dover Strait, northern France). *Marine Geology* 211, 143-168.

Le Gall J., Dissle, E. and Dupret L. (1986). Signification géodynamique des volcanismes briovériens dans le Nord-Est du Massif armoricain. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. 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>

Mansy J.-L., Manby G.M., Averbuch O., Everaerts M., Bergerat F., Van Vliet-Lanoe B., Lamarche J., Vandycke S. (2003). Dynamics and inversion of the Mesozoic Basin of the Weald–Boulonnais area: role of basement reactivation. *Tectonophysics* 373, 161–179.

Mathys M. (2009). The Quaternary geological evolution of the Belgian Continental Shelf, southern North Sea, PhD Thesis, Ghent University, Belgium.

Mellett C.L., Mauz B., Hodgson D.M., Plater A.J., Lang A., (2012). Optical dating of drowned landscapes: a case study from the English Channel. *Quaternary Geochronology* 10, 201–208.



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

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

Paquet F., Thinon I., Dugue O., Tessier B., Benabdellouahed M., Lasseur E., Briais J., Coueffe R., Guennoc P., Gaullier V. (2023). The Central English Channel troughs: major source-to-sink remnants or giant tidal scours? *Marine and Petroleum Geology* 153, doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106303

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.

Trentesaux A., Stolk A. and Berné S. (1999). Sedimentology and stratigraphy of a tidal sandbank in the southern North Sea. *Marine Geology*, 159, 253-272.

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](http://www.brgm.fr)



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**