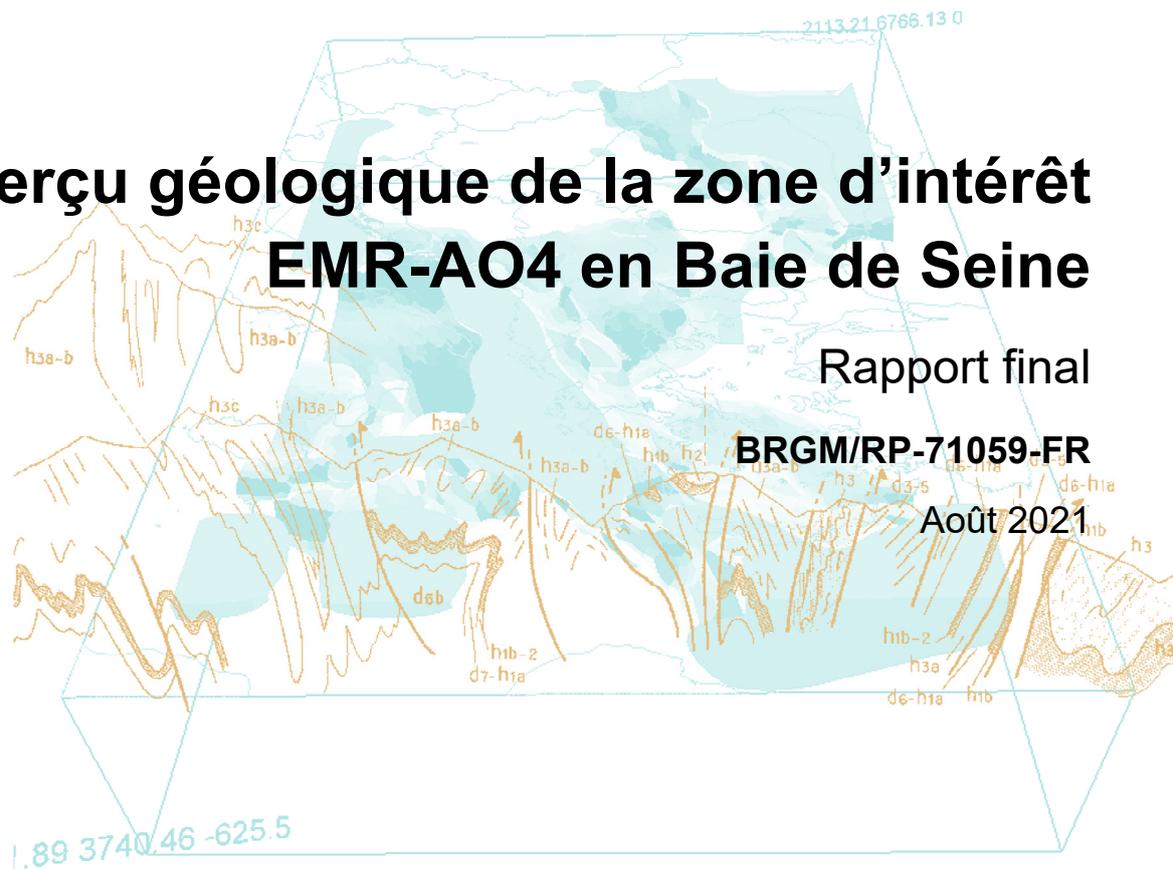


Aperçu géologique de la zone d'intérêt EMR-AO4 en Baie de Seine

Rapport final

BRGM/RP-71059-FR

Août 2021



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Aperçu géologique de la zone d'intérêt EMR-AO4 en Baie de Seine

Rapport final

BRGM/RP-71059-FR

Août 2021

F. Paquet

Vérificateur :

Nom : THINON Isabelle

Fonction : Expert géologue de l'unité
Géologie des Bassins Sédimentaires

Date : 21/08/2021

Signature :



Approbateur :

Nom : SERRANO Olivier

Fonction : Responsable de l'Unité
Géologie des Bassins Sédimentaires

Date : 25/08/2021

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.
Contact : qualite@brgm.fr

AVERTISSEMENT

Ce document constitue un livrable d'une prestation effectuée pour le compte de la Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGEC) aux termes du contrat signé AP21DGR057 / BDC 1510764980. La diffusion de ce document à des tiers par la DGEC est limitée aux candidats à l'appel d'offre n°4 pour l'éolien en mer.

Mots-clés : géologie marine, interprétation sismique, carte d'isohypse, Baie de Seine, Manche.

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

F. Paquet (2021) – Aperçu géologique de la zone d'intérêt EMR-AO4 en Baie de Seine BRGM / RP-71059, 36 p., 24 Fig.

Synthèse

Dans le cadre du quatrième appel d'offre de l'Etat Français pour l'éolien en mer, la Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGEC) du Ministère de la Transition Ecologique (MTE), a sollicité le BRGM pour produire une synthèse géologique sur une zone d'intérêt située au large du Cotentin à partir de l'interprétation des données géoscientifiques existantes (sismique réflexion marine très-haute-résolution (THR), échantillons, données bathymétriques). Ces interprétations ont été réalisées dans le cadre du programme de cartographie et de connaissance géologique du territoire nationale (RGF, projet plateau continental) de 2007 à 2018 mené par le BRGM.

Le présent rapport propose un aperçu géologique de la zone d'intérêt « Baie de Seine » telle que définie dans l'Appel d'Offre n°4 pour l'éolien en mer. Une rapide introduction sur le contexte géologique de la Manche apporte les informations élémentaires sur l'évolution géodynamique de la région.

Dix profils sismiques réflexion THR ont été sélectionnés pour la production de coupes interprétées et habillées en âges stratigraphiques, sur la base des travaux de cartographie géologique entrepris depuis 2011 par le BRGM sur le secteur Baie de Seine.

Des extraits de (i) la carte géologique de la Baie de Seine à 1/250 000 en cours de production et (ii) de la carte d'isohypses du toit du substratum induré (anté-néogène) sont également fournis.

Les unités stratigraphiques constituant le substratum des cents premiers mètres sont décrites selon les connaissances géologiques régionales disponibles. Les structures tectoniques principales structurant la Baie de Seine et traversant la zone d'intérêt sont également traitées.

Sommaire

1. Problématique et objet de la prestation	7
1.1. CONTEXTE ET ZONE D'INTERET	7
2. Synthèse géologique	9
2.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL	9
2.2. ACQUISITIONS ET TRAVAUX RECENTS SUR LA ZONE D'INTERET	14
2.3. GEOLOGIE DE LA ZONE D'INTERET « BAIE DE SEINE »	16
2.3.1. Coupes sismiques interprétées sur la zone d'intérêt	16
2.3.2. Carte géologique de la zone d'intérêt	21
2.3.3. Lithostratigraphie de la zone d'intérêt	23
a) Jurassique moyen à supérieur :.....	23
b) Crétacé inférieur :.....	24
c) Crétacé supérieur :.....	24
d) Paléogène :.....	24
e) Néogène :.....	26
f) Pléistocène :.....	26
2.3.4. Géologie structurale	27
2.3.5. Carte d'isohypses du toit du substratum anté-néogène	29
3. Conclusions	31
4. Bibliographie	33

Liste des figures

- Figure 1 : Carte figurant l'emprise de la zone d'intérêt « Baie de Seine » et sa zone d'exclusion, ainsi que les emprise des parcs du premier appel d'offre éolien en mer, sur fond de la carte bathymétrique de l'Europe (EMODnet, 2018). Trait de côte HISTOLITT® (@SHOM-IGN). Système de projection de la carte : UTM30N - WGS84. 7
- Figure 2 : Carte géologique simplifiée de la Manche d'après Chantraine et al. (2003). La géologie terre-mer du substratum anté-néogène et figurée, ainsi que les paléovallées avec indication des épaisseurs de leur remplissage sédimentaire (d'après Hamblin et al., 1992 et références). La zone d'intérêt « Baie de Seine » est figurée sous forme de polygones à contour noir. La ligne brisée A-B représente le tracé de la coupe géologique simplifiée (Figure 4). Figure modifiée d'après Paquet et al. (in prep).10
- Figure 3 : Cartes paléogéographiques reconstituées par Gibbard et Levin (2003) pour le Thanétien final, l'Yprésien, le Lutétien terminal – Bartonien, le Chattien, le Miocène moyen et le Pliocène terminal – Pléistocène inférieur (d'après Davis et Elliott, 1957 ; Bignot, 1972 ; Larssonneur, 1972 ; Pomerol, 1973 ; Plint, 1982 ; Gibbard, 1988 ; Murray, 1992 ; Anderton, 2000 ; J.-P.Lautridou, comm. pers. et F. Quesnel, comm. Pers.), 11
- Figure 4 : Coupe géologique synthétique simplifiée d'orientation générale nord-sud, depuis le nord de la Baie de Seine, jusqu'au sud de l'Angleterre (F. Paquet). Localisation de la coupe en figure 2. 12
- Figure 5 : Carte géologique simplifiée issue des travaux de doctorat de Benabdellouahed (2011) et Benabdellouahed et al. (2014). 14
- Figure 6 : Carte figurant les profils sismiques « sparker » des quatre campagnes BS07 (en bleu), BS08b (en violet), MX13 (en noir), et MX15 (en rouge), ainsi que l'emprise de la zone d'intérêt « Baie de Seine » et sa zone d'exclusion, sur fond de la carte bathymétrique de l'Europe (EMODnet, 2018). Trait de côte HISTOLITT® (@SHOM-IGN). Système de projection de la carte : UTM30N - WGS84 15
- Figure 7 : Profil sismique MX13_spk108 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas). Légende géologique développée en section 2.3.3. 20
- Figure 8 : Profil sismique MX13_spk101 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas). Légende géologique développée en section 2.3.3. 20
- Figure 9 : Profil sismique MX15_082 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas). Légende géologique développée en section 2.3.3. 20
- Figure 10 : Profil sismique MX13_spk097 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas). Légende géologique développée en section 2.3.3. 20
- Figure 11 : Profil sismique MX15_075 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas). Légende géologique développée en section 2.3.3. 20
- Figure 12 : Profil sismique MX13_spk095 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas). Légende géologique développée en section 2.3.3. 20

- Figure 13 : Profil sismique MX13_spk109 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas).
Légende géologique développée en section 2.3.3. 20
- Figure 14 : Profil sismique MX13_spk107 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas).
Légende géologique développée en section 2.3.3. 20
- Figure 15 : Profil sismique MX13_spk105 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas).
Légende géologique développée en section 2.3.3. 20
- Figure 16 : Profil sismique MX13_spk104 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas).
Légende géologique développée en section 2.3.3. 20
- Figure 17 : Extrait de la carte géologique à 1/ 250 000 – Feuille Baie de Seine (©BRGM - Paquet et al. - b, In prep). Légende géologique développée en section 2.3.3..... 22
- Figure 18 : Extrait de la carte géologique à 1/ 250 000 – Feuille Baie de Seine (©BRGM - Paquet et al. - b, In prep), figurant la zone d'intérêt « Baie de Seine » et la localisation des profils sismiques interprétés en section 2.3.1. Légende géologique développée en section 2.3.3..... 22
- Figure 19 : Coupe schématique de la stratigraphie reprenant les principales observations et éléments décrit dans la section 2.3.3. Modifiée d'après Dugué (2007), Deconinck et Baudin (2008), et Jollivet-Castelot et al., (in prep)..... 25
- Figure 20 : Coupe schématique d'une paléovallée montrant la distribution théorique des différents types et environnements de sédimentation dans une vallée incisée et les périodes associées à ces remplissages (Dalrymple and Choi, 2007). Le « LST » (lowstand System Tract) correspond au cortège de bas niveau marin, le « TST » (Transgressive Systemm Tract) correspond au cortège transgressif (remontée du niveau marin), et le HST (Highstand System Tract) correspond au cortège de haut niveau marin..... 27
- Figure 21 : Carte des domaines structuraux de la chaîne varisque tel que distribués dans leur configuration actuelle. Notez la limite entre les domaines Armoricaux et Léon-Saxo-Thuringien, qui correspond au tracé de la succession des failles Fécamp-Lillebonne, Nord Baie de Seine, et Ouessant-Aurigny (Ballèvre et al. ,2009) 28
- Figure 22 : Bloc diagramme tridimensionnel schématique vue du sud-ouest, illustrant la répartition des blocs nord et sud de part et d'autre de la Faille Nord Baie de Seine (FNBS) et de la Faille de Fécamp-Lillebonne (FFL), les configurations monoclinales (eg. Jurassique du bloc sud), et les plissements le long de la FNBS (Synclinal asymétrique de Baie de Seine). Echelle verticale non respectée. 29
- Figure 23 : Extrait de la carte d'isohypse du toit du substratum anté-néogène (MNT au pas de 200 m et courbes isohypses avec espacement de 10 m)..... 30
- Figure 24 : Extrait de la carte d'isohypse du toit du substratum anté- néogène (MNT au pas de 200 m et courbes isohypses avec espacement de 10 m), figurant la zone d'intérêt « Baie de Seine » et la localisation des profils sismiques interprétés en section 2.3.1.30

1. Problématique et objet de la prestation

1.1. CONTEXTE ET ZONE D'INTERET

Dans le cadre du quatrième appel d'offre éolien en mer, l'Etat français a défini une zone d'intérêt située au nord-ouest de la Baie de Seine, au large du Cotentin (Figure 1), dans laquelle pourra être localisée un futur parc éolien maritime. La Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGEC), du Ministère de la Transition Ecologique (MTE), a sollicité le BRGM pour produire une synthèse géologique autour de la zone d'intérêt « Baie de Seine ».

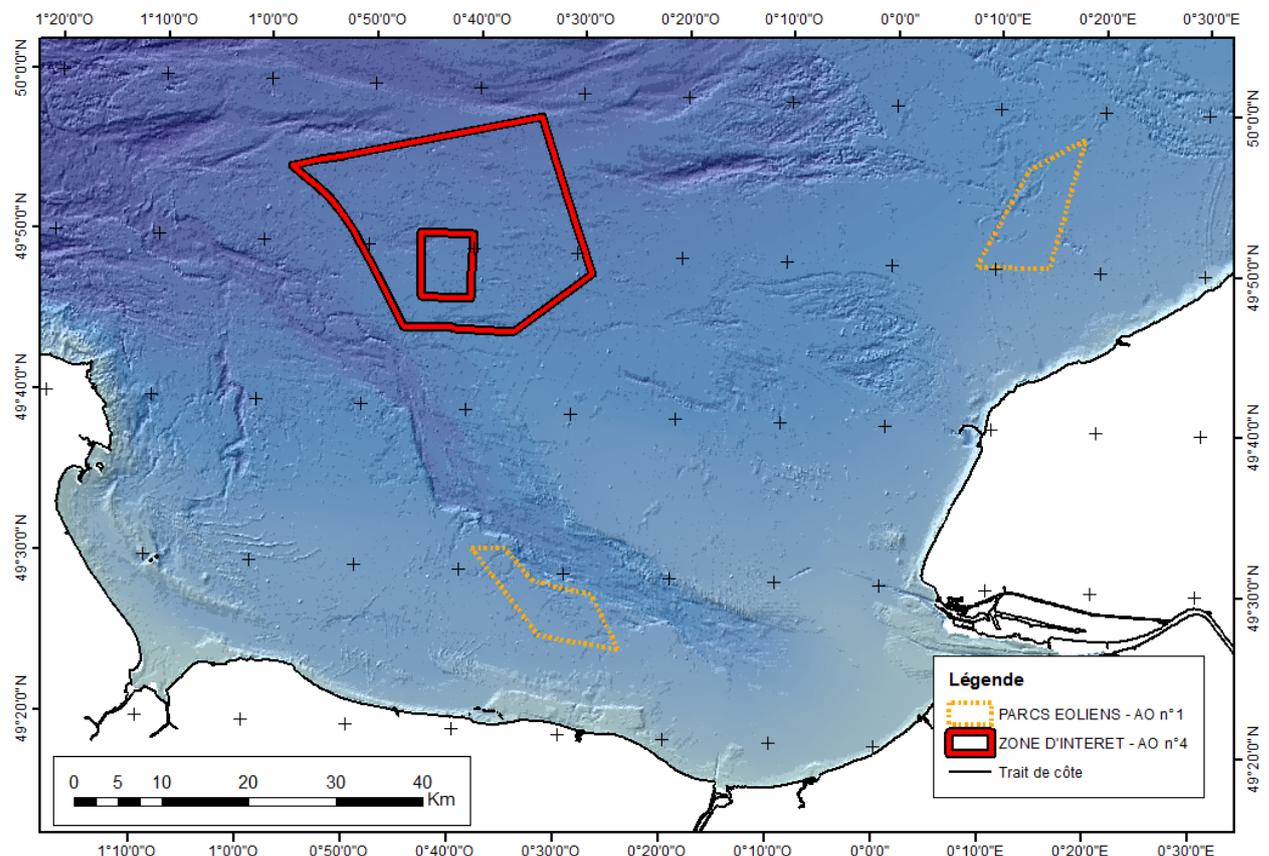


Figure 1 : Carte figurant l'emprise de la zone d'intérêt « Baie de Seine » et sa zone d'exclusion, ainsi que les emprises des parcs du premier appel d'offre éolien en mer, sur fond de la carte bathymétrique de l'Europe (EMODnet, 2018). Trait de côte HISTOLITT® (©SHOM-IGN). Système de projection de la carte : UTM30N - WGS84.

La zone d'intérêt « Baie de Seine » est située sur le plateau continental français, entre Manche Centrale et Manche Orientale. Cette région a fait l'objet de nombreuses études géologiques depuis plusieurs décennies, permettant d'en améliorer progressivement la connaissance géologique (Larsonneur, 1971 ; Dangeard, 1972 ; Groupe Norois, 1972 ; Larsonneur, 1972 ; Alduc 1979 ; Benabdellouahed, 2011...). Depuis 2007, le BRGM a entrepris de mettre à jour cette

connaissance en réalisant de nouvelles acquisitions sur le secteur Baie de Seine - Manche Orientale. Au niveau de la zone d'intérêt « Baie de Seine », quatre campagnes d'acquisition de données sismiques marines très haute-résolution (THR) « sparker » ont été acquises depuis 2007 dans le cadre de projets de recherches du BRGM et en collaboration avec le laboratoire UMR 6143 M2C (Morphodynamique Continentale et Côtière) à Caen. Les campagnes **BaiSeine** en 2007 (**BS07** – Tessier et Guennoc, 2007) et **Seine HR** en 2008 (**BS08b** – Guennoc, 2008) ont été effectuées dans le cadre de la thèse de doctorat de M. Benabdelouahed (2011) et du programme de cartographie géologique de la France (BRGM). Les campagnes **Mercaux 2013** (**MX13** – Paquet, 2013) et **Mercaux 2015** (**MX15** – Paquet, 2015) ont été effectuées par le BRGM dans le cadre du programme de recherche et de cartographie géologique du plateau continental de la France et du Référentiel Géologique de la France (RGF).

A ce jour, le BRGM dispose sur la zone Baie de Seine d'un jeu de données sismiques réflexion THR interprétées, d'une carte géologique à 1/250 000 en cours de production et d'une cartographie de la profondeur du toit du substratum induré anté-néogène, permettant de visualiser la base des incisions néogènes.

Sur la cinquantaine de profils sismiques THR présents dans l'emprise de la zone d'intérêt (Figure 6) la DGEC a sélectionné dix profils appartenant aux campagnes MX13 et MX15 (voir Tableaux 1 et 2) pour produire des coupes interprétées et habillées en stratigraphie.

Le BRGM propose également de fournir ici des extraits de la carte géologique et de la carte d'isohypses du toit du substratum, afin d'illustrer la synthèse géologique de la zone d'intérêt « Baie de Seine ».

2. Synthèse géologique

2.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL

La Mer de la Manche est un corridor maritime connectant l'Océan Atlantique à la Mer du Nord, entre le sud de l'Angleterre et le nord-ouest de la France.

Du point de vue géologique, la zone Manche a connu une histoire polyphasée, étant le lieu de nombreux événements géodynamiques depuis le milieu du Paléoprotérozoïque, incluant (i) le cycle orogénique icartien (autour de 2 Ga*), (ii) l'orogénèse Cadomienne (partie de l'orogénèse panafricaine, autour de 600 Ma*), et (iii) l'orogénèse varisque (anciennement « hercynienne » entre c. 420 et 300 Ma) (Inglis et al., 2004; Linnemann et al., 2014; Ballèvre et al., 2001; Ziegler, 1990).

Ces épisodes orogéniques sont entrecoupés de périodes de relaxation tectonique et de sédimentation. Au Néoprotérozoïque, une épaisse série silicoclastique (Briovérien) se dépose, qui sera profondément affectée par la déformation, le métamorphisme et les intrusions magmatiques du cycle cadomien. Suite à l'effondrement de la chaîne cadomienne, la sédimentation reprend du Cambrien au Dévonien. Ces dépôts seront à leur tour affectés par la déformation tectonique (plissements, failles) lors du cycle orogénique varisque, qui dure du Dévonien au Carbonifère. Ce cycle imprimera également sa déformation dans les séries sous-jacentes du Briovérien, et quelques intrusions magmatiques se mettront en place (granites de Flamanville et de Barfleur). L'orogénèse varisque est caractérisée par l'amalgame de plusieurs micro-continent (Armorica, Iberia, Bohemia) aux continents principaux (Avalonia, Laurentia, Baltica, Gondwana), créant des zones de sutures et de déformations tectoniques profondes, qui structureront de façon significative le socle de l'Europe de l'ouest (Ziegler, 1990; Ballèvre et al., 2009). Ces structures crustales profondes varisques délimiteront ainsi des blocs crustaux et seront réactivées en tant que structures héritées au cours des événements tectoniques ultérieurs (Guillocheau et al., 2000; Ballèvre et al., 2009; Averbuch and Piromallo, 2012; Briais et al., 2016). Ainsi, à la fin du Paléozoïque (fin Carbonifère – Permien), elles joueront un rôle lors de l'effondrement de la chaîne varisque. La phase suivante correspond à une période de subsidence sur l'ensemble de l'ouest européen, donnant lieu à la formation d'un bassin sédimentaire intracratonique, le Bassin Anglo-Parisien (Ziegler, 1990). Ce bassin évolue du Trias (début du Mésozoïque) au Néogène (fin du Cénozoïque) et enregistre une série d'événements géodynamiques, qui affectent la plaque européenne et ses marges :

- Extension jurassique et ouverture de l'Océan Atlantique et du Golfe de Gascogne au Jurassique et au Crétacé.
- Raccourcissement lors des phases orogéniques Pyrénéennes (Bartonien-Oligocène) et Alpines (Oligo-Miocène).

Les phases de raccourcissement paléogènes et néogènes sont caractérisées dans le bassin, par l'inversion des structures du Weald-Artois, du Bray, de Portland-Wight, de la Manche Centrale, de Fécamp-Lillebonne, (...) héritées du varisque (Lagarde et al., 2003). Ces événements géodynamiques façonneront la géologie de la Manche telle qu'elle est connue aujourd'hui (Figure 2).

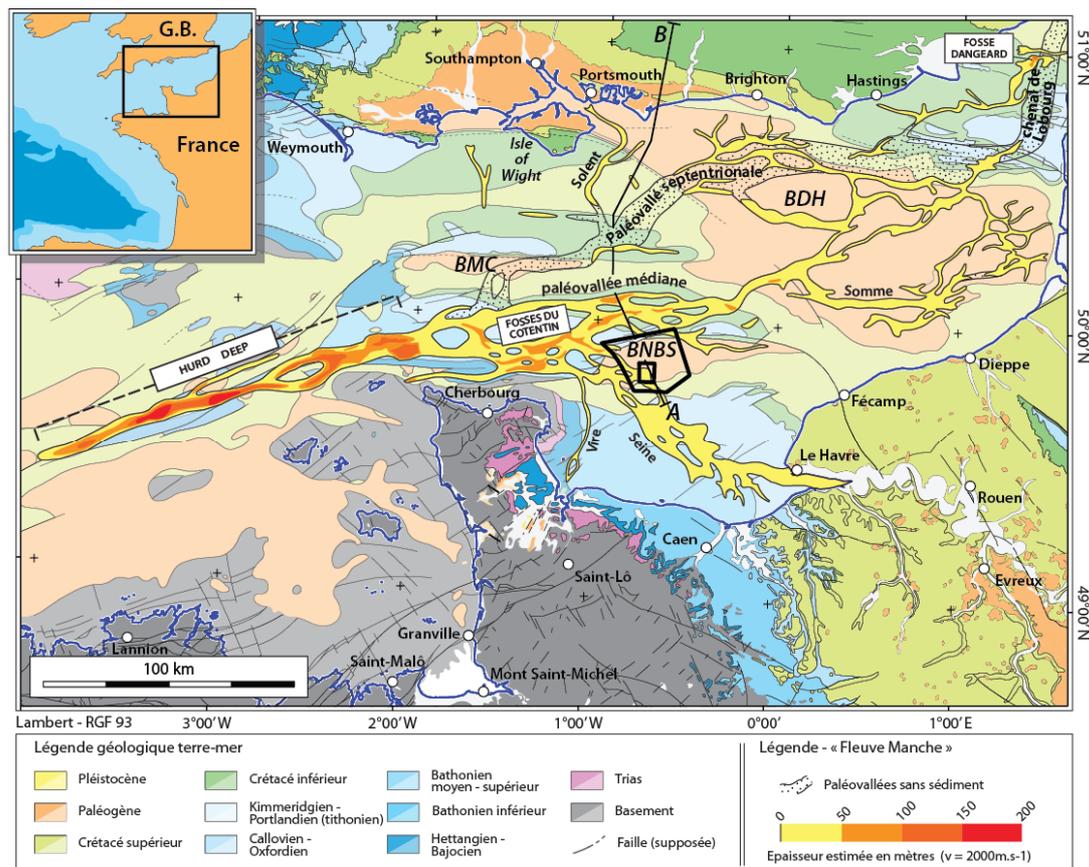


Figure 2 : Carte géologique simplifiée de la Manche d'après Chantraine et al. (2003). La géologie terre-mer du substratum anté-néogène est figurée, ainsi que les paléovallées avec indication des épaisseurs de leur remplissage sédimentaire (d'après Hamblin et al., 1992 et références). La zone d'intérêt « Baie de Seine » est figurée sous forme de polygones à contour noir. La ligne brisée A-B représente le tracé de la coupe géologique simplifiée (Figure 4). Figure modifiée d'après Paquet et al. (in prep).

Si les dépôts du Mésozoïque (Trias, Jurassique, et Crétacé) couvrent encore de vastes domaines de l'ouest européen, et souvent distribués en auréoles concentriques (Trias sur les bordures de bassins et Crétacé supérieur au cœur), les dépôts cénozoïques ne sont préservés en Manche Orientale et Centrale qu'au sein de sous-bassins de moindre extension. Les études du remplissage paléogène de ces bassins ont néanmoins montré que les aires de sédimentation étaient plus étendues et que l'aspect actuel « fragmenté » des sous-bassins cénozoïques est le résultat du jeu des structures héritées (King, 2016, Gibbard et Lewin, 2003 ; Figure 3). En effet, les bassins cénozoïques de Dieppe-Hampshire (dont Île de Wight), Nord-Baie de Seine, ou Centre Manche correspondent à des synclinaux asymétriques situés le long des principales structures inversées et ayant permis la préservation des dépôts (Figure 4).

Les tendances sédimentaires du Bassin intracratonique de Paris évoluent au cours du temps. Sa série sédimentaire mésozoïque débute par des dépôts principalement silicoclastiques au Trias, suivi par des alternances à dominantes marneuse et calcaires lors du Jurassique. Le Crétacé inférieur est caractérisée par une épaisse série silicoclastique argilo-sableuse de plaine d'inondation et de plaine côtière (faciès wealdien) du Berriasien au début de l'Aptien. Une transgression s'opère de l'Aptien à l'Albien et se termine par l'inondation généralisée du Bassin Anglo-Parisien pour former la mer de la craie. Ce contexte perdure sur l'ensemble du Crétacé supérieur, qui se caractérisera par une sédimentation crayeuse.

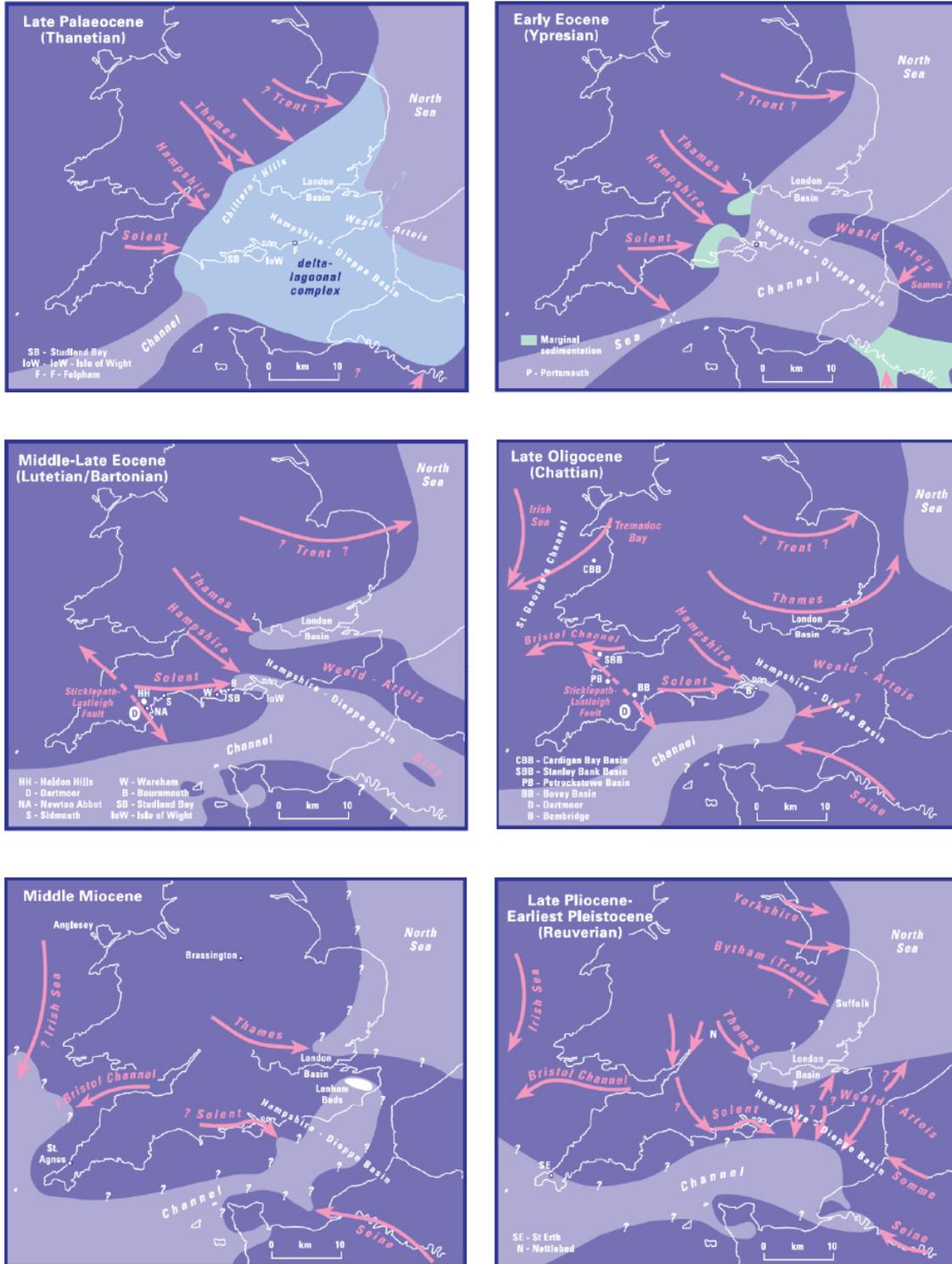
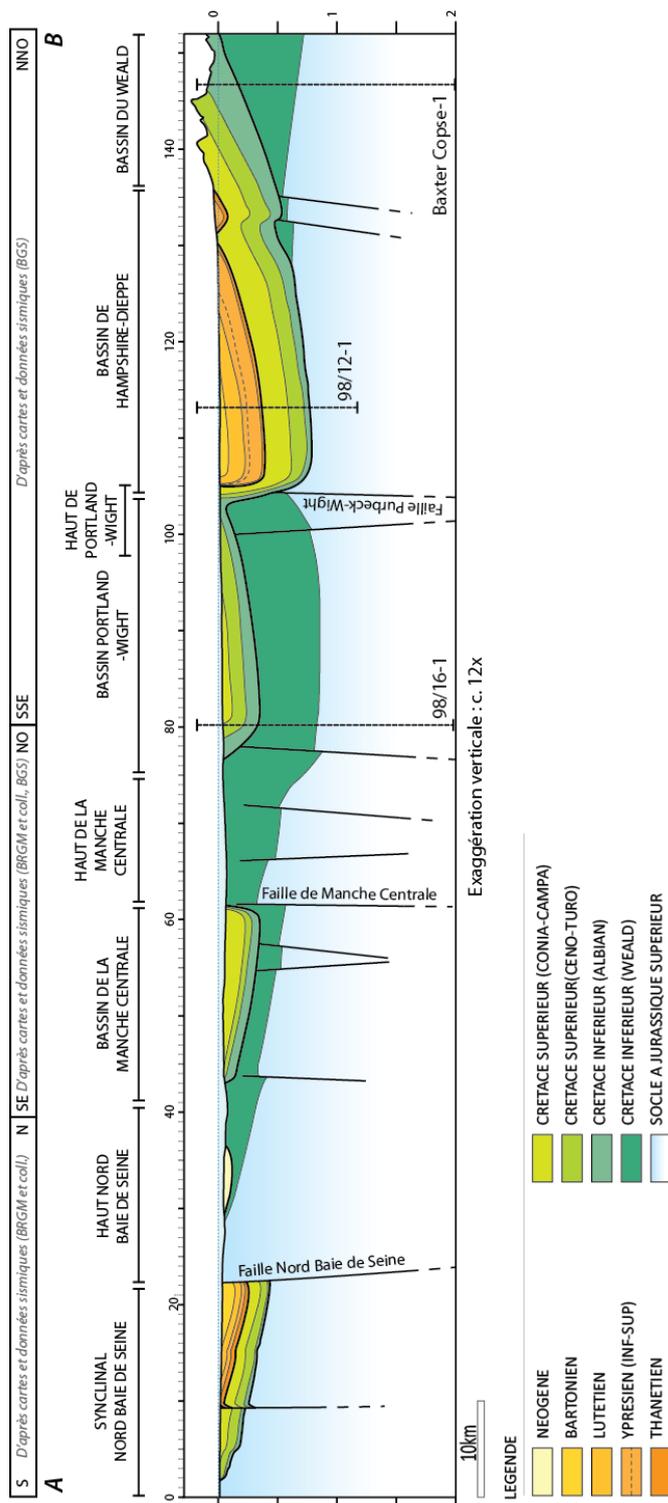


Figure 3 : Cartes paléogéographiques reconstituées par Gibbard et Lewin (2003) pour le Thanétien final, l'Yprésien, le Lutétien terminal – Bartonien, le Chattien, le Miocène moyen et le Pliocène terminal – Pléistocène inférieur (d'après Davis et Elliott, 1957 ; Bignot, 1972 ; Larssonneur, 1972 ; Pomerol, 1973 ; Plint, 1982 ; Gibbard, 1988 ; Murray, 1992 ; Anderton, 2000 ; J.-P.Lautridou, comm. pers. et F. Quesnel, comm. Pers.),



A la fin du Crétacé supérieur, la convergence Afrique-Eurasie s'accompagne de la réactivation des structures crustales, par une réorganisation paléogéographique, par un changement de la sédimentation, et par des hiatus de non-dépôt/érosion, qui continuent dans le Paléocène, (Guillocheau et al. 2000).

La série sédimentaire cénozoïques préservée en Manche s'étend du Thanétien (Paléocène terminal), reposant en discordance sur le Crétacé supérieur, jusqu'au Rupélien (Oligocène inférieur) au cœur du synclinal de l'Île de Wight (Hamblin et al., 1992 et références incluses), et dans le Cotentin (Dugué et al., 2009). Cette distribution suggère une étendue plus vaste du Rupélien, ultérieurement érodé. Le hiatus d'érosion et de non dépôt décrit du Chattien (Oligocène supérieur) au Miocène moyen résulte également des mouvements de surrections liés à l'inversion généralisée et de l'érosion associée. La reprise de sédimentation au Miocène moyen à supérieur est attestée à terre par la présence de faluns dans le Cotentin et à Fécamp (Dugué et al., 2009). Cependant le Miocène n'a pas été reconnu en mer à ce jour. Les reconstitutions paléogéographiques proposent que les dépôts de la fin de l'Oligocène et du Miocène se soient concentrés dans les corridors marins étroits (Figure 3 ; Gibbard and Levin, 2003 – références incluses). La distribution des dépôts pliocènes et pléistocènes inférieurs est restreinte aux zones de dépressions morphologiques, suivant la logique Miocène et préfigurant également le paysage moderne (Dugué, 2003; Jamet, 2015). Ainsi, au cours du Pléistocène moyen à supérieur, les fluctuations du niveau marin associées aux alternances glaciaires-interglaciaires vont faire osciller le paysage de la Manche entre les deux extrêmes suivants (Head et Gibbard, 2005) :

- Une zone Manche principalement émergée lors des bas niveaux marins (- 100 m environ) des périodes glaciaires, et parcourue par les fleuves côtiers, qui incisent le substratum.
- Une zone Manche immergée lors des hauts niveaux marins, semblables au niveau actuel.

Se développe ainsi dans la continuité des embouchures actuelles, un réseau d'incisions fluviales ou paléovallées, imprimé dans la morphologie de l'actuel fond marin de la Manche. En Baie de Seine, les paléovallées de la Seine, de l'Orne et de la Vire sont clairement identifiées et décrites (Figure 2 – Larssonneur, 1971, Alduc, 1979, Auffret et al, 1980, Benabdellouahed, 2013). La paléovallée de la Seine, orientée SE-NO, présente une succession de trois terrasses fluviales étagées, qui révèlent une migration du lit vers le SO au fur et à mesure de son encaissement dans le substratum méso-cénozoïque. En l'absence d'échantillons datés des différentes nappes alluviales ne permet pas de préciser le calendrier d'évolution de la Seine lors des périodes glaciaires. Benabdellouahed et al. (2013) proposent des âges Pléistocène moyen, Saalien et Weichselien pour les trois terrasses, par analogie aux terrasses reconnues à terre (Antoine et al., 1998; Lautridou et al., 2003; Cordy et al., 2003).

Le réseau constitué par les paléo-Seine, -Vire, et -Orne, se raccorde au vaste système de paléovallées de la Manche (Somme, Vallée Septentrionale) au NO de la Baie de Seine, et au NE du Cotentin (Figure 2). Cette zone présente, en plus des paléovallées, un ensemble de fosses allongées pluri-kilométriques (Fosses du Cotentin), pouvant atteindre une profondeur d'incision d'une centaine de mètres (250 m au Hurd Deep à l'ouest du Cotentin). Certaines sont dénuées de remplissage sédimentaire alors que d'autres sont entièrement comblées. La relation entre fosses et paléovallées reste à ce jour incertaine. Certains auteurs envisagent des sur-creusement localisés par les fleuves au niveau des confluences des paléovallées, alors que des origines distinctes sont proposées par d'autres, faisant des fosses un système plus ancien que les paléovallées pléistocènes (eg. Alduc, 1979). Les données récentes (campagnes BaiSeine 2007, Seine HR 2008 et Mercaux 2015) semblent en effet indiquer que les deux réseaux se superposent sans lien génétique, avec des caractéristiques morphologiques (profondeur d'incision, faciès sismique du remplissage), et des orientations différentes (Paquet et al. - a, In prep).

2.2. ACQUISITIONS ET TRAVAUX RECENTS SUR LA ZONE D'INTERET

Depuis 2007, une série de campagnes de sismique marine très-haute résolution (THR) a été menée en Baie de Seine afin d'améliorer la connaissance géologique de la zone et la compréhension de son évolution morphologique récente. Ces travaux étaient effectués en collaboration entre l'Université de Caen – Basse Normandie et le BRGM. Un premier groupe de campagnes (BaiSeine 2007 (BS07), Seine THR 2008 (BS08) et Seine HR 2008 (BS08b)) avait pour but de couvrir la zone de la paléovallée de la Seine et les portions internes de la baie, au droit des estuaires de la Seine, de l'Orne et de la Vire (Baie des Veys). Les profils acquis ont constitué, avec la campagne de prélèvements Carobseine (2009), le socle de données de la thèse de doctorat de M. Benabdellouahed de 2007 à 2011. Les travaux ont permis :

- De confirmer le tracé des paléovallées en Baie de Seine,
- L'existence des trois niveaux principaux de terrasses fluviales de la Seine,
- D'établir une stratigraphie sismique fine en mer et de la corrélérer à la lithostratigraphie méso-cénozoïque déterminée à terre,
- D'identifier de nombreuses structures tectoniques,
- De mettre en relation le tracé du cours des paléovallées et leur substratum méso-cénozoïque, et ainsi montrer l'influence de ce dernier sur la morphologie des incisions fluviales.

Les travaux de Benabdellouahed (2011) et collaborateurs (2013, 2014) offrent ainsi une identification des formations géologiques sur la sismique THR, et une première ébauche de carte géologique révisée sur la zone Baie de Seine, à l'échelle du 1/1 000 000 (Figure 5).

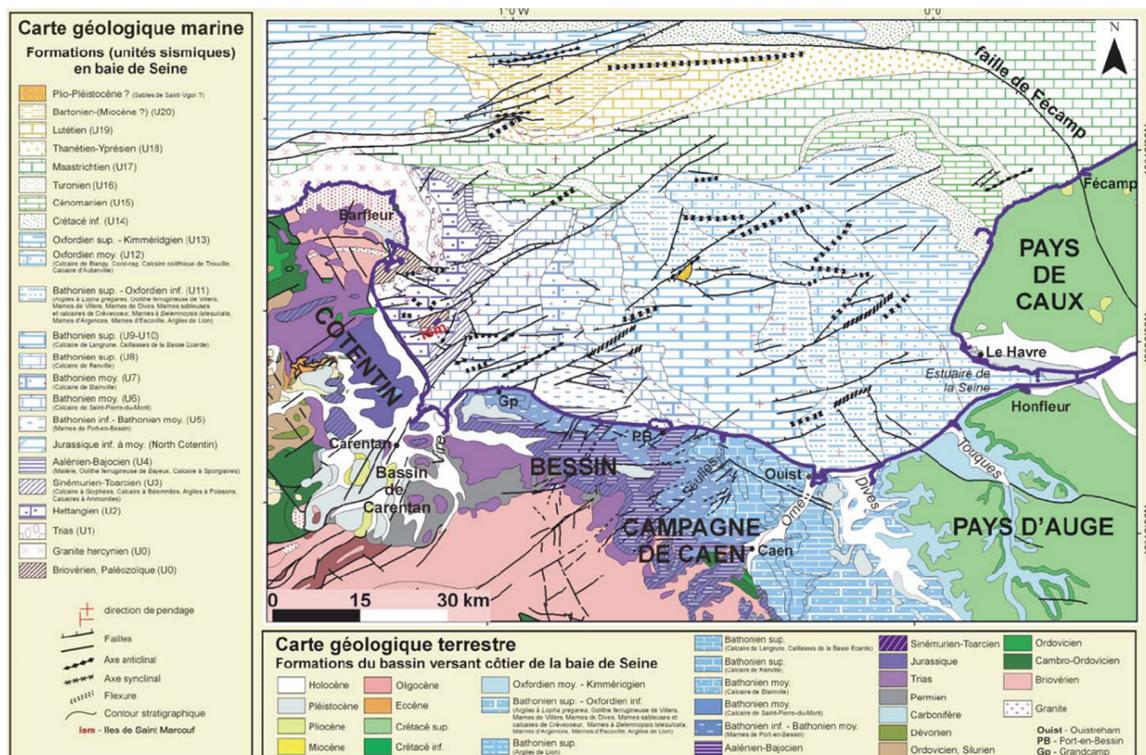


Figure 5 : Carte géologique simplifiée issue des travaux de doctorat de Benabdellouahed (2011) et Benabdellouahed et al. (2014).

Le BRGM a ensuite entrepris de compléter le jeu de données sismiques marine THR pour couvrir l'ensemble de la Baie de Seine, et permettre de produire une version révisée de la carte géologique de la France à 1/250 000 pour la Baie de Seine. Les actions ont débuté par l'acquisition des données sismiques des campagnes MERCAUX 2013 et 2015 (MX13 et MX15). Ces actions effectuées dans le cadre du projet de recherche et de cartographie « Plateau Continental » et du programme « RGF » (Référentiel Géologique de la France). Le jeu de données sismiques THR complet utilisé pour la cartographie comprenait ainsi les campagnes BS07, BS08b, MX13 et MX15 (Figure 6)

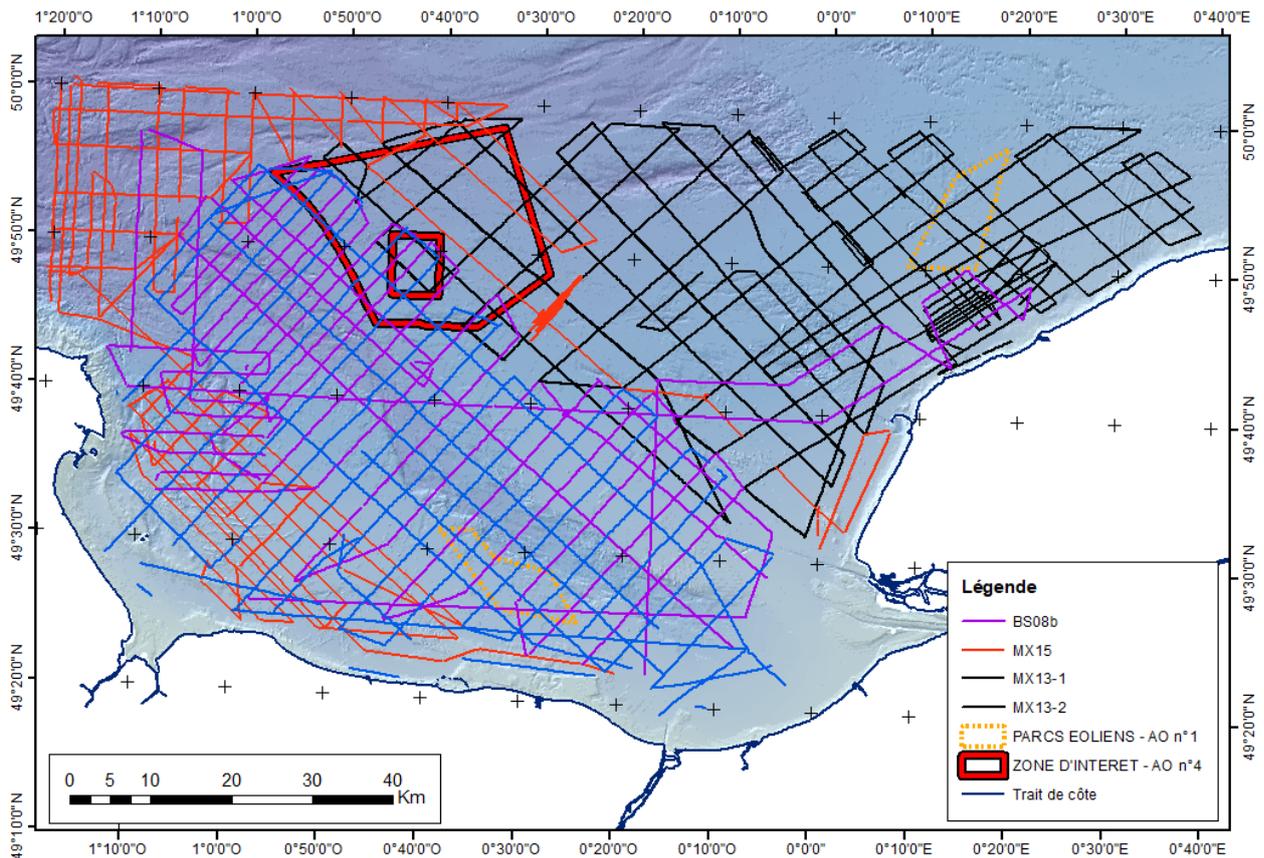


Figure 6 : Carte figurant les profils sismiques « sparker » des quatre campagnes BS07 (en bleu), BS08b (en violet), MX13 (en noir), et MX15 (en rouge), ainsi que l'emprise de la zone d'intérêt « Baie de Seine » et sa zone d'exclusion, sur fond de la carte bathymétrique de l'Europe (EMODnet, 2018). Trait de côte HISTOLITT® (©SHOM-IGN). Système de projection de la carte : UTM30N - WGS84

L'interprétation des profils sismiques s'est échelonnée entre 2013 et 2017 et les travaux de cartographie ont été réalisés de 2015 à 2018. La production de la carte, en vue de son édition, a commencé en 2019. Ces travaux ont permis, sur la base des travaux de stratigraphie sismique de Benabdellouahed (2011), de produire une cartographie détaillée de la zone à l'échelle du 1/250 000 avec une meilleure précision (dessin effectué entre 1/50 000 et 1/100 000) sur les tracés des limites lithostratigraphiques et des structures tectoniques (failles et plis).

Les cartes géologiques et d'isovaleurs, ainsi que les coupes sismiques interprétées présentées dans ce rapport proviennent directement de ces travaux d'interprétation sismique.

2.3. GEOLOGIE DE LA ZONE D'INTERET « BAIE DE SEINE »

Cette section propose un aperçu géologique de la zone d'intérêt à travers (i) une série de dix coupes sismiques interprétées, (ii) un extrait de la carte géologique à 1/250 000 en cours de production, (iii) un descriptif des séries méso-cénozoïques (lithostratigraphie) et (iv) des structures tectoniques ayant affecté la zone, et (v) une carte d'isohypse du toit du substratum anté-néogène mettant en évidence les réseaux récents d'incisions.

2.3.1. Coupes sismiques interprétées sur la zone d'intérêt

Dix profils sismiques ont été sélectionnés à travers la zone « Baie de Seine » afin de produire des coupes interprétées (Figures 7 à 16), permettant de mieux appréhender la structure globale du site. Ces profils et leur interprétation géologique ont permis la constitution de la carte géologique présentée en section 2.3.2.

Les profils choisis proviennent des campagnes MERCAUX 2013 et MERCAUX 2015 (Paquet, 2013 ; 2015). La liste et les caractéristiques principales des acquisitions sismiques par campagne sont renseignées dans les tableaux 1 et 2.

Les profils sismiques sont distribués sur l'ensemble de la zone, à l'exclusion de l'angle sud-ouest, lieu de passage de la paléovallée de la Seine (voir carte géologique en section 2.3.1). Les profils sont essentiellement orientés NE-SO et NO-SE et se recoupent de façon orthogonale.

L'interprétation sismique initiale des profils a été réalisée en suivant les principes édictés par Mitchum et al. (1977). Les horizons sélectionnés correspondent à des réflecteurs ou succession de réflecteurs définissant des surfaces particulières (érosion, non-dépôt) ou présentant une forte amplitude et une bonne continuité. Ces surfaces délimitent des unités sismiques, qui ont ensuite été corrélées à des unités lithostratigraphiques reconnues par prélèvements et/ou par analogies à des formations connues à terre. La sélection des horizons stratigraphiques est basée sur les travaux de Benabdellouahed (2011) et ceux réalisés lors de la réalisation de la carte géologique. Le travail de pointé des horizons a été effectué sur logiciel spécifique LMKR GVERSE®. L'utilisation d'un logiciel d'interprétation offre la possibilité de vérifier précisément les pointés au niveau des croisements de profils.

Pour l'ensemble des profils, les interprétations sont présentées avec le profil non interprété en partie supérieure de la figure, et la coupe interprétative dans la partie inférieure. Le panneau latéral gauche reprend les caractéristiques principales associées au profil (campagne, matériel d'acquisition, auteur du traitement et de l'interprétation), la légende géologique, et le plan de position du profil.

La lithostratigraphie présentée en légende des coupes est identique à celle utilisée pour les cartes et est détaillée en section 2.3.3. La localisation des profils est indiquée sur les coupes et peut être retrouvée sur l'extrait de la carte géologique en figure 18.

Les structures figurant sur les cartes et les coupes sont discutées en section 2.3.4.

Remarques :

- 1/ sur la coupe du profil sismique MX13-spk095 (Figure 12) le pointé de la surface séparant le Bartonien (e6) des incisions et remplissages néogènes (N) est incertain du fait de la ressemblance entre les faciès sismiques de ces deux formations. La limite e6 – N est donc matérialisée par un dégradé de couleurs.

- 2/ La présence d'incisions et de remplissages est observée au-dessus des séries paléogènes (e3-4 à e6-7) sur plusieurs profils. Ces incisions n'ayant pas pu être corrélées entre-elles avec certitude du fait de la trop faible densité de profils, l'existence d'un réseau de paléovallées ou de terrasses fluviales de la paléo-Seine sur les dépôts cénozoïques-paléogènes est plausible.

CAMPAGNE	Mercaux 2013 (MX13)	Mercaux 2015 (MX15)
DOI	https://doi.org/10.17600/13480060	https://doi.org/10.17600/15010000
Organisme(s)	<ul style="list-style-type: none"> - BRGM (Orléans) - Morphodynamique Continentale et Côtière – UMR6143 (Caen) - CNRS 	<ul style="list-style-type: none"> - BRGM (Orléans)
Chef(s) de mission	Fabien PAQUET (BRGM)	Fabien PAQUET (BRGM)
Organismes participants	BRGM, Université de Caen – M2C, CNRS, Université de Rennes 1 – Géosciences Rennes, Université de Mons	BRGM, Université de Lille 1 – CNRS, LOG
Navire	NO Côtes de la Manche (CNRS)	NO Côtes de la Manche (CNRS)
Dates	Du 30/08/2013 au 10/09/2013	Du 20/06/2015 au 05/07/2015
Source de sismique réflexion	Sparker SIG utilisé à 50 Joules (SIG ENERGOS 160)	Sparker SIG utilisé à 50 Joules (SIG ENERGOS 160)
Peigne sparker	30-50 brins	12-30-50 brins
Flûte sismique	Monotrace à 6 hydrophones SIG	Monotrace à 6 hydrophones SIG
Fréquence	500-1500 Hz	500-1500 Hz
Station d'acquisition	DELPH	DELPH
Format de Fichier	.segy – IEEE Float (32 bits)	.segy – IEEE Float (32 bits)

Tableau 1 : Informations techniques sur les campagnes MERCAUX 13 et MERCAUX 15 desquelles sont issus les profils sélectionnés pour la production de coupes interprétées et habillées en géologie.

CAMPAGNE	PROFIL	LONGUEUR (m)
MX13	MX13_spk095	31580
MX13	MX13_spk097	29934
MX13	MX13_spk101	32358
MX13	MX13_spk104	4974
MX13	MX13_spk105	17222
MX13	MX13_spk107	23638
MX13	MX13_spk108	9277
MX13	MX13_spk109	30859
MX15	MX15_075	29462
MX15	MX15_082	29299
	Nombre de profils : 10	Longueur totale (m) 238 603

Tableau 2 : Liste des profils sélectionnés pour la production de coupes interprétées et habillées en géologie.

Liste des figures 7 à 16 des coupes interprétées présentées dans les pages d'encart suivantes :

*Figure 7 : Profil sismique MX13_spk108 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas).
Légende géologique développée en section 2.3.3.*

*Figure 8 : Profil sismique MX13_spk101 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas).
Légende géologique développée en section 2.3.3.*

Figure 9 : Profil sismique MX15_082 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas). Légende géologique développée en section 2.3.3.

*Figure 10 : Profil sismique MX13_spk097 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas).
Légende géologique développée en section 2.3.3.*

Figure 11 : Profil sismique MX15_075 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas). Légende géologique développée en section 2.3.3.

*Figure 12 : Profil sismique MX13_spk095 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas).
Légende géologique développée en section 2.3.3.*

*Figure 13 : Profil sismique MX13_spk109 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas).
Légende géologique développée en section 2.3.3.*

*Figure 14 : Profil sismique MX13_spk107 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas).
Légende géologique développée en section 2.3.3.*

*Figure 15 : Profil sismique MX13_spk105 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas).
Légende géologique développée en section 2.3.3.*

*Figure 16 : Profil sismique MX13_spk104 en version non-interprétée (haut) et interprétée (bas).
Légende géologique développée en section 2.3.3.*

MX13-108

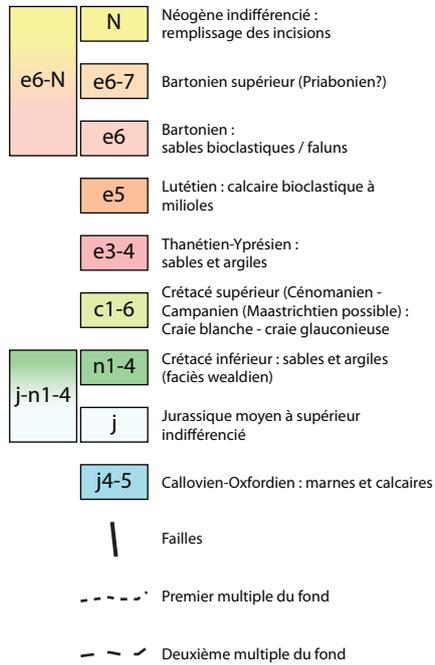
Profil de sismique marine très-haute résolution MX13-108

Campagne : MERCAUX 2013
(Paquet F - <https://doi.org/10.17600/13480060>)

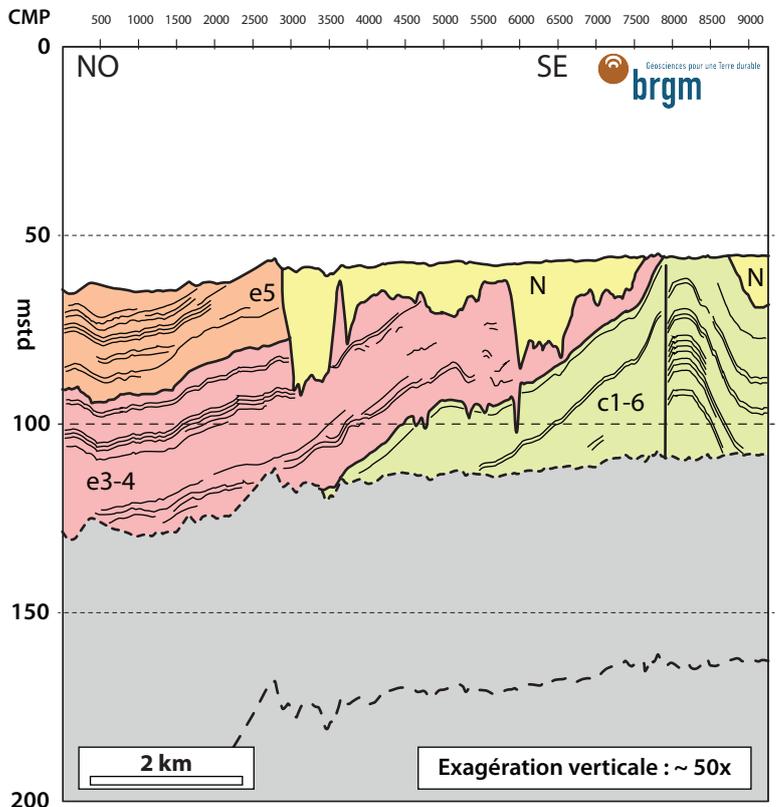
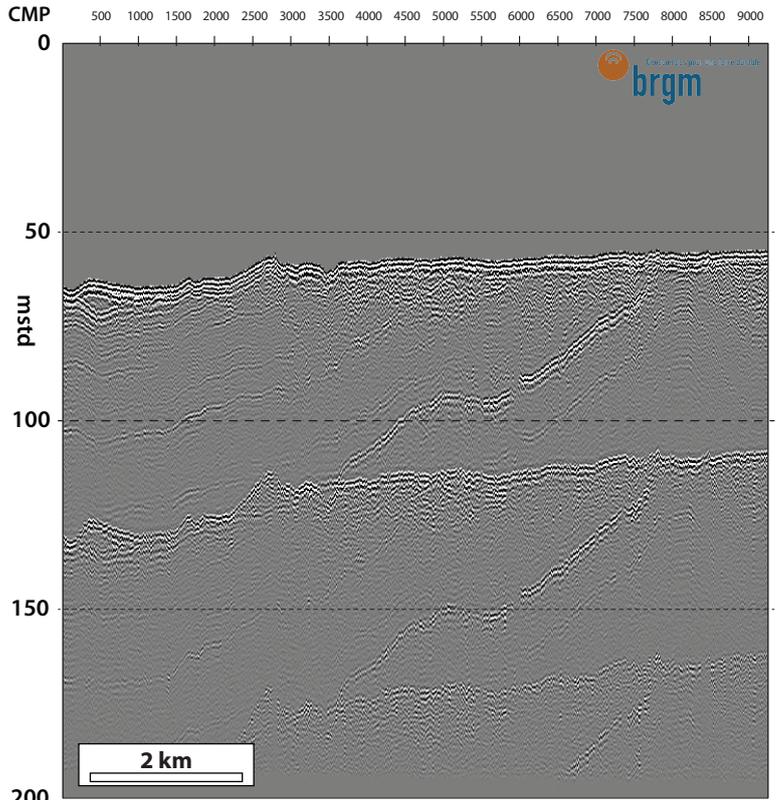
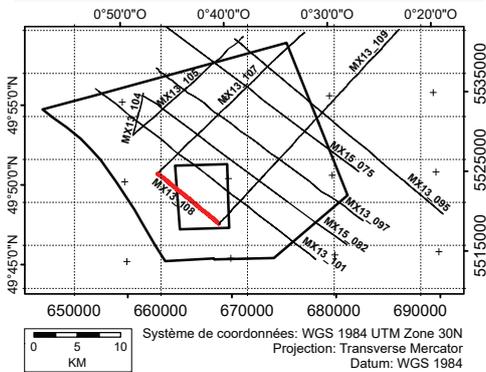
Matériel : Sparker SIG (ENERGOS 160) à 50 Joules ;
flûte monotrAce à 6 hydrophones

Traitement : Isabelle THINON (BRGM - DGR/GBS)
Interprétation : Fabien PAQUET (BRGM - DGR/GBS)

Légende



Angles équivalents pour une exagération verticale d'environ 50x



MX13-101

Profil de sismique marine très-haute résolution MX13-101

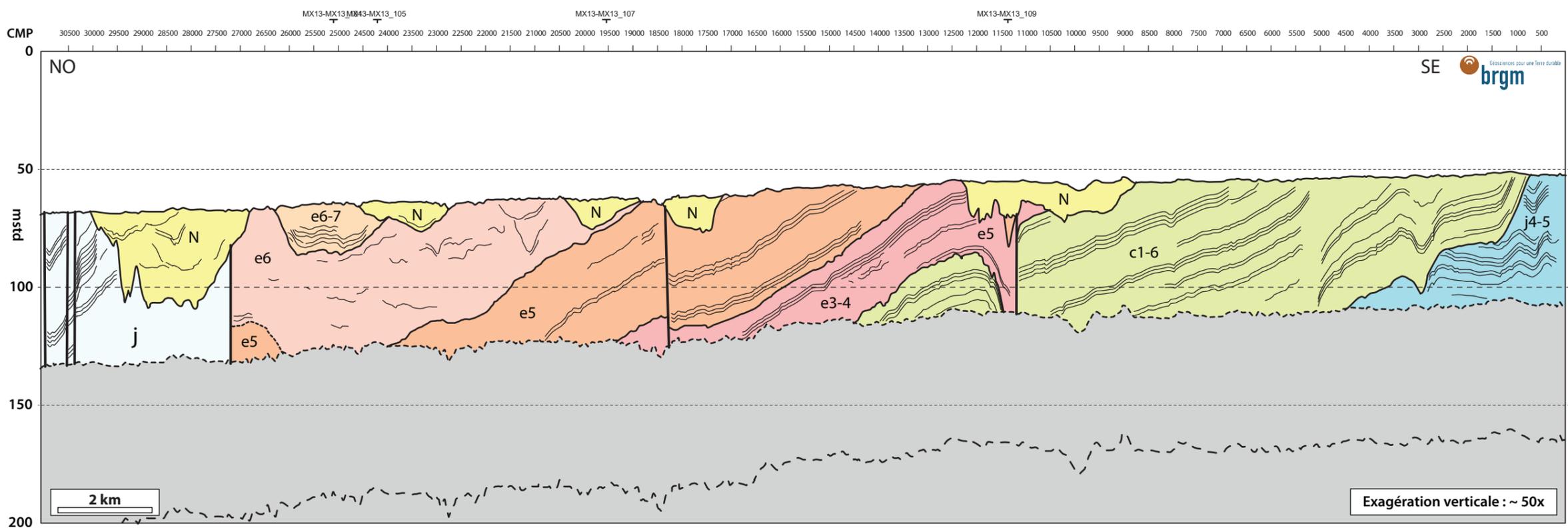
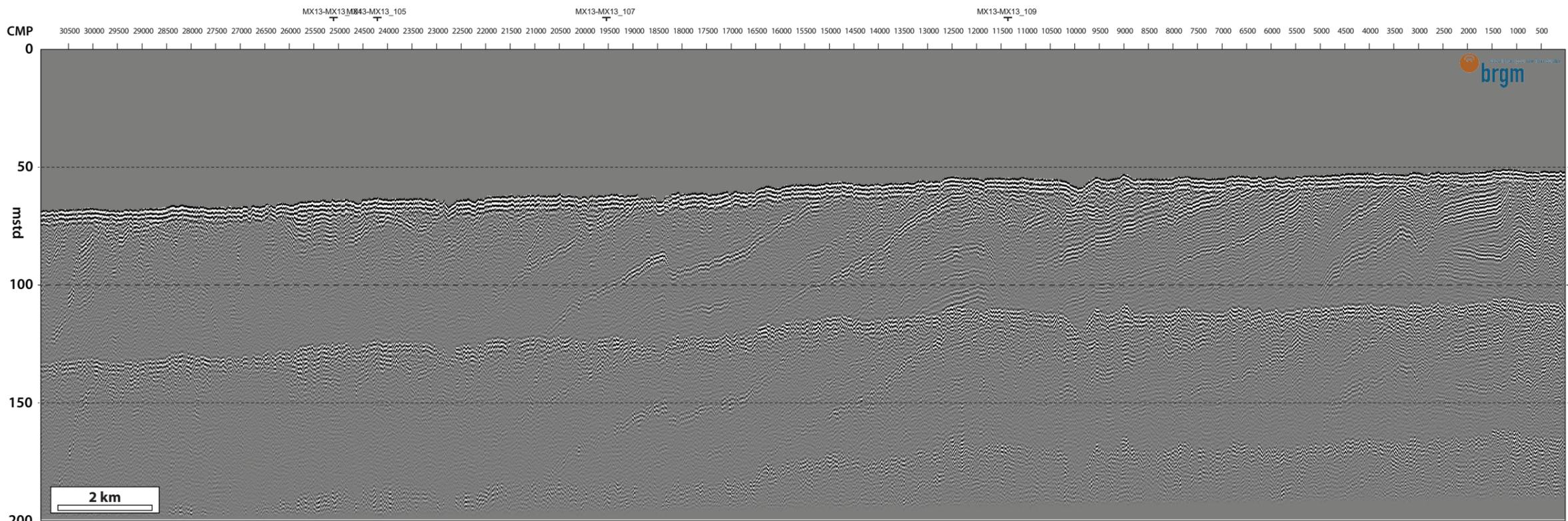
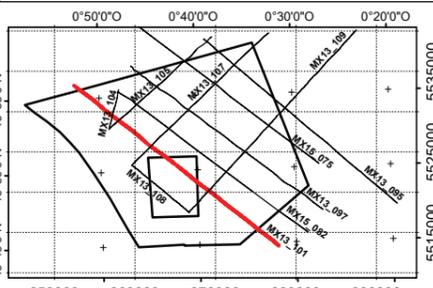
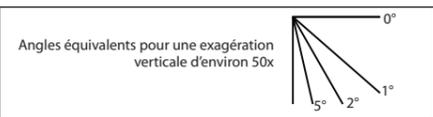
Campagne : MERCAUX 2013
(Paquet F. - <https://doi.org/10.17600/13480060>)

Matériel : Sparker SIG (ENERGOS 160) à 50 Joules ;
flûte monotrace à 6 hydrophones

Traitement : Isabelle THINON (BRGM - DGR/GBS)
Interprétation : Fabien PAQUET (BRGM - DGR/GBS)

Légende

- N Néogène indifférencié : remplissage des incisions
- e6-N e6-7 Bartonien supérieur (Priabonien?)
- e6 Bartonien : sables bioclastiques / faluns
- e5 Lutétien : calcaire bioclastique à milioles
- e3-4 Thanétien-Yprésien : sables et argiles
- c1-6 Crétacé supérieur (Cénomaniens - Campanien (Maastrichtien possible) : Craie blanche - craie glauconieuse
- n1-4 Crétacé inférieur : sables et argiles (faciès wealdien)
- j-n1-4 j Jurassique moyen à supérieur indifférencié
- j4-5 Callovien-Oxfordien : marnes et calcaires
- Failles
- Premier multiple du fond
- Deuxième multiple du fond



MX15-082

Profil de sismique marine très-haute résolution MX15-082

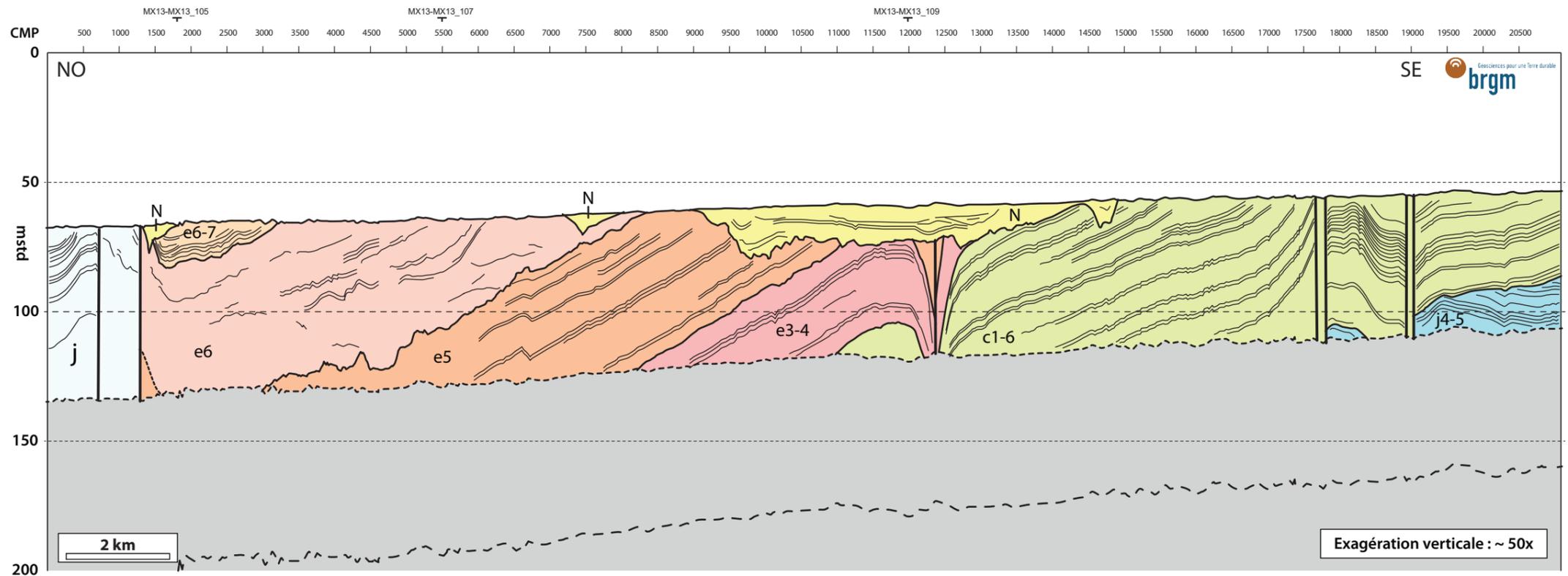
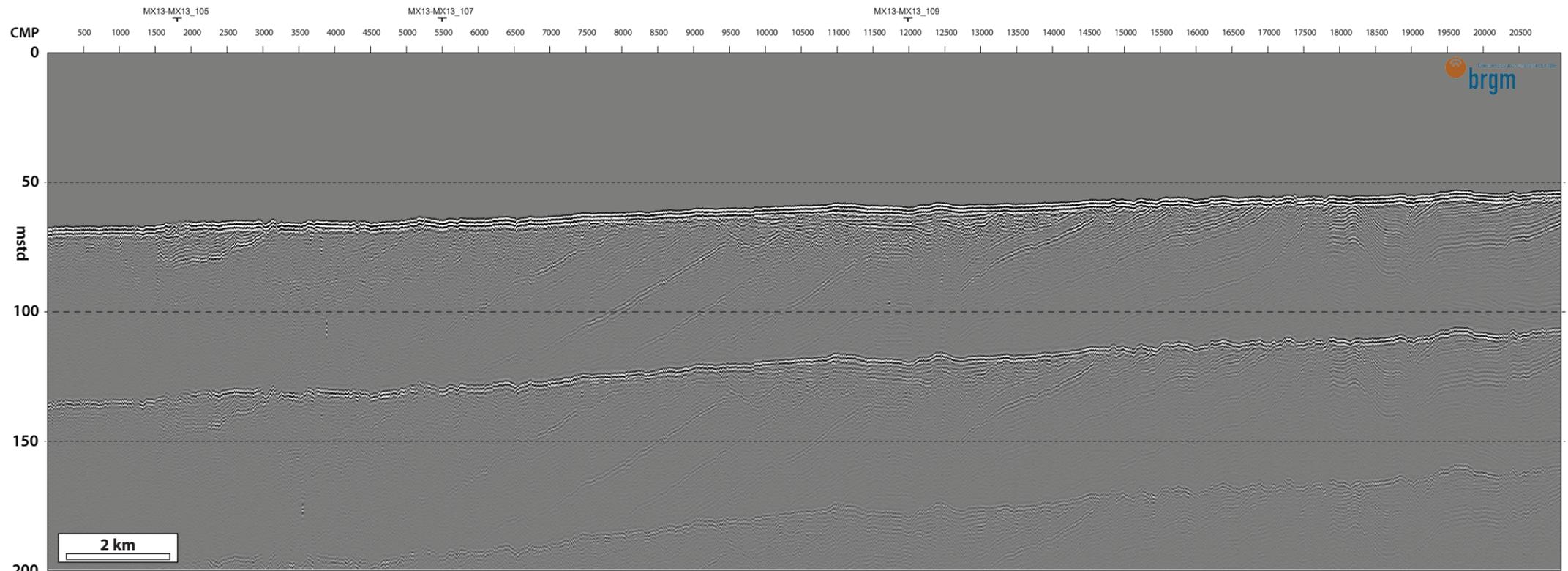
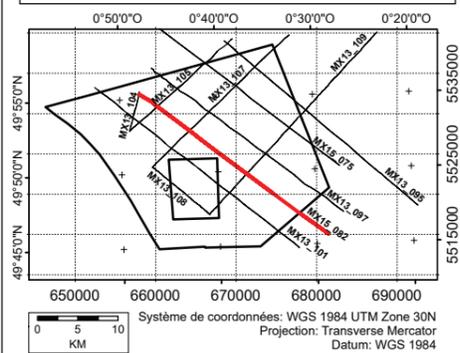
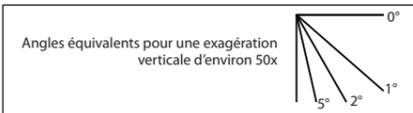
Campagne : MERCAUX 2013
(Paquet F. - <https://doi.org/10.17600/15010000>)

Matériel : Sparker SIG (ENERGOS 160) à 50 Joules ;
flûte monotrace à 6 hydrophones

Traitement : Isabelle THINON (BRGM - DGR/GBS)
Interprétation : Fabien PAQUET (BRGM - DGR/GBS)

Légende

- N** Néogène indifférencié : remplissage des incisions
- e6-N** **e6-7** Bartonien supérieur (Priabonien?)
- e6** Bartonien : sables bioclastiques / faluns
- e5** Lutétien : calcaire bioclastique à milioles
- e3-4** Thanétien-Yprésien : sables et argiles
- c1-6** Crétacé supérieur (Cénomaniens - Campanien (Maastrichtien possible) : Craie blanche - craie glauconieuse
- n1-4** Crétacé inférieur : sables et argiles (faciès wealdien)
- j-n1-4** **j** Jurassique moyen à supérieur indifférencié
- j4-5** Callovien-Oxfordien : marnes et calcaires
- Failles
- Premier multiple du fond
- Deuxième multiple du fond



MX13-097

Profil de sismique marine très-haute résolution MX13-097

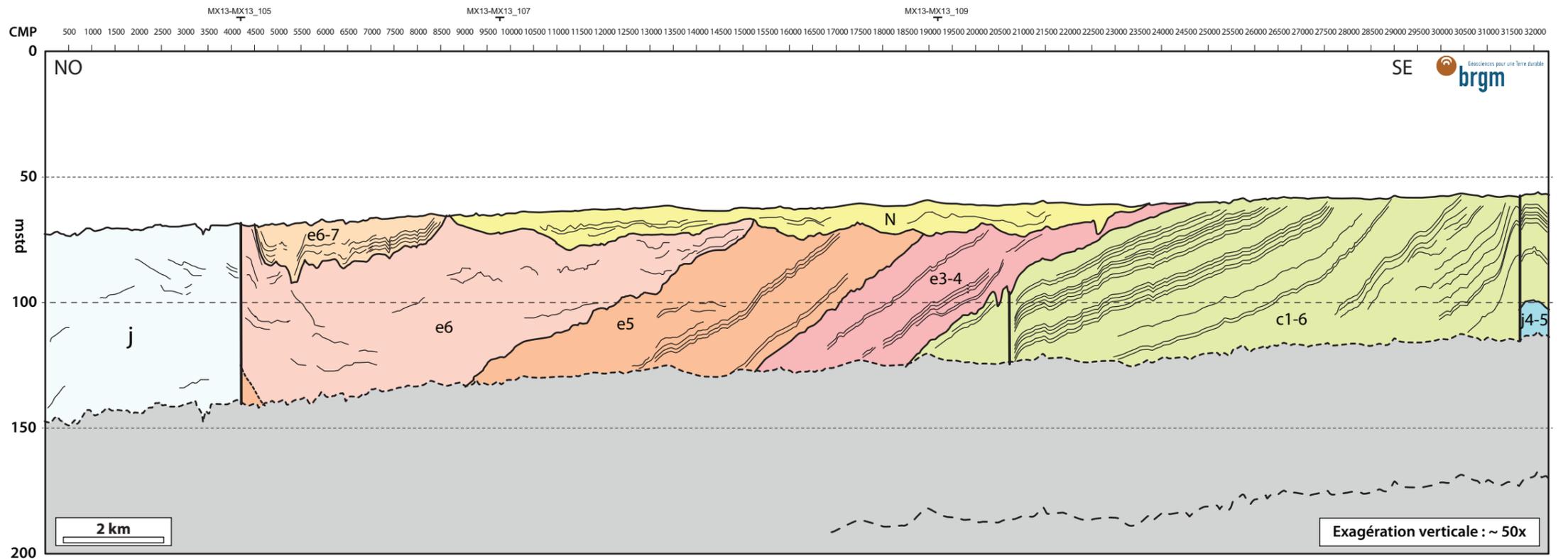
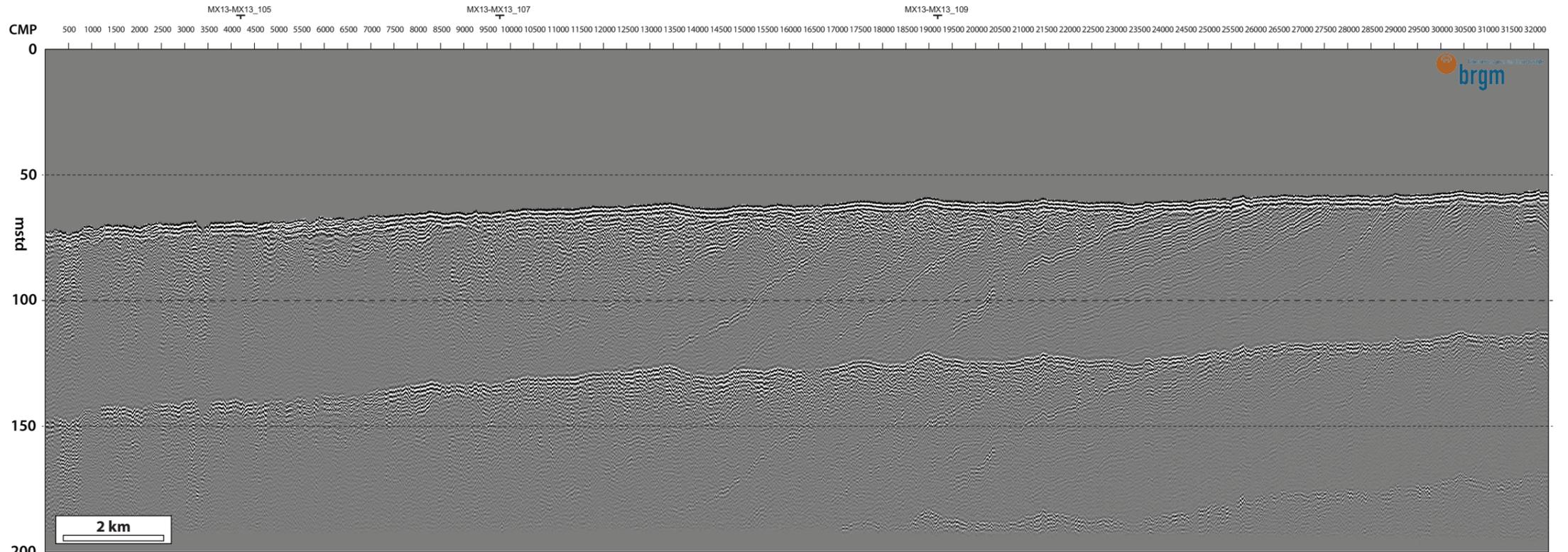
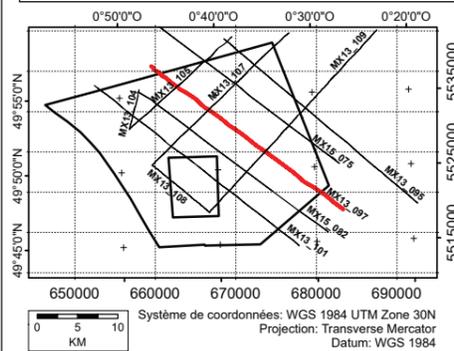
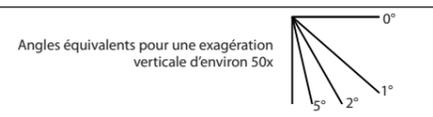
Campagne : MERCAUX 2013
(Paquet F. - <https://doi.org/10.17600/13480060>)

Matériel : Sparker SIG (ENERGOS 160) à 50 Joules ;
flûte monotrace à 6 hydrophones

Traitement : Isabelle THINON (BRGM - DGR/GBS)
Interprétation : Fabien PAQUET (BRGM - DGR/GBS)

Légende

- N** Néogène indifférencié : remplissage des incisions
- e6-N** Bartonien supérieur (Priabonien?)
- e6** Bartonien : sables bioclastiques / faluns
- e5** Lutétien : calcaire bioclastique à milioles
- e3-4** Thanétien-Yprésien : sables et argiles
- c1-6** Crétacé supérieur (Cénomaniens - Campanien (Maastrichtien possible) : Craie blanche - craie glauconieuse
- n1-4** Crétacé inférieur : sables et argiles (faciès wealdien)
- j-n1-4** **j** Jurassique moyen à supérieur indifférencié
- j4-5** Callovien-Oxfordien : marnes et calcaires
- Failles
- Premier multiple du fond
- Deuxième multiple du fond



MX15-075

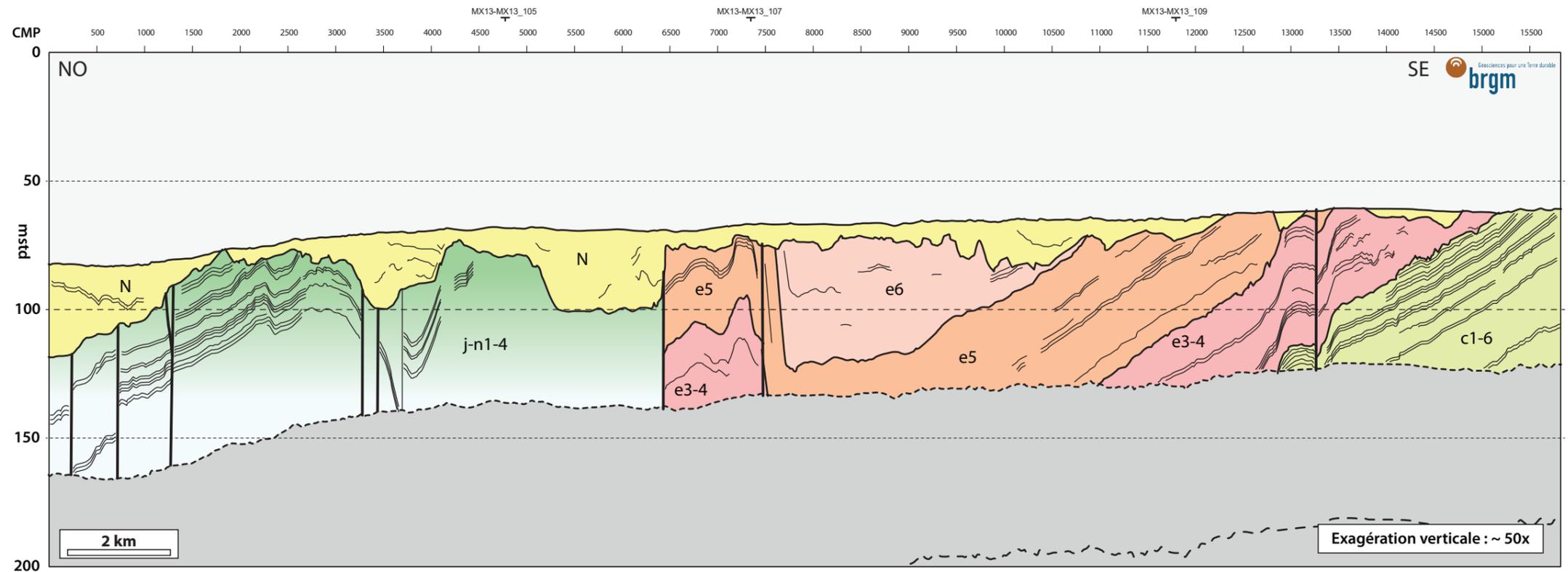
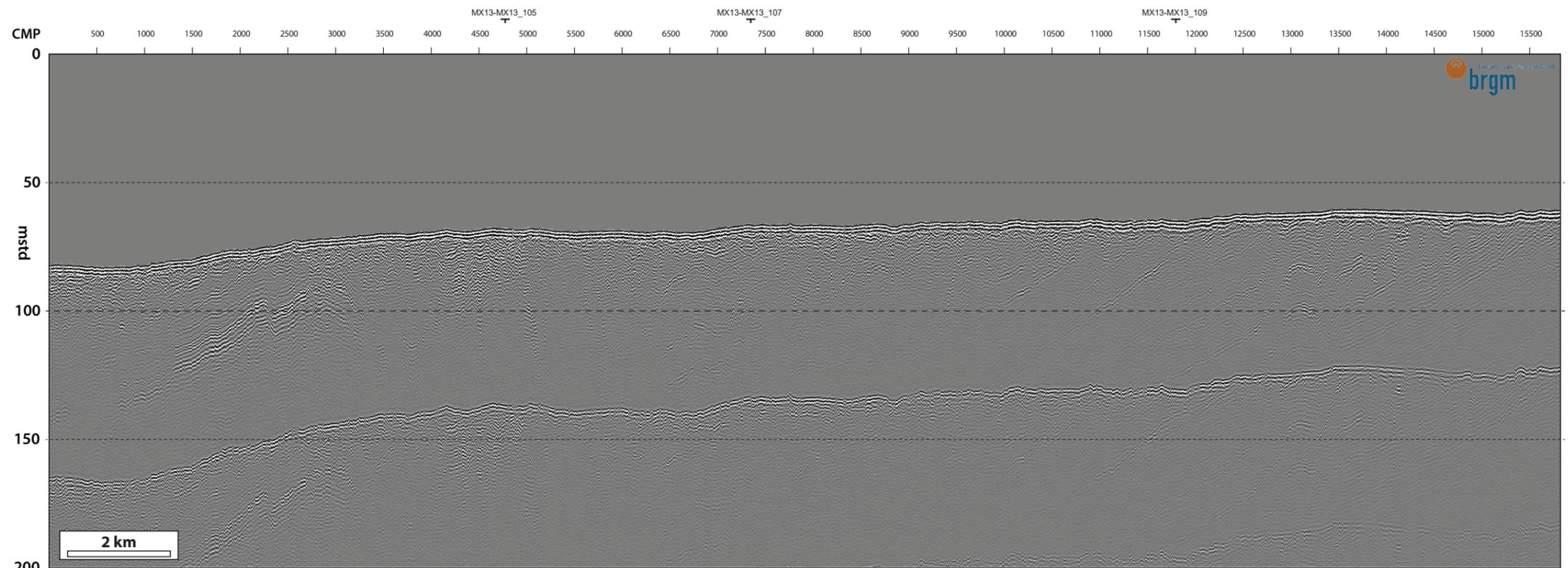
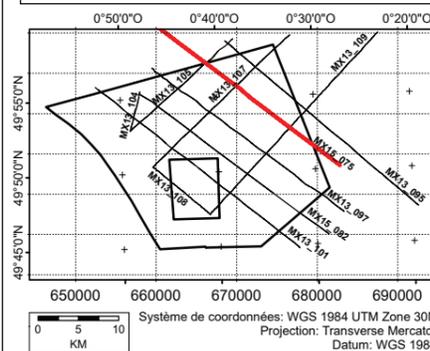
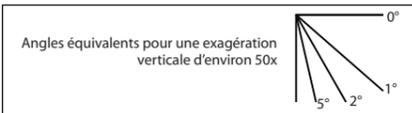
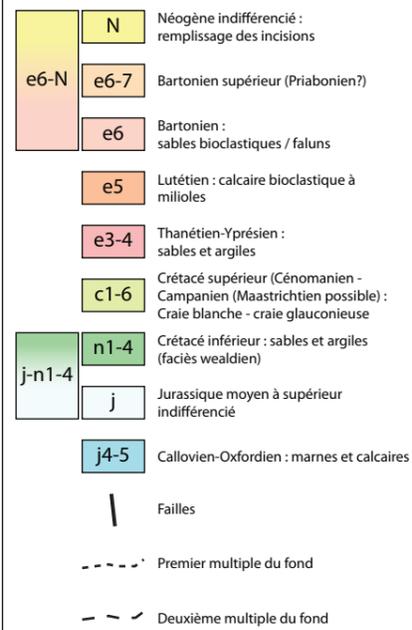
Profil de sismique marine très-haute résolution MX15-075

Campagne : MERCAUX 2013
(Paquet F. - <https://doi.org/10.17600/15010000>)

Matériel : Sparker SIG (ENERGOS 160) à 50 Joules ;
flûte monotrace à 6 hydrophones

Traitement : Isabelle THINON (BRGM - DGR/GBS)
Interprétation : Fabien PAQUET (BRGM - DGR/GBS)

Légende



MX13-095

Profil de sismique marine très-haute résolution MX13-095

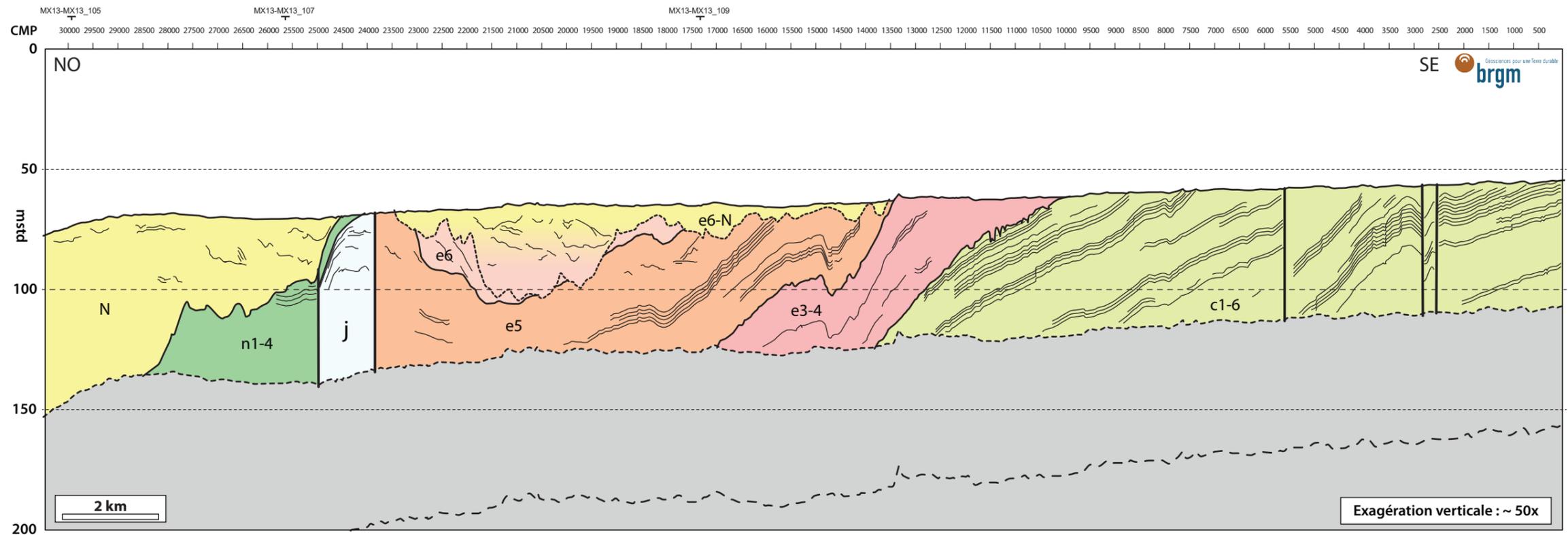
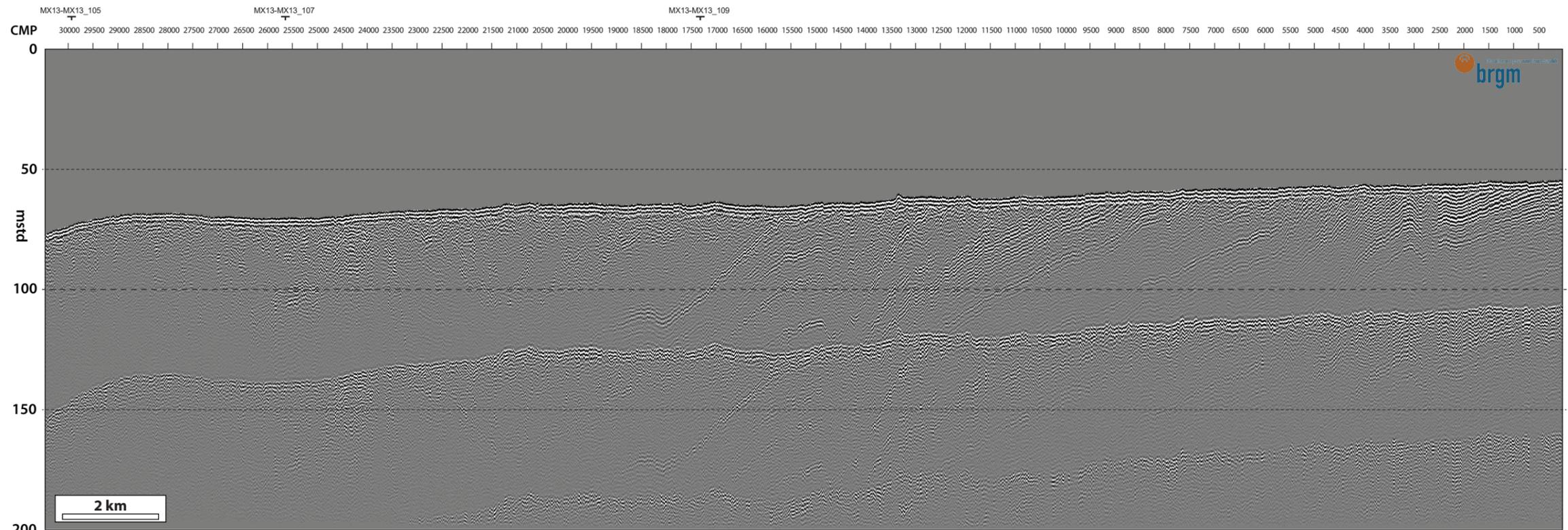
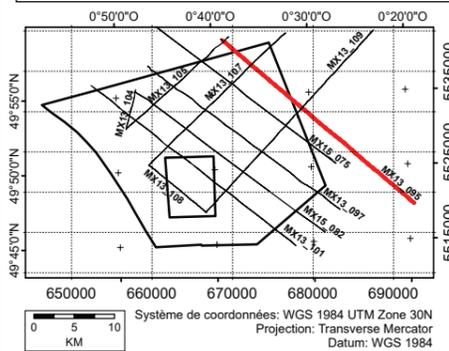
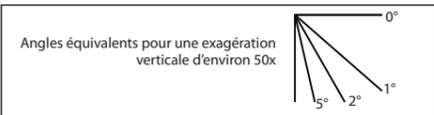
Campagne : MERCAUX 2013
(Paquet F. - <https://doi.org/10.17600/13480060>)

Matériel : Sparker SIG (ENERGOS 160) à 50 Joules ;
flûte monotrace à 6 hydrophones

Traitement : Isabelle THINON (BRGM - DGR/GBS)
Interprétation : Fabien PAQUET (BRGM - DGR/GBS)

Légende

- N** Néogène indifférencié : remplissage des incisions
- e6-N** Bartonien supérieur (Priabonien?)
- e6** Bartonien : sables bioclastiques / faluns
- e5** Lutétien : calcaire bioclastique à miliolites
- e3-4** Thanétien-Yprésien : sables et argiles
- c1-6** Crétacé supérieur (Cénomaniens - Campanien (Maastrichtien possible) : Craie blanche - craie glauconieuse
- n1-4** Crétacé inférieur : sables et argiles (faciès wealdien)
- j** Jurassique moyen à supérieur indifférencié
- j4-5** Callovien-Oxfordien : marnes et calcaires
- Failles
- Premier multiple du fond
- Deuxième multiple du fond



MX13-109

Profil de sismique marine très-haute résolution MX13-109

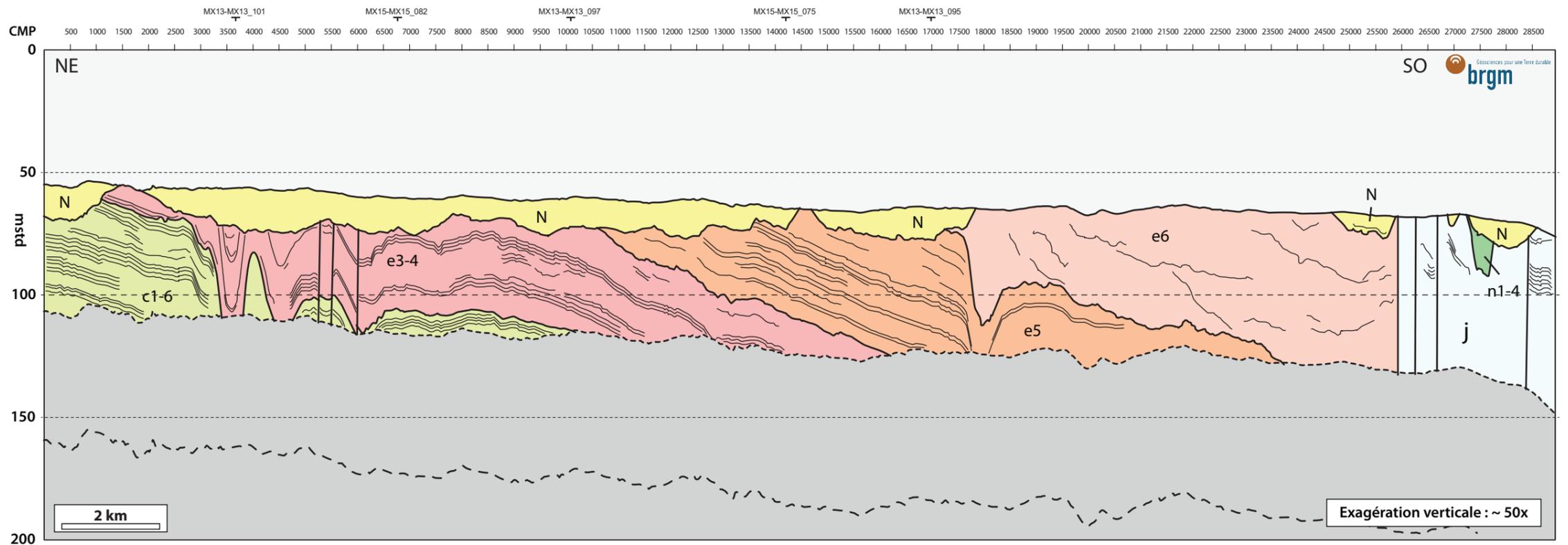
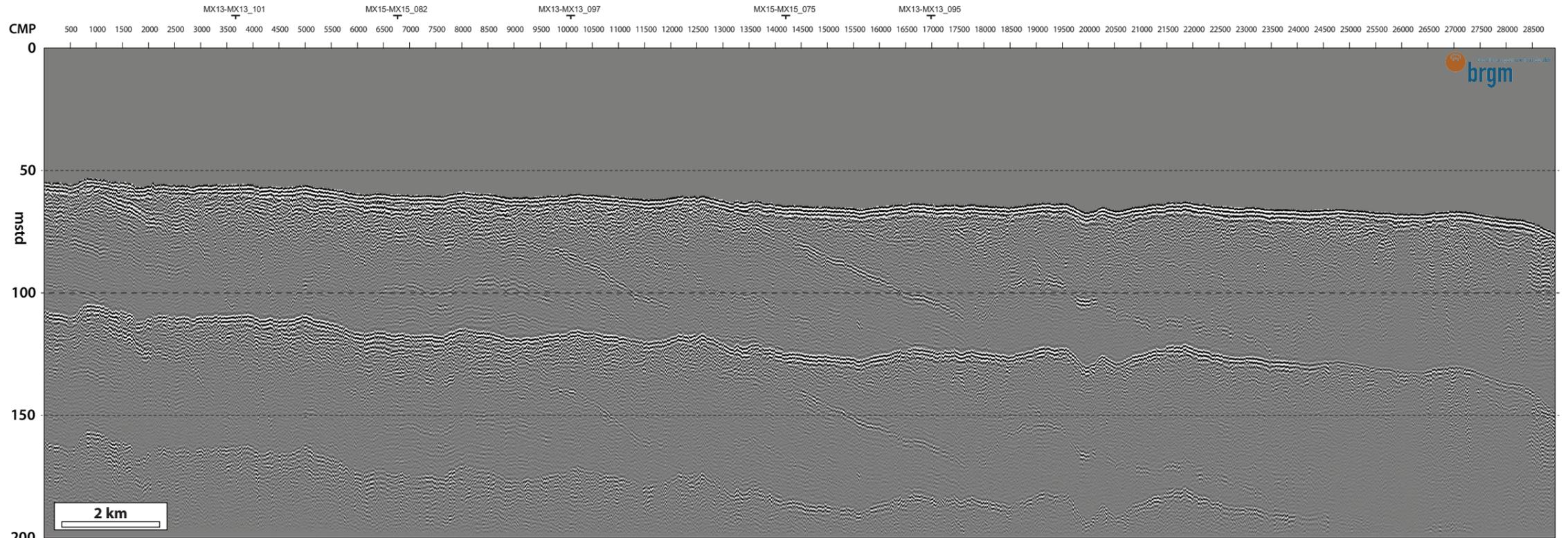
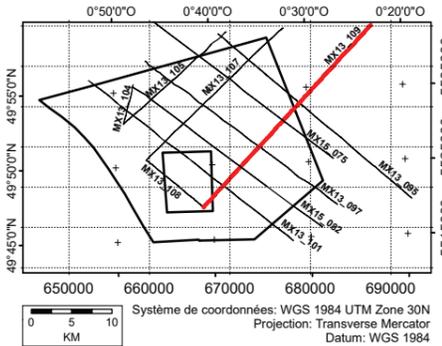
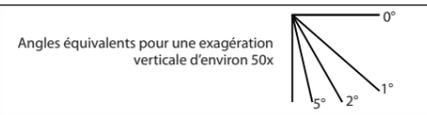
Campagne : MERCAUX 2013
(Paquet F. - <https://doi.org/10.17600/13480060>)

Matériel : Sparker SIG (ENERGOS 160) à 50 Joules ;
flûte monotrace à 6 hydrophones

Traitement : Isabelle THINON (BRGM - DGR/GBS)
Interprétation : Fabien PAQUET (BRGM - DGR/GBS)

Légende

- N Néogène indifférencié : remplissage des incisions
- e6-N e6-7 Bartonien supérieur (Priabonien?)
- e6 Bartonien : sables bioclastiques / faluns
- e5 Lutétien : calcaire bioclastique à miliolites
- e3-4 Thanétien-Yprésien : sables et argiles
- c1-6 Crétacé supérieur (Cénomaniens - Campanien (Maastrichtien possible) : Craie blanche - craie glauconieuse
- n1-4 Crétacé inférieur : sables et argiles (faciès wealdien)
- j-n1-4 j Jurassique moyen à supérieur indifférencié
- j4-5 Callovien-Oxfordien : marnes et calcaires
- Failles
- Premier multiple du fond
- Deuxième multiple du fond



MX13-107

Profil de sismique marine très-haute résolution MX13-107

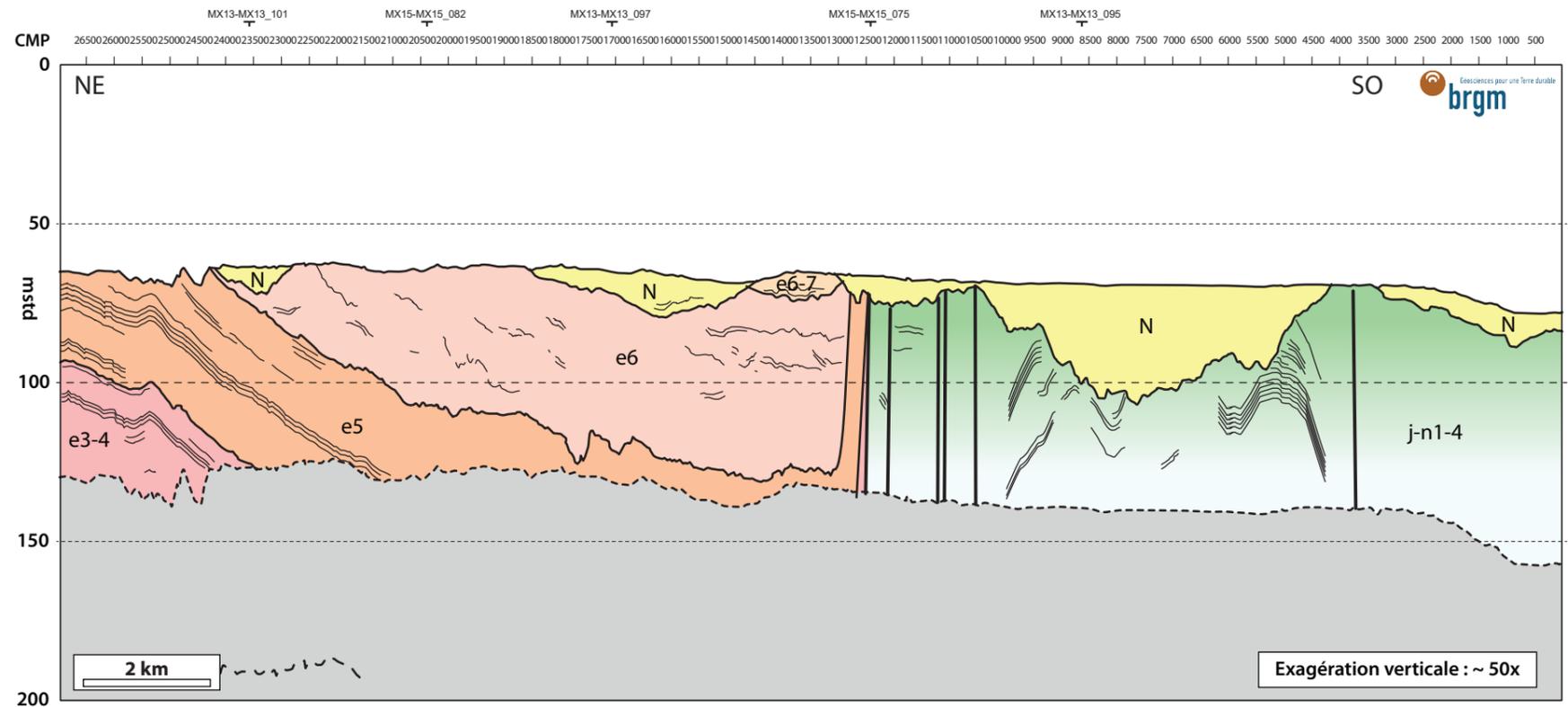
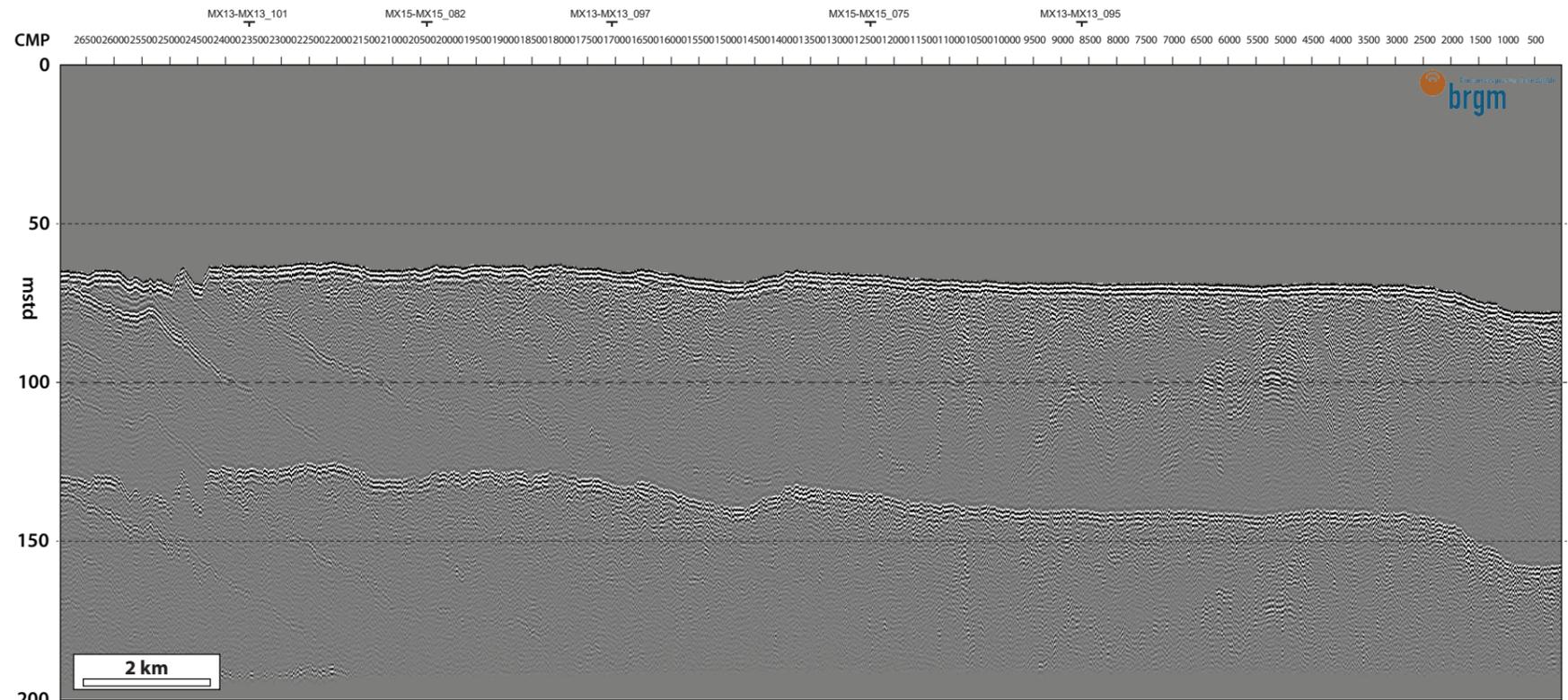
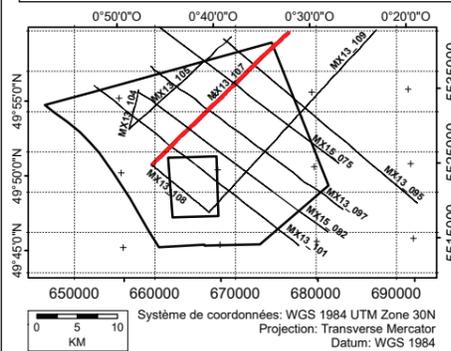
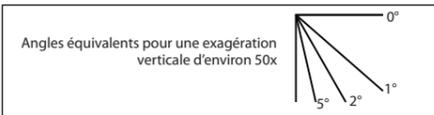
Campagne : MERCAUX 2013
(Paquet F. - <https://doi.org/10.17600/13480060>)

Matériel : Sparker SIG (ENERGOS 160) à 50 Joules ;
flûte monotrace à 6 hydrophones

Traitement : Isabelle THINON (BRGM - DGR/GBS)
Interprétation : Fabien PAQUET (BRGM - DGR/GBS)

Légende

- N Néogène indifférencié : remplissage des incisions
- e6-N Bartonien supérieur (Priabonien?)
- e6 Bartonien : sables bioclastiques / faluns
- e5 Lutétien : calcaire bioclastique à milioles
- e3-4 Thanétien-Yprésien : sables et argiles
- c1-6 Crétacé supérieur (Cénomaniens - Campanien (Maastrichtien possible) : Craie blanche - craie glauconieuse
- n1-4 Crétacé inférieur : sables et argiles (faciès wealdien)
- j-n1-4 Jurassique moyen à supérieur indifférencié
- j
- j4-5 Callovien-Oxfordien : marnes et calcaires
- Failles
- Premier multiple du fond
- Deuxième multiple du fond



MX13-105

Profil de sismique marine très-haute résolution MX13-105

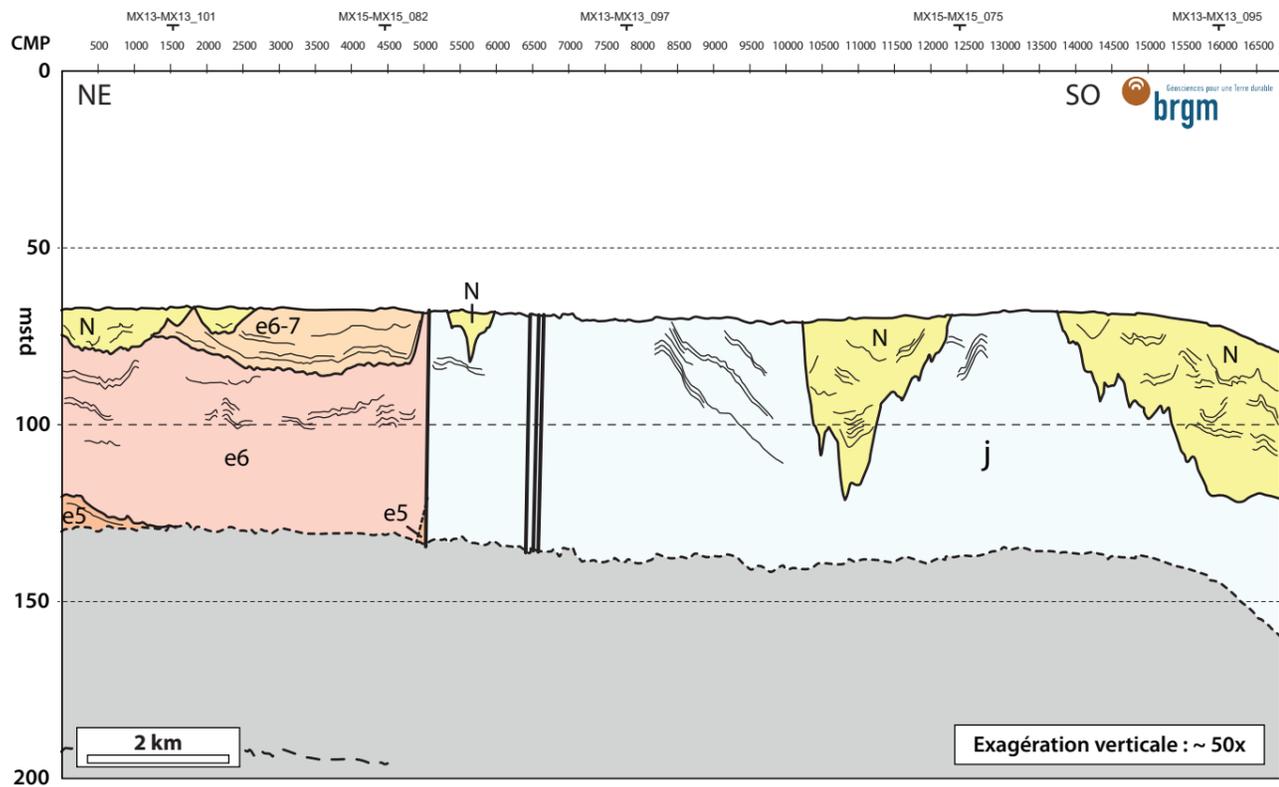
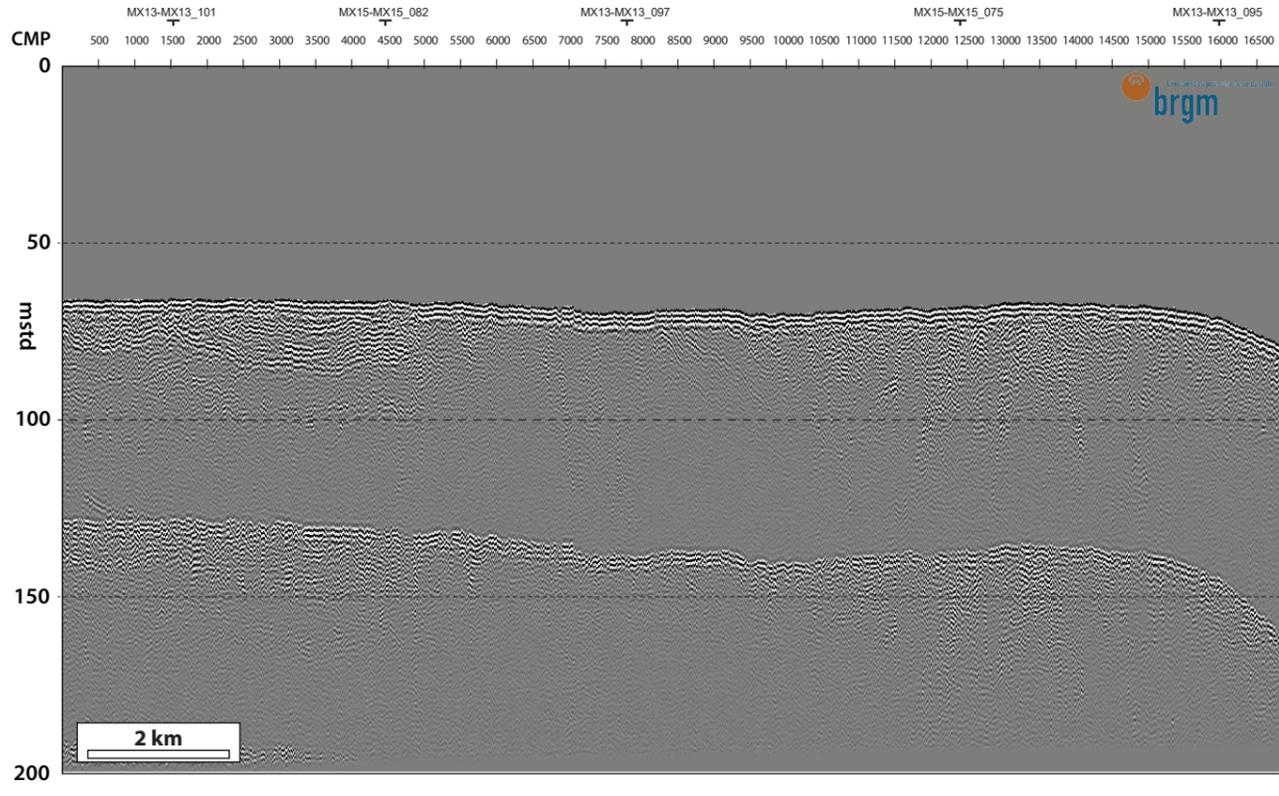
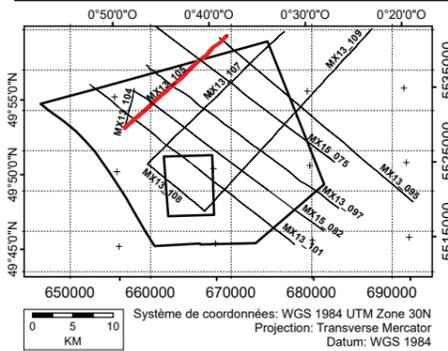
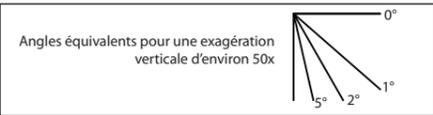
Campagne : MERCAUX 2013
(Paquet F. - <https://doi.org/10.17600/13480060>)

Matériel : Sparker SIG (ENERGOS 160) à 50 Joules ;
flûte monotrace à 6 hydrophones

Traitement : Isabelle THINON (BRGM - DGR/GBS)
Interprétation : Fabien PAQUET (BRGM - DGR/GBS)

Légende

- N Néogène indifférencié : remplissage des incisions
- e6-N e6-7 Bartonien supérieur (Priabonien?)
- e6 Bartonien : sables bioclastiques / faluns
- e5 Lutétien : calcaire bioclastique à milioles
- e3-4 Thanétien-Yprésien : sables et argiles
- c1-6 Crétacé supérieur (Cénomaniens - Campanien (Maastrichtien possible) : Craie blanche - craie glauconieuse
- n1-4 Crétacé inférieur : sables et argiles (faciès wealdien)
- j-n1-4 j Jurassique moyen à supérieur indifférencié
- j4-5 Callovien-Oxfordien : marnes et calcaires
- Failles
- Premier multiple du fond
- Deuxième multiple du fond



MX13-104

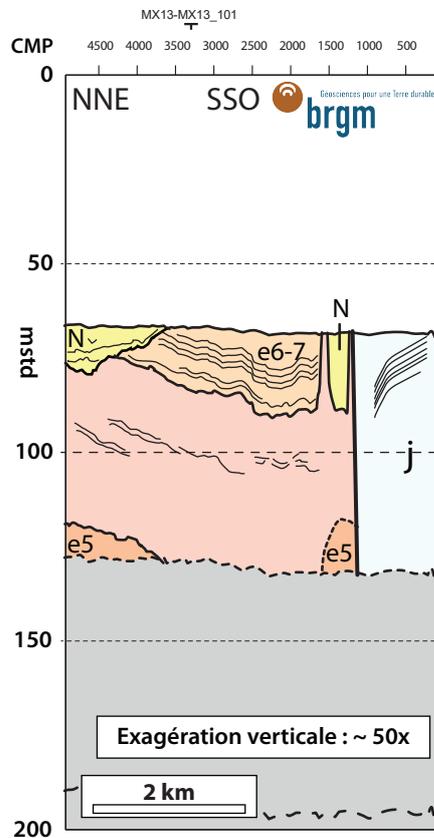
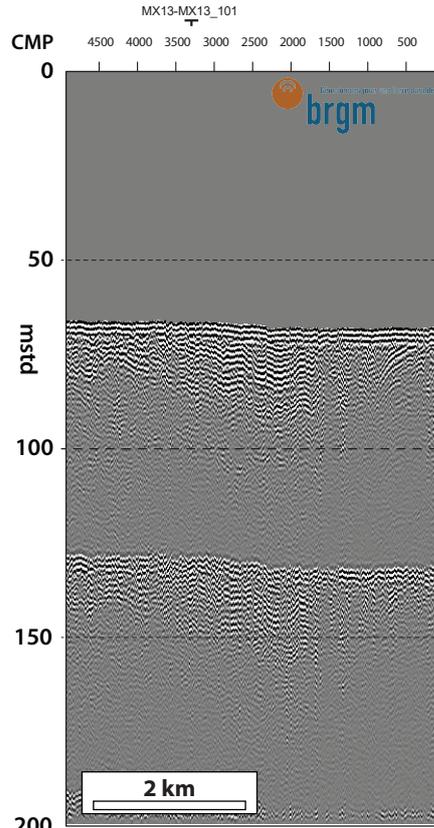
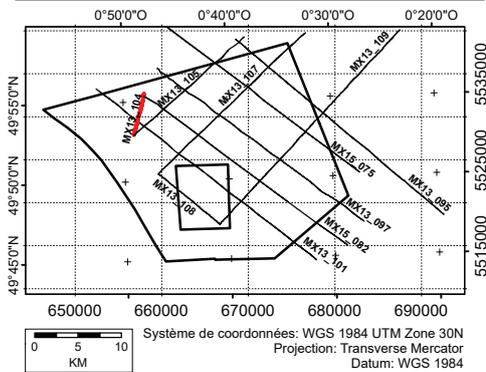
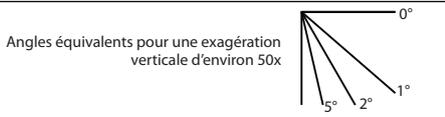
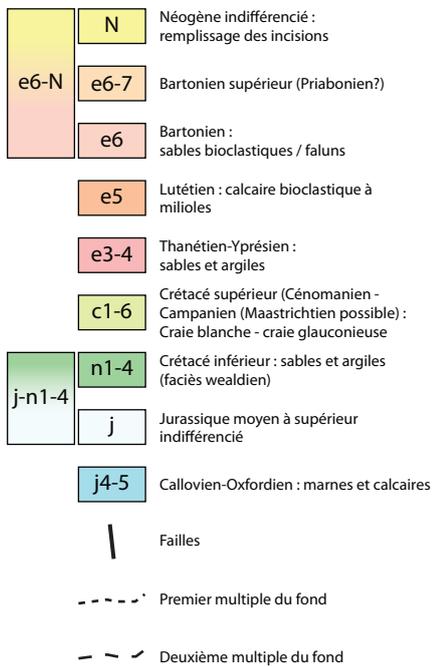
Profil de sismique marine très-haute résolution MX13-104

Campagne : MERCAUX 2013
(Paquet F. - <https://doi.org/10.17600/13480060>)

Matériel : Sparker SIG (ENERGOS 160) à 50 Joules ;
flûte monotrace à 6 hydrophones

Traitement : Isabelle THINON (BRGM - DGR/GBS)
Interprétation : Fabien PAQUET (BRGM - DGR/GBS)

Légende



2.3.2. Carte géologique de la zone d'intérêt

La carte géologique présentée ici (Figures 17 et 18) est un extrait de la carte géologique de la France à 1/250 000 – Feuille Baie de Seine (Paquet et al., en préparation), centrée sur la zone d'intérêt « Baie de Seine » de l'AO 4. Le découpage lithostratigraphique est issu des travaux antérieurs incluant Dugué et al. (2005), Benabdellouahed (2011) et Benabdellouahed et al. (2014), et des travaux propres du projet cartographique.

Les cartes présentées en figures 17 et 18 proposent respectivement une version sans et avec localisation des lignes sismiques ayant fait l'objet d'interprétation géologique (section 2.3.1).

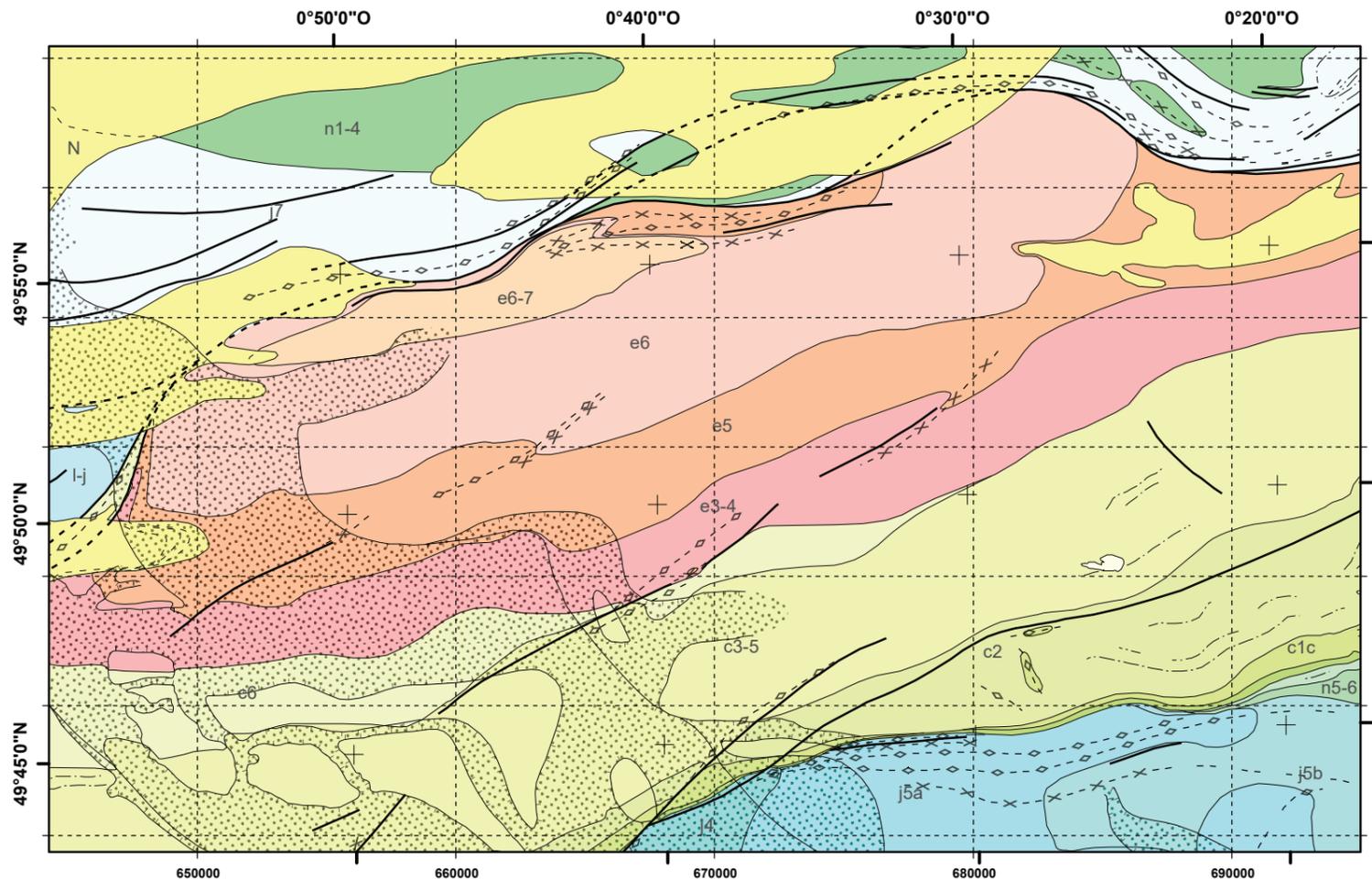
La lithostratigraphie présentée en légende des cartes est identique à celle utilisée pour les coupes et est détaillée en section 2.3.3.

Les structures figurant sur les cartes et les coupes sont discutées en section 2.3.4.

Liste des figures 17 et 18 des extraits de la carte géologique présentés dans les pages d'encart suivantes :

Figure 17 : Extrait de la carte géologique à 1/ 250 000 – Feuille Baie de Seine (©BRGM - Paquet et al. - b, In prep). Légende géologique développée en section 2.3.3.

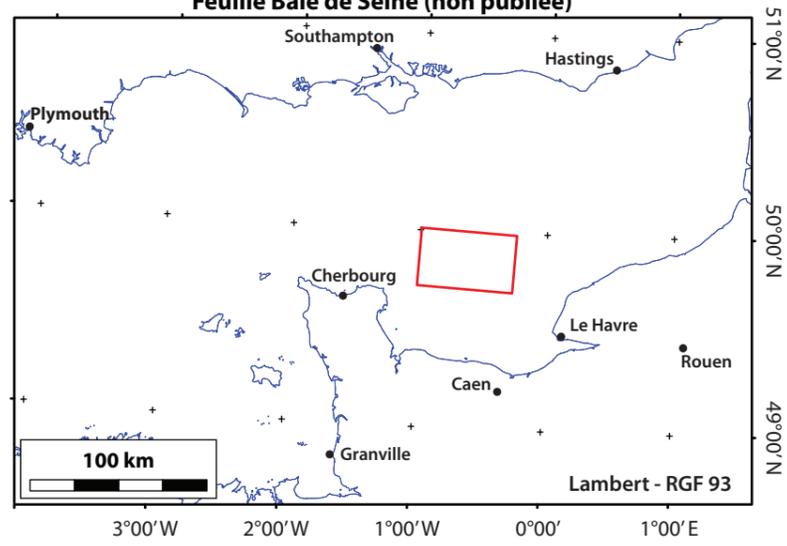
Figure 18 : Extrait de la carte géologique à 1/ 250 000 – Feuille Baie de Seine (©BRGM - Paquet et al. - b, In prep), figurant la zone d'intérêt « Baie de Seine » et la localisation des profils sismiques interprétés en section 2.3.1. Légende géologique développée en section 2.3.3.



1:250 000
Système de coordonnées: WGS 1984 UTM Zone 30N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500 000.0000
False Northing: 0.0000
Central Meridian: -3.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Unités: Meter

Auteur : Fabien PAQUET (BRGM).
Collaborateurs (extrait) : M. Benabdellouahed, O. Dugué, B. Tessier, J. Briais, E. Lasseur, I. Thिनon, P. Guennoc.
SIG : I. Bernachot.

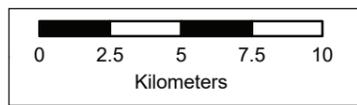
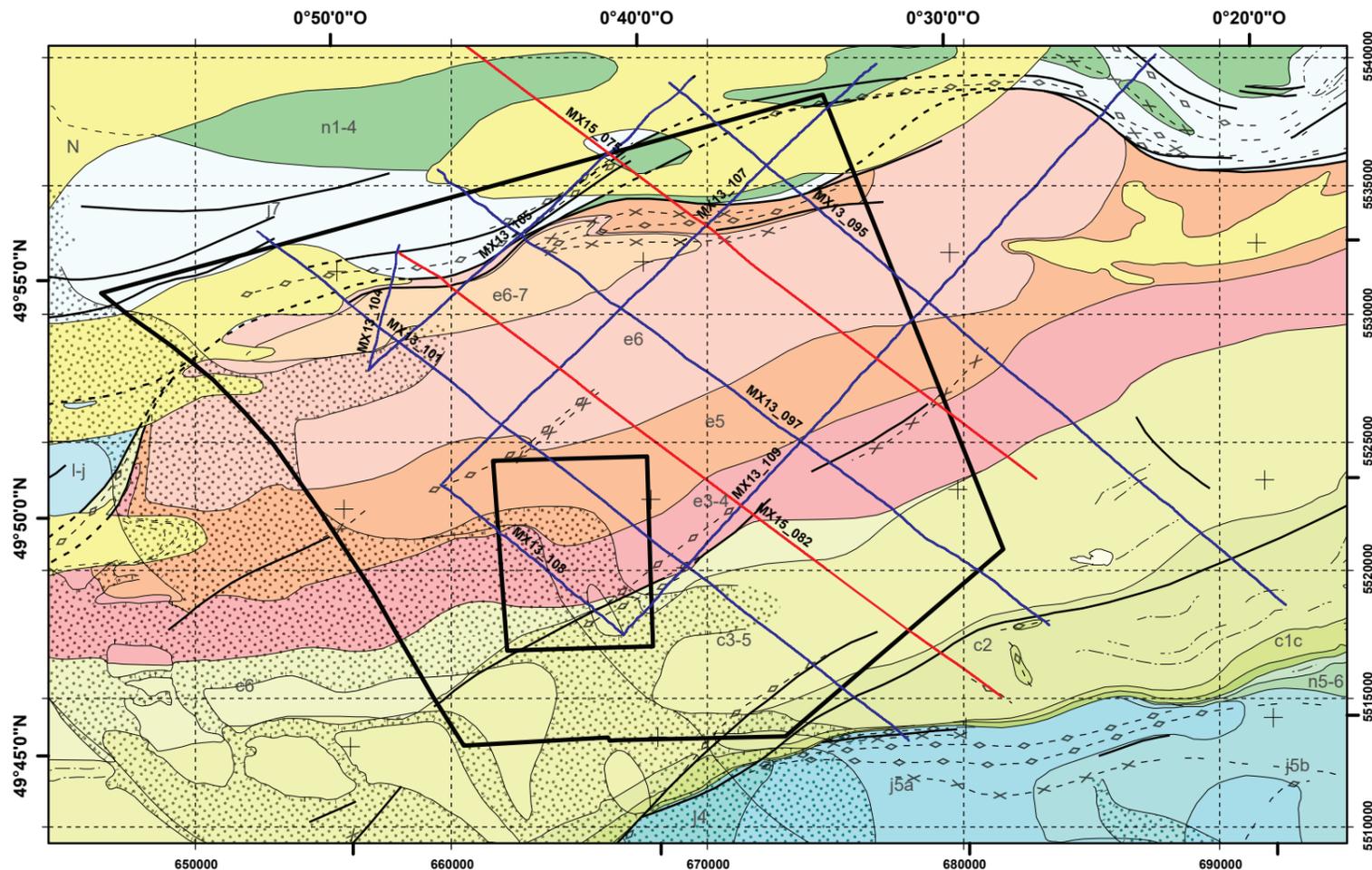
Carte de localisation de l'extrait de la carte géologique à 1/250 000
Feuille Baie de Seine (non publiée)



Géologie (stratigraphie et structures)

	Holocène marin : Sables bioclastiques (dunes)	
	Nappes alluviales du Pleistocène : sables, graviers et galets	
	Néogène indifférencié : remplissage des incisions	
	Bartonien supérieur (Priabonien?)	
	Bartonien : sables bioclastiques - silicoclastiques	
	Lutétien : calcaire bioclastique à milioles	
	Thanétien-Yprésien : sables et argiles	
	Maastrichtien probable : Craie à Baculites	
	Coniacien-Campanien : Craie blanche à silex	
	Turonien : Craie blanche	
	Cénomaniensupérieur : Craie à silex	
	Cénomaniensinférieur-moyen: Craie grise glauconieuse	
	Albien-Cénomaniens basal : marnes noires glauconieuses	
	Aptien-Albien : sables et argiles	
	Crétacé inférieur : sables et argiles (faciès wealdien)	
	Tithonien (argiles et calcaires)	
	Oxfordien moyen : calcaires	
		Oxfordien inférieur : marnes et calcaires
	Callovien : marnes à passées calcaires, marnes sableuses	

	Faillies
	Axe de pli anticlinal
	Axe de pli synclinal

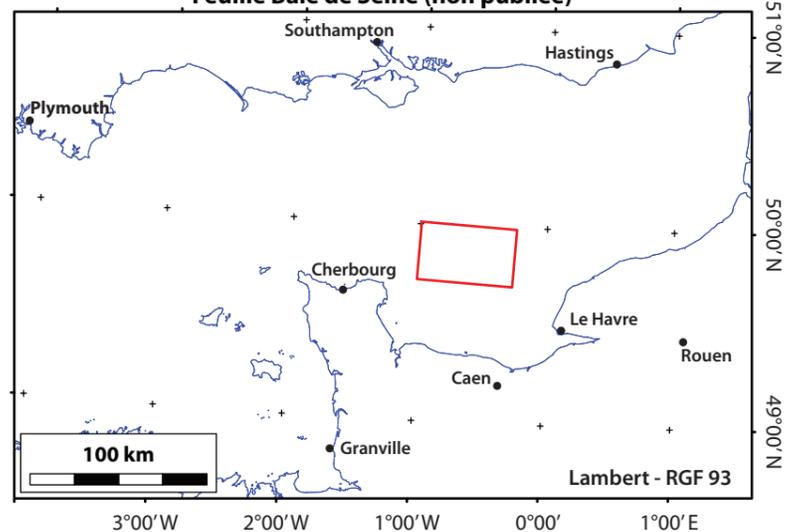


1:250 000

Auteur : Fabien PAQUET (BRGM).
Collaborateurs (extrait) : M. Benabdellouahed, O. Dugué, B. Tessier, J. Briais, E. Lasseur, I. Thिनon, P. Guennoc.
SIG : I. Bernachot.

Système de coordonnées: WGS 1984 UTM Zone 30N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500 000.0000
False Northing: 0.0000
Central Meridian: -3.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Unités: Meter

Carte de localisation de l'extrait de la carte géologique à 1/250 000
Feuille Baie de Seine (non publiée)



Géophysique / zone d'intérêt

- Profils sismique MERCAUX 2013 (MX13)
- Profils sismique MERCAUX 2015 (MX15)
- Emprise de la zone d'intérêt (EMR AO4)

Carte de localisation

- Trait de côte HISTOLITT® (©SHOM-IGN)
- Emprise de l'extrait de la carte géologique à 1/250 000 de la Baie de Seine (non publiée)

Géologie (stratigraphie et structures)

- q4M Holocène marin : Sables bioclastiques (dunes)
- Nappes alluviales du Pleistocène : sables, graviers et galets
- N Néogène indifférencié : remplissage des incisions
- e6-7 Bartonien supérieur (Priabonien?)
- e6 Bartonien : sables bioclastiques - silicoclastiques
- e5 Lutétien : calcaire bioclastique à milioles
- e3-4 Thanétien-Yprésien : sables et argiles
- c6 Maastrichtien probable : Craie à Baculites
- c3-5 Coniacien-Campanien : Craie blanche à silex
- c2 Turonien : Craie blanche
- c1c Cénomaniensupérieur : Craie à silex
- c1a-b Cénomaniensinférieur-moyen : Craie grise glauconieuse
- n6 Albiens-Cénomaniens basal : marnes noires glauconieuses
- n5-6 Aptien-Albien : sables et argiles
- n1-4 Crétacé inférieur : sables et argiles (faciès wealdien)
- j7 Tithonien (argiles et calcaires)
- j5b Oxfordien moyen : calcaires
- j5a Oxfordien inférieur : marnes et calcaires
- j4 Callovien : marnes à passées calcaires, marnes sableuses
- Failles
- Axe de pli anticlinal
- Axe de pli synclinal

2.3.3. Lithostratigraphie de la zone d'intérêt

La zone d'intérêt montre une succession sédimentaire allant du Jurassique au Quaternaire, entrecoupée de larges hiatus, majoritairement érosif, marqués par des discordances angulaires plus ou moins accusées. On peut ainsi distinguer six ensembles cohérents dans la zone d'intérêt « Baie de Seine », sur les 50-100 premiers mètres du substratum :

- Jurassique moyen à supérieur (Callovien – Oxfordien – Kimméridgien – Tithonien)
- Crétacé inférieur (Faciès du Weald – Berrisaisien – Aptien) rencontré au nord.
- Crétacé supérieur (Cénomaniens – Campanien / Maastrichtien probable)
- Paléogène (Thanétien – Bartonien / Priabonien probable)
- Néogène indifférencié en remplissage des incisions de type « fosse »
- Pléistocène moyen-supérieur en remplissage des paléovallées (Seine)

Les lithologies principales sont ici détaillées pour les différents ensembles sur la base des informations disponibles (prélèvements in-situ, corrélation aux formations à terre). Les informations découlent principalement de la synthèse et des travaux effectués par Dugué et al. (1998, 2005), repris dans Benabdellouahed (2011) et Benabdellouahed et al. (2014), Deconinck et Baudin (2008), Jollivet-Castelot et al. (in prep). La stratigraphie est illustrée en Figure 19.

a) Jurassique moyen à supérieur :

Autour de la zone d'intérêt « Baie de Seine », on retrouve les terrains jurassiques calloviens et oxfordiens au sud de l'accident majeur de la Faille Nord Baie de Seine (FNBS - voir section 2.3.4), et une succession Jurassique moyen – Tithonien mal différenciée et peu documentée au nord.

Les terrains callovo-oxfordiens de la partie sud, qui se prolongent sous les séries du Crétacé et du Cénozoïque observée vers le nord ont été reconnus par prélèvements et le long du littoral du Calvados et de la Seine Maritime (Larsonneur et al., 1974, Guyader, 1977).

Le Callovien (j4) est dominé par des alternances marno-calcaires pyriteuses à la base, passant à des marnes à foraminifères au sommet. Les formations décrites à terre, mais non différenciées en mer, se succèdent ainsi : Marnes d'Escoville (Callovien inférieur), Marnes d'Argences (Callovien inférieur), Marnes à Belemnopsis latesulcata (Callovien inférieur), Marnes sableuses et calcaires de Crèvecoeur (Callovien moyen), Marnes de Dives (Callovien supérieur).

L'Oxfordien inférieur (j5a) prolonge la tendance marno-calcaire du Callovien avec les formations des Marnes de Villers et de l'Oolithe de Villers. Il se termine par des Argiles à *Lophogregarea*.

Le passage à l'Oxfordien (j5b) moyen correspond à un retour de la sédimentation carbonatée avec les formations des Calcaires d'Auberville, des Calcaires oolithiques de Trouville (calcaires oolithiques et bioclastiques) surmonté par les formations carbonatées récifales et péri-récifales du Coral rag et du Calcaire de Blangy.

Le Jurassique supérieur continue vers l'est, hors de la carte par les séries de l'Oxfordien supérieur et du Kimméridgien, affleurant vers l'est de la Baie de Seine et au pied des falaises du Pays de Caux (Cap de la Hève). Le Kimméridgien y est surmonté par l'Aptien sableux dont il est séparé par un hiatus d'érosion / non-dépôt équivalent à l'intervalle Tithonien-Barrémien. Cette érosion correspond à une période de surrection et d'émersion associée à des mouvements tectoniques liés à l'ouverture du Golfe de Gascogne (Ziegler, 1988). Le Jurassique supérieur est également présent, au nord de la carte de la zone « Baie de Seine », où le Tithonien marno-calcaire est reconnu au forage Nautile-1 et au large du Cotentin. Ici, le Jurassique est surmonté par les faciès wealdiens du Crétacé inférieur. Il semble que le domaine structural situé au nord de la FNBS a

connu une subsidence importante, alors que le domaine au sud, au niveau de la Baie de Seine et du Calvados a connu une surrection.

b) Crétacé inférieur :

Le Crétacé inférieur, à l'instar du Jurassique, diffère de part et d'autre de la FNBS. Au nord, le Crétacé se dépose de façon concordante sur le Tithonien. Il y est représenté par une épaisse série à faciès « wealdien » (n1-4 : Berriasien – Barrémien). Cette série correspond à des dépôts de types continentaux de plaine d'inondation argilo-silteux, traversés par des chenaux sableux (Thiry et al., 2006 ; Dugué, 2007). Plus à l'est, hors de la zone d'intérêt, la série se prolonge avec les dépôts aptiens et albiens (n5-6, n6), qui vont enregistrer une importante transgression avec un passage progressif du continental, à l'estuarien et au marin peu profond. Cette logique est retrouvée sur le domaine sud de la FNBS, où l'Apto-Albien est identifié (Cap de la Hève Pays de Caux). Ces dépôts transgressifs de la fin du Crétacé inférieur (n5-6 et n6) sont visibles sur la partie est de l'extrait de la carte géologique où ils se biseautent vers l'ouest. Par contre le « wealdien » n'est pas retrouvé, confirmant ainsi la distinction entre le domaine en subsidence relative au nord de la FNBS et celui en surrection relative au sud au cours du Crétacé inférieur.

c) Crétacé supérieur :

La tendance transgressive initiée au Crétacé inférieur et qui marque le retour de la sédimentation marine se prolonge au Crétacé supérieur et va permettre la mise en place de la mer de la Craie, du Cénomaniens (c1) au Campanien (c5). Les dépôts crayeux continuent au Maastrichtien (c6), mais ont souvent non préservés du fait des érosions ultérieures (fini-crétacée et paléocène). Il est néanmoins proposé qu'ils soient présents en Baie de Seine sous la forme d'un liseré et substantiellement érodé sous les dépôts cénozoïques. Cette hypothèse provient de la découverte de Craie à *Baculites anceps* datée du Maastrichtien (Vieillard & Dollfus, 1875 ; Bignot & Larsonneur, 1969).

d) Paléogène :

Le Paléogène est préservé dans la partie nord de la Baie de Seine, sous la forme d'un synclinal asymétrique le long de la FNBS (Auffret et al., 1982).

La série débute par un intervalle Thanétien-Yprésien non différencié (e3-4), qui présente une base érosive sur le Crétacé supérieur (c3-5, c6). Cette intervalle série est également décrite dans le bassin « Manche Centrale » (Curry, 1962), dans le Bassin de Dieppe-Hampshire, et à terre, à proximité de Dieppe. Les dépôts sont à dominante sableuse à la base et évoluent vers un pôle argileux (équivalent latéral des Argiles d'Ypres) (Larsonneur, 1971 ; Auffret et al., 1983).

Au-dessus, le Lutétien (e5) est documenté par la présence de calcaires bioclastiques à miliolites et faluns (Groupe Norois, 1972 ; Benabdellouahed, 2011 ; Benabdellouahed et al., 2014).

La série est ensuite marquée par une surface d'érosion intra-Paléogène, marquant possiblement la base du Bartonien (e6). Le remplissage y est décrit comme des sables marneux, mixtes silicoclastiques et bioclastiques (Benabdellouahed et al., 2014). Cette composante terrigène associée à une érosion basale semble témoigner d'une phase de déformation et d'érosion des bordures du bassin, attribuée à l'orogène pyrénéenne.

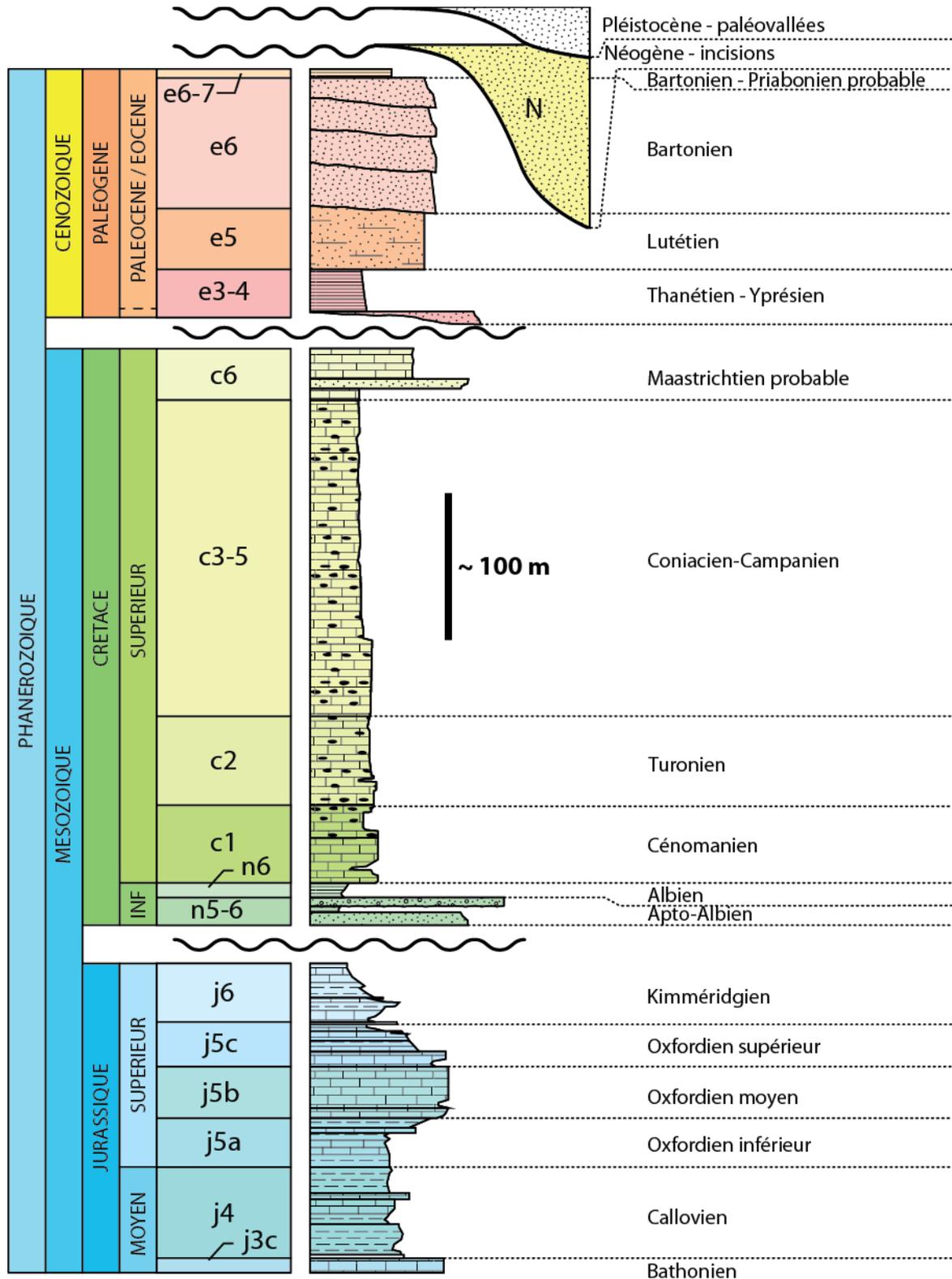


Figure 19 : Coupe schématique de la stratigraphie reprenant les principales observations et éléments décrits dans la section 2.3.3. Modifiée d'après Dugué (2007), Deconinck et Baudin (2008), et Jollivet-Castelot et al., (in prep).

La partie superficielle du bassin est marquée par la présence de faciès sismique à réflecteurs parallèles, continus et de forte amplitude, marquant un changement dans la sédimentation. Il est proposé de façon spéculative que ces dépôts soient d'âge Priabonien (e6-7), à l'instar de ce qui est observé dans le Bassin de Paris (Briais, 2015).

e) Néogène :

Les derniers dépôts associés au contexte de bassin intracratonique du Bassin de Paris dans la zone baie de Seine sont ceux de l'Eocène supérieur (Bartonien – Priabonien probable).

L'histoire géologique de la zone est ensuite marquée par une inversion sur les structures héritées (FNBS) et une surrection de la zone, vraisemblablement liée à du flambage lithosphérique, en réponse aux collisions pyrénéennes et alpines. La sédimentation n'est plus un processus étendu sur l'ensemble de la région par une subsidence généralisée propre aux contextes de bassin intracratonique (Bordure ouest du bassin de Paris). Elle est fonction de l'espace d'accommodation disponible à la sédimentation créée, soit par une montée significative du niveau marin, soit par des incisions créant des dépressions morphologiques pouvant recevoir du sédiment.

Les études effectuées en Manche ont montré la présence d'un ou plusieurs réseaux d'incisions (Larsonneur, 1971, Alduc, 1979, Auffret et al, 1980, Benabdellouahed, 2013). Ces incisions sont parfois entièrement comblées ou totalement exemptes de remplissage. Les travaux récents effectués par le BRGM et coll. dans le cadre de projets de cartographie géologique semblent montrer qu'au moins deux réseaux d'incisions principaux distincts mais superposés sont présents. Le plus ancien, dont l'âge n'a pu être déterminé précisément (entre Bartonien-Priabonien et Pléistocène) correspond à un ensemble d'incisions profondes (> 100 m) partiellement à entièrement remplies.

f) Pléistocène :

Le Pléistocène est également caractérisé par la présence d'un réseau d'incision de type paléovallées fluviales correspondant aux tracés des fleuves (Seine, Orne, Vire,...) lors des bas niveaux marins successifs du Pléistocène moyen à supérieur. Ce réseau hydrographique immergé est ainsi dans le prolongement et est connecté au réseau hydrographique actuel. Ces incisions d'une quarantaine de mètres de profondeur sont tout ou partiellement remplies. Les dépôts dans ces incisions ont été peu échantillonnés. En se basant sur les modèles de remplissage de vallées lors des fluctuations du niveau marin du Pléistocène (eg. Dalrymple et Choi, 2007 – Figure 20), les dépôts sont soit de type fluviaux (phase de chute, de bas niveau des maxima glaciaires), estuariens (lors de la transgression), ou marin (fin de transgression et haut niveau marin des stades interglaciaires).

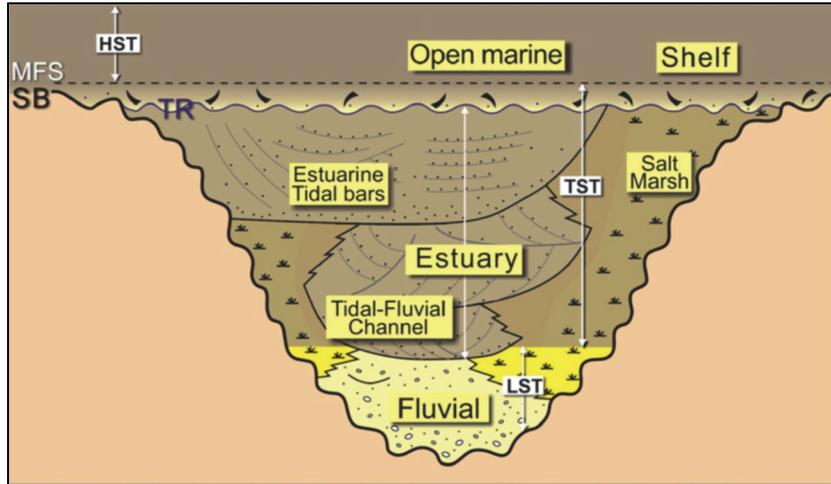


Figure 20 : Coupe schématique d'une paléovallée montrant la distribution théorique des différents types et environnements de sédimentation dans une vallée incisée et les périodes correspondantes en terme de variation du niveau marin (Dalrymple and Choi, 2007). Le « LST » (lowstand System Tract) correspond au cortège de bas niveau marin, le « TST » (Transgressive System Tract) correspond au cortège transgressif (remontée du niveau marin), et le HST (Highstand System Tract) correspond au cortège de haut niveau marin.

2.3.4. Géologie structurale

Les travaux d'interprétation sismique (section 2.3.2 et figures) et de cartographie (section 2.3.1 et figures) ont permis de mettre en évidence de nombreuses structures affectant le substratum.

L'accident tectonique majeur de la Baie de Seine et qui traverse la zone d'intérêt correspond à une structure faillée complexe « Nord Baie de Seine » (FNBS) d'orientation principale E-O, et présentant des relais NE-SO (direction cadomienne) et NO-SE (direction hercynienne). Cet accident appartient à un ensemble structural majeur en Manche se prolongeant à l'ouest au nord du Cotentin puis par la faille Ouessant-Aurigny (OSO-ENE). Vers l'est, la faille Nord Baie de Seine se connecte en relais à la faille de Fécamp-Lillebonne (FFL) d'orientation NO-SE, qui traverse le Pays de Caux et rejoint la vallée de la Seine. L'origine de cette structure de la FNBS pourrait être d'âge Cadomien (Panafriquain local) dont elle reprend une partie des directions préférentielles (SO-NE). Elle est identifiée comme et une limite de domaine tectonique de la chaîne varisque. En effet, la limite des domaines varisques « armoricains » au sud et « Léon-Saxo-Thuringien » au nord (Ballèvre et al., 2009) coïncide avec le tracé de ce système de failles FNBS-FFL (Figure 21). Le système FNBS telle qu'on l'observe actuellement sur ou proche du fond marin serait ainsi une réactivation méso-cénozoïque d'une suture océanique varisque en profondeur.

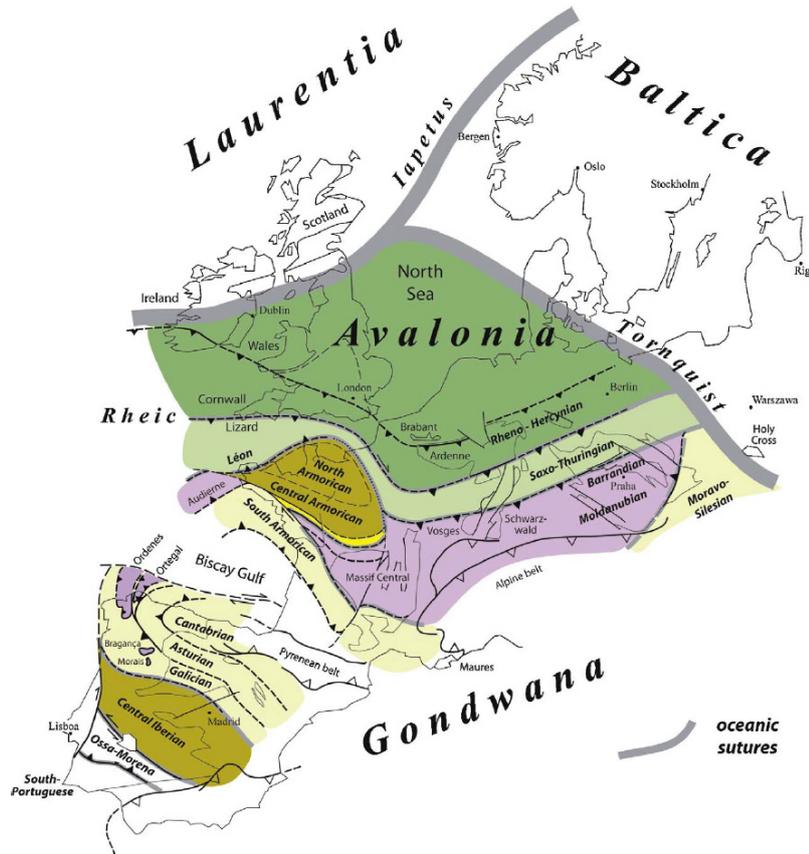


Figure 21 : Carte des domaines structuraux de la chaîne varisque tel que distribués dans leur configuration actuelle. Notez la limite entre les domaines Armoricaux et Léon-Saxo-Thuringien, qui correspond au tracé de la succession des failles Fécamp-Lillebonne, Nord Baie de Seine, et Ouessant-Aurigny (Ballèvre et al., 2009)

Au niveau de la zone « Baie de Seine », le système FNBS sépare en surface, un ensemble des terrains du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur constituant un bloc nord, de séries Paléogène (Bartonien essentiellement), constituant un bloc sud. Si la série Crétacé inférieur au nord a une épaisseur importante (centaine(s) de mètres), elle est absente ou pelliculaire au sud (limitée à la période Apto-Albien). Cette observation suggère que le bloc nord s'est abaissé au crétacé inférieur, permettant la préservation de l'épaisse série « wealdienne ». Cette tendance est inversée au Cénozoïque avec l'abaissement relatif du bloc sud permettant la préservation des dépôts paléogènes dans un synclinal asymétrique – synclinal de Baie de Seine – et l'arrivée en surface des terrains du Jurassique supérieur – Crétacé inférieur du bloc nord. L'inversion est actuellement associée aux épisodes de raccourcissement liés aux orogènes pyrénéens et alpins (intervalle de la fin Bartonien au Miocène – Benabdellouahed et al., 2014 ; Parrish et al., 2018, Jollivet-Castelot et al., In prep).

Le bloc au sud du système FNBS présente plusieurs organisations en fonction de l'âge des dépôts.

- La série Jurassique a une structure monoclinale à pendage faible vers l'ENE, caractéristique des orientations régionales des dépôts mésozoïques sur la bordure ouest

du Bassin de Paris. Elle est également parcourue par de nombreuses failles NE-SW et E-O, souvent associées à des plis.

- La série du Crétacé supérieur au Bartonien présente une structuration différente avec un pendage faible dans une direction orthogonale aux failles NBS et FL. A l'approche du système FNBS, les couches sont redressées, décrivant ainsi le synclinal asymétrique de Baie de Seine. C'est au cœur de ce synclinal que sont préservées les séries paléogènes (Thanétien-Yprésien à Bartonien – Priabonien probable).

Le bloc au nord et nord-est du système FNBS-FFL a une organisation générale de type monoclinale à pendage faible vers l'est ou le nord-est. Néanmoins, à l'approche du système FNBS, les séries du Jurassique au Crétacé supérieur sont largement déformées (Anticlinaux de différentes longueur d'onde), suggérant un couloir de déformation de plusieurs kilomètres le long de l'accident principal. Vers le NE, les séries reprennent une structure monoclinale à faible pente.

L'organisation structurale régionale est illustrée par un bloc diagramme simplifié (Figure 22) à partir des informations cartographiques et sismiques (Chantraine et al., 2003 ; Benabdellouahed, 2011 ; Paquet et al. - b, en préparation).

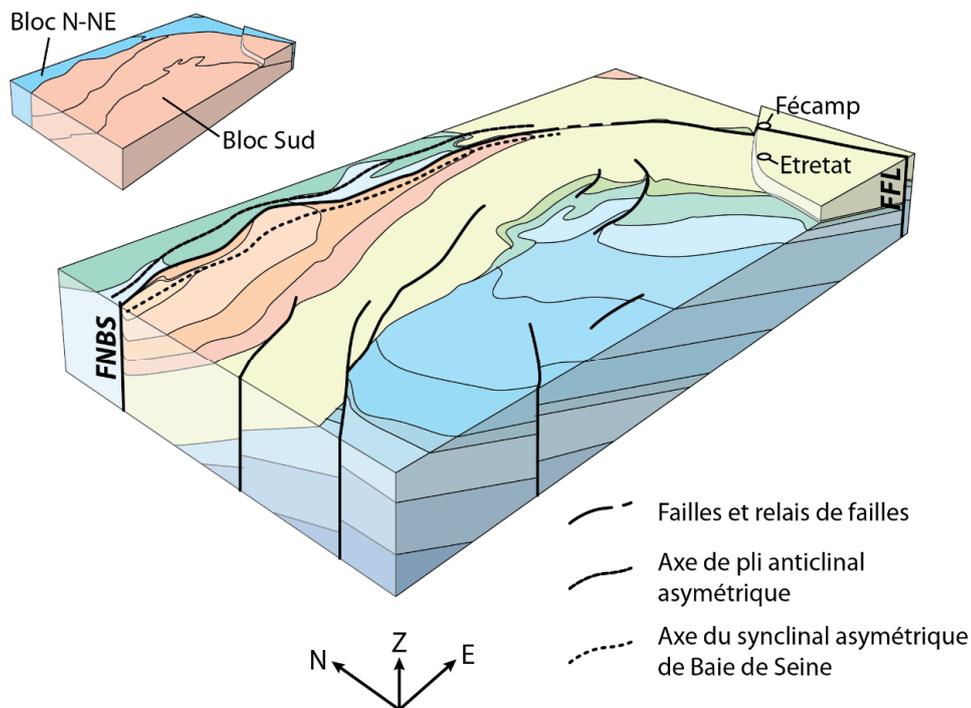


Figure 22 : Bloc diagramme tridimensionnel schématisé vue du sud-ouest, illustrant la répartition des blocs nord et sud de part et d'autre du système de faille Nord Baie de Seine (FNBS) et de la Faille de Fécamp-Lillebonne (FFL), les configurations monoclinales (eg. Jurassique du bloc sud), et les plissements le long de la FNBS (Synclinal asymétrique de Baie de Seine). Echelle verticale non respectée.

2.3.5. Carte d'isohypses du toit du substratum anté-néogène.

La Baie de Seine est parcourue par des réseaux d'incisions superposés affectant plus ou moins profondément le substratum. On peut distinguer ainsi une surface correspondant au toit du

substratum anté-néogène et à la base de l'ensemble des incisions, tous réseaux confondus. La morphologie de cette surface équivaut alors à la morphologie de l'écorché à la base du Néogène.

Méthodologie de la création de la carte d'isohypses du toit du substratum anté-néogène

La surface correspondant au toit du substratum anté-néogène et à la base de l'ensemble des incisions a été pointée numériquement sur l'ensemble des données de sismique réflexion très haute résolution disponible (campagnes BS07, BS08b, MX13 et MX15) via le logiciel d'interprétation LMKR GVERSE®.

A partir de ce pointé sismique, des épaisseurs en millisecondes temps-double (mstd) du remplissage des paléovallées (dépôt au-dessus du substratum anté-néogène) ont été calculées entre (i) le pointé de la surface d'incision et le pointé du fond marin et entre (ii) le fond marin et la surface pour chaque tir des profils sismiques. Les valeurs d'épaisseurs en mstd ont ensuite été converties en mètres en utilisant des vitesses de propagation des ondes de 1800 m.s^{-1} dans les sédiments et 1500 m.s^{-1} dans la colonne d'eau. Pour chaque trace, les épaisseurs de la tranche d'eau et des dépôts récents ont été additionnées pour obtenir la valeur d'altitude de la surface d'incision et donc du toit du substratum anté-néogène (valeurs disponibles sous forme de fichier de points (x,y,z)).

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) bathymétrique EMODnet (2018) a été converti en points (x,y,z) avec une maille de 200 m. Les points du MNT situés dans l'emprise cartographique des incisions ont été effacés. Les points (x,y,z) de la valeur d'altitude de la surface d'incision ont été intégrés aux points restants du MNT. Des points de contrôles ont été ajoutés afin de contraindre l'interpolation où la densité de points était insuffisante pour proposer un rendu réaliste.

Une interpolation de ces données par la méthode des plus proches voisins, avec une maille en sortie de 200 mètres, permet de proposer un MNT correspondant à une carte d'isohypses la surface d'incision – toit du substratum anté-néogène.

Un extrait de la carte d'isohypses la surface d'incision – toit du substratum anté-néogène centrée sur la zone d'intérêt « Baie de Seine » est présenté en figures 22 et 23 (avec localisation de la zone d'intérêt et des profils sismiques).

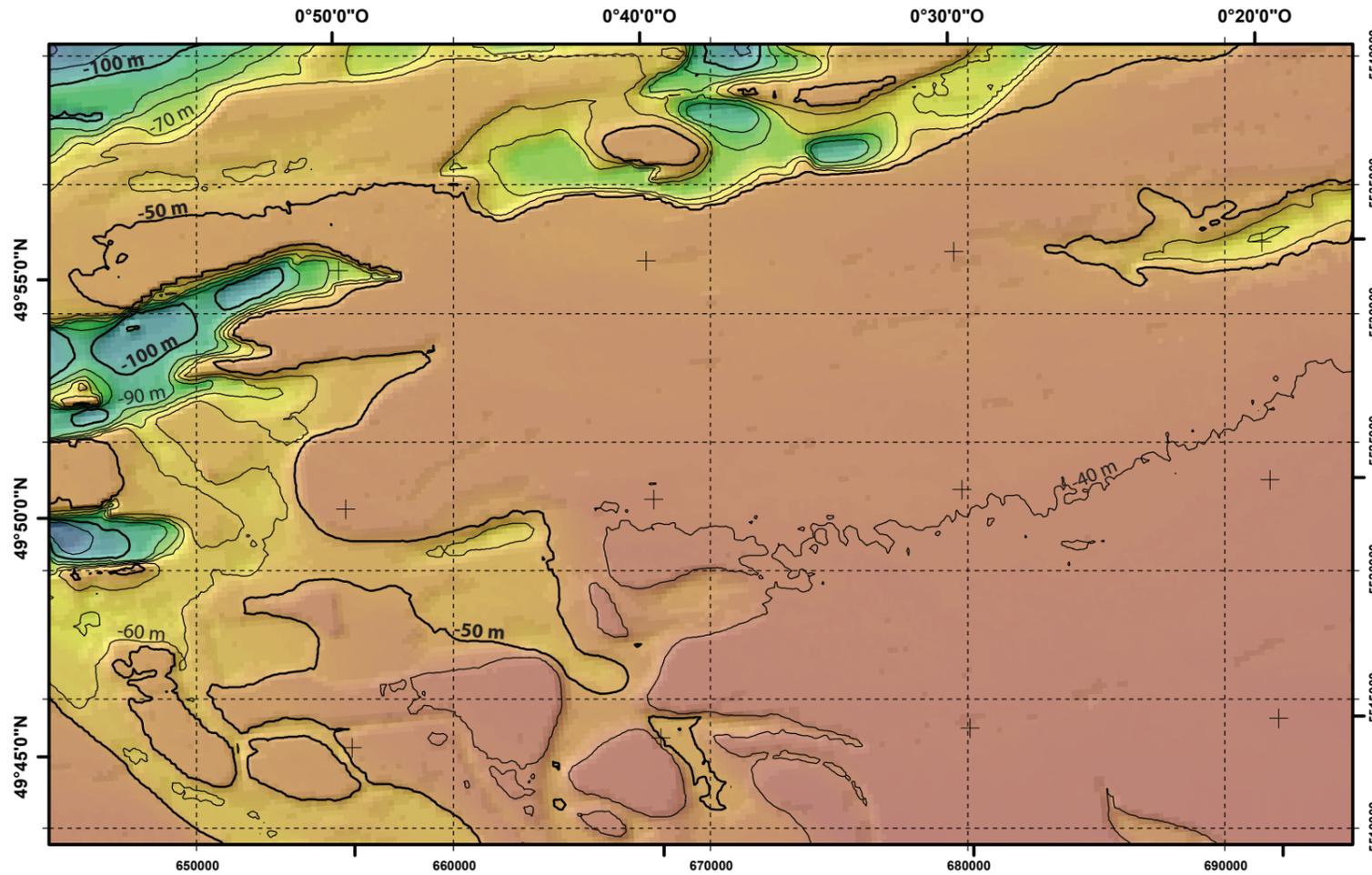
Remarque :

Comme indiqué en section 2.3.1, certaines incisions visibles sur la sismique n'ont pu être corrélées de profil à profils dû à une trop faible densité de données nécessaires pour caractériser convenablement la complexité des réseaux. Elles ne figurent pas sur la carte d'isohypses du toit du substratum anté-Néogène.

Liste des figures 23 et 24 des extraits de la carte géologique présentés dans les pages d'encart suivantes :

Figure 23 : Extrait de la carte d'isohypse du toit du substratum anté-néogène (MNT au pas de 200 m et courbes isohypses avec espacement de 10 m).

Figure 24 : Extrait de la carte d'isohypse du toit du substratum anté-néogène (MNT au pas de 200 m et courbes isohypses avec espacement de 10 m), figurant la zone d'intérêt « Baie de Seine » et la localisation des profils sismiques interprétés en section 2.3.1.



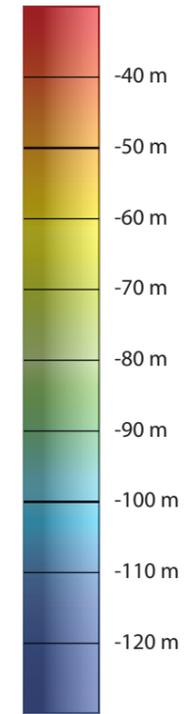
1:250 000

Auteur : Fabien PAQUET (BRGM),
SIG : O. Abid

Système de coordonnées : WGS 1984 UTM Zone 30N
Projection : Transverse Mercator
Datum : WGS 1984
False Easting : 500 000.0000
False Northing : 0.0000
Central Meridian : -3.0000
Scale Factor : 0.9996
Latitude Of Origin : 0.0000
Unités : Meter

BRGM/RP-71059-FR // AP21DGR057 // BDC DGEC 1510764980

Isohypse :
profondeur du toit du substratum
anté-néogène en mètres
(référentiel: zéro hydrographique).



Données utilisées :

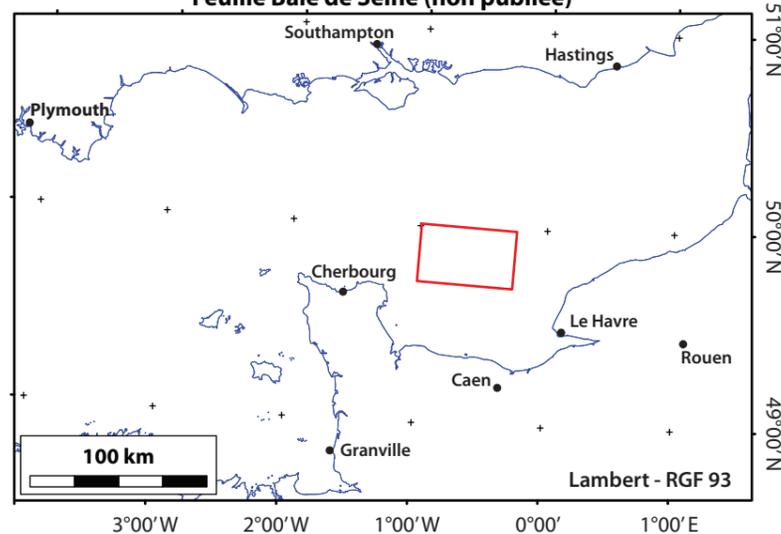
- Modèle numérique bathymétrique issu de la synthèse EMODnet (EMODnet - bathymetry lot, 2018).
<https://www.emodnet-bathymetry.eu/>



EMODnet
European Marine Observation and Data Network

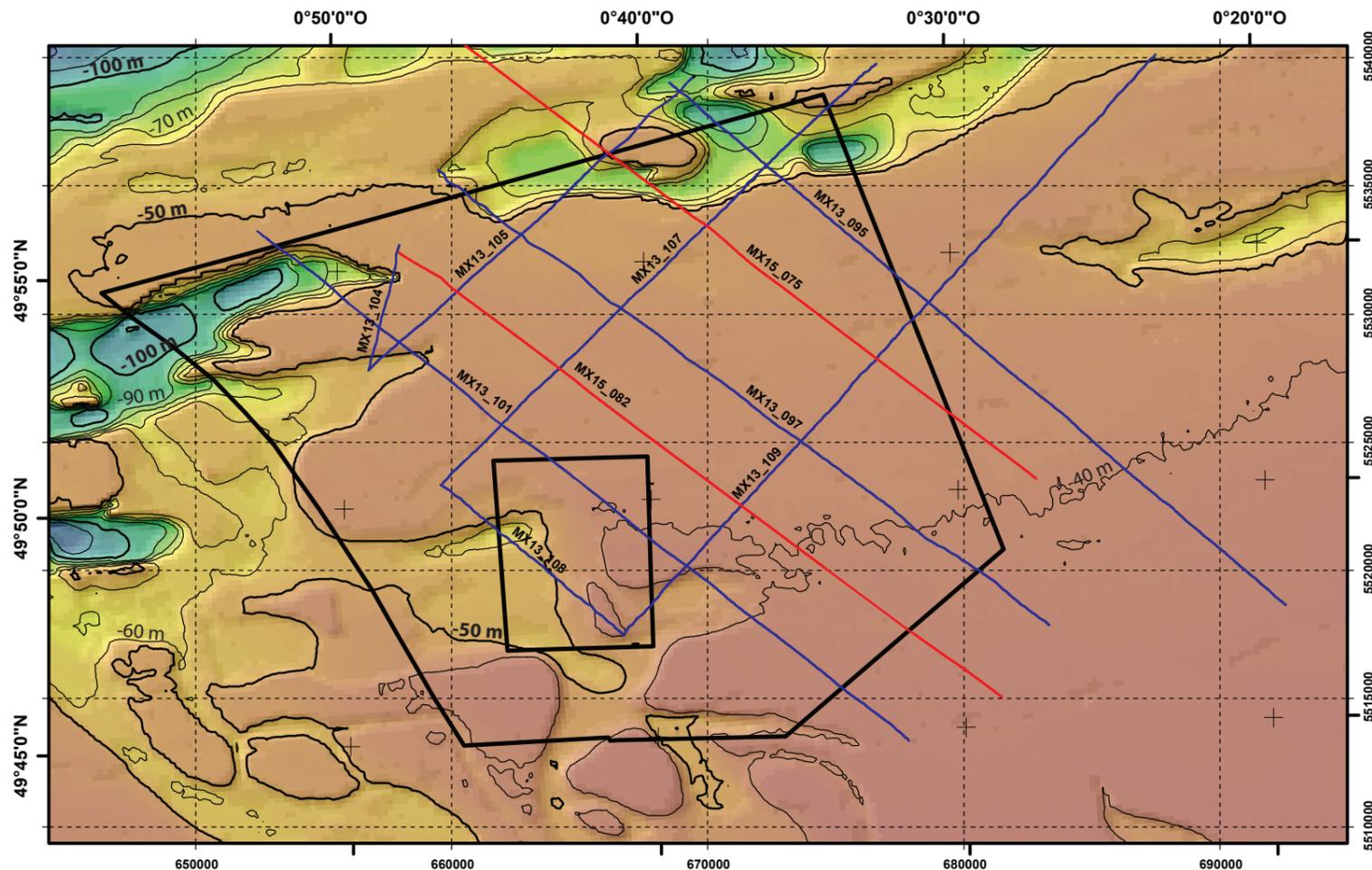
- Carte d'isopaques (épaisseur) des sédiments superficiels néogènes (dunes sous marines, remplissage des différentes incisions) établie à partir de l'interprétation des profils sismiques (campagnes BS07, BS08b, MX13, et MX15), dans le cadre du programme de cartographie et de connaissance géologique du BRGM (RGF).

Carte de localisation de l'extrait de la carte géologique à 1/250 000
Feuille Baie de Seine (non publiée)



Carte de localisation

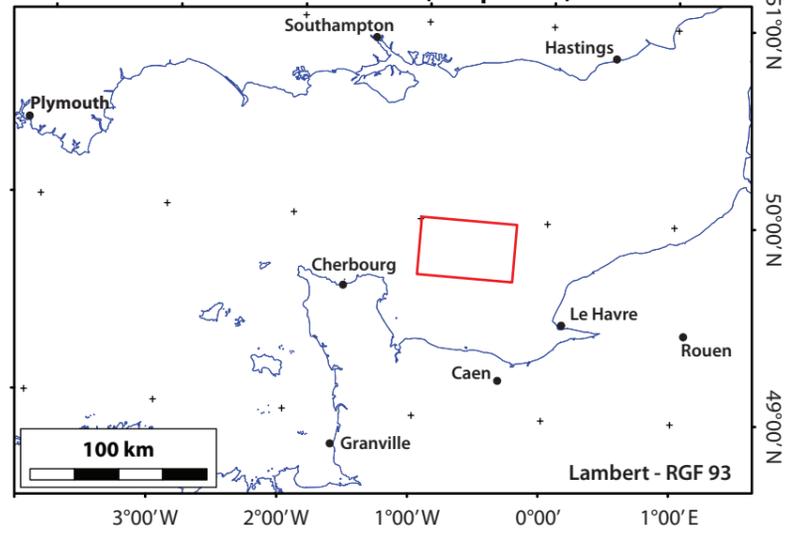
- Trait de côte HISTOLITT® (©SHOM-IGN)
- Emprise de l'extrait de la carte géologique à 1/250 000 de la Baie de Seine (non publiée)



1:250 000
Auteur : Fabien PAQUET (BRGM).
SIG : O. Abid

Système de coordonnées : WGS 1984 UTM Zone 30N
Projection : Transverse Mercator
Datum : WGS 1984
False Easting : 500 000.0000
False Northing : 0.0000
Central Meridian : -3.0000
Scale Factor : 0.9996
Latitude Of Origin : 0.0000
Unités : Meter

Carte de localisation de l'extrait de la carte géologique à 1/250 000
Feuille Baie de Seine (non publiée)



Géophysique / zone d'intérêt

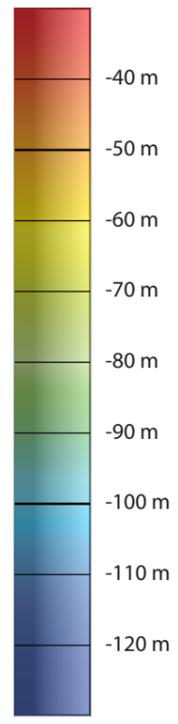
- Profils sismique MERCAUX 2013 (MX13)
- Profils sismique MERCAUX 2015 (MX15)
- Emprise de la zone d'intérêt (EMR AO4)

Carte de localisation

- Trait de côte HISTOLITT® (©SHOM-IGN)
- Emprise de l'extrait de la carte géologique à 1/250 000 de la Baie de Seine (non publiée)

BRGM/RP-71059-FR // AP21DGR057 // BDC DGEC 1510764980

Isohypse :
profondeur du toit du substratum
anté-néogène en mètres
(référentiel: zéro hydrographique).



Données utilisées :

- Modèle numérique bathymétrique issu de la synthèse EMODnet (EMODnet - bathymetry lot, 2018).
<https://www.emodnet-bathymetry.eu/>



- Carte d'isopaques (épaisseur) des sédiments superficiels néogènes (dunes sous marines, remplissage des différentes incisions) établie à partir de l'interprétation des profils sismiques (campagnes BS07, BS08b, MX13, et MX15), dans le cadre du programme de cartographie et de connaissance géologique du BRGM (RGF).

3. Conclusions

La présente étude propose un aperçu géologique de la zone d'intérêt « Baie de Seine » identifiée pour le quatrième appel d'offre pour l'éolien en mer.

Le contexte géologique régional abordé par une synthèse des travaux antérieurs, associé à la cartographie et aux coupes géologiques fournies ou produites au cours de l'étude, offrent une connaissance plus détaillée de la zone.

D'un point de vue général, la géologie de la zone d'intérêt dans les cents premiers mètres de substratum, correspond au remplissage méso-cénozoïque du bassin intracratonique de Paris. Les lithologies sont variées, avec des marnes et calcaires pour le Jurassique (Callovien à Tithonien), des sables et argiles pour le Crétacé inférieur (Berriasien-Albien), des craies dominant le Crétacé supérieur (Cénomaniens-Campanien/Maastrichtien), des sables et argiles au Paléocène supérieur-Eocène inférieur (Thanétien-Yprésien), des sables bioclastiques de type faluns à l'Eocène moyen (Lutétien), et des sables bioclastiques et silicoclastiques au Bartonien.

L'intervalle stratigraphique Callovien-Bartonien présente de nombreux hiatus de non-dépôt et d'érosion, qui ont pu être associés à des phases tectoniques qui affectent l'ouest européen (ouverture du Golfe de Gascogne, orogènes pyrénéens et alpins).

Les phases tectoniques responsables des principales discontinuités sédimentaires ont également réactivé des structures tectoniques héritées. Ainsi, à la configuration monoclinale des séries vers l'est et le centre du bassin, se superposent les déformations liées à la réactivation de ces structures. L'accident tectonique majeur traversant la zone « Baie de Seine » et affectant les dépôts est le système de Faille Nord Baie de Seine (FNBS), d'orientation globale est-ouest. Son jeu a favorisé l'abaissement de la zone au Nord du système FNBS (bloc nord) à la fin du Jurassique et pendant le Crétacé inférieur (synchrone du Golfe de Gascogne), y permettant la préservation des dépôts de cette période (absents du bloc au sud de FNBS). Au Cénozoïque, et plus particulièrement à partir du Bartonien, l'inversion tectonique de cette faille va favoriser la surrection du bloc nord et la subsidence du bloc sud. Ce dernier mouvement s'accompagne d'un développement de plis asymétriques, dont un synclinal qui permettra la préservation en son sein de la série paléogène (Thanétien-Bartonien).

Ensuite, la zone « Baie de Seine » connaît une période d'émersion régionale vraisemblablement d'âge néogène, puis des variations de forte amplitude du niveau marin au Pléistocène avec l'apparition des cycles climato-eustatiques glaciaires-interglaciaires. La surrection régionale et les variations eustatiques fortes s'enregistrent dans la région par le développement d'incisions profondes (> 100 m) et de réseaux de paléovallées associés aux fleuves arrivant dans la Baie de Seine (Seine, Vire, Orne). Ces incisions créent une morphologie complexe, mise en évidence par la carte des isohypes du toit du substratum anté-néogène.

Le manque d'échantillonnage géologique pertinent dans la zone « Baie de Seine », du fait du caractère marin de la zone, et la densité modérée des profils sismiques, limite le niveau de détail de la connaissance géologique. Les acquisitions géophysiques (sismique additionnelle, couverture bathymétrique multifaisceaux) et géologiques (sondages carottés) sont à envisager pour obtenir un niveau de connaissance permettant de lever certains points de questionnement (descriptions sédimentologiques, lithologiques et stratigraphiques complètes des séries méso-cénozoïques et du remplissage des incisions néogènes, géométrie des structures tectoniques, modèles géologiques 3D habillés en lithologies ou faciès).

4. Bibliographie

Alduc D. (1979) - La Manche orientale : étude géomorphologique du réseau des paléovallées. Thèse de Doctorat, Université de Caen, Caen, 146 p.

Anderton R. (2000). Tertiary events: the North Atlantic plume and Alpine pulses. In: Woodcock N.H. & Strachan R.A. (eds) Geological History of Britain and Ireland. Blackwell Science, Oxford, 374-391.

Antoine P., Lautridou J.-P., Laurent M. (2000). Long-term fluvial archives in NW France: response of the Seine and Somme Rivers to tectonic movements, climatic variations and sea-level changes. *Geomorphology*, 33, 183-207.

Auffret J.-P., Larsonneur C., and Smith A.J. (1980). Cartographie du réseau de paléovallées et de l'épaisseur des formations superficielles meubles de la Manche orientale. *Annales de l'Institut Océanographique* 56, 21-35.

Auffret J.-P., Alduc D. et Larsonneur C., (1982). La Manche orientale, carte des paléovallées et des bancs sableux à 1/500 000. Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

Averbuch O., Piromallo C. (2012). Is there a remnant Variscan subducted slab in the mantle beneath the Paris basin? Implications for the late Variscan lithospheric delamination process and the Paris basin formation. *Tectonophysics* 558–559, 70–83. doi:10.1016/j.tecto.2012.06.032

Ballèvre M., Le Goff E., Renan H. (2001). The tectonothermal evolution of the Cadomian belt of northern Brittany, France: 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. *Comptes Rendus Geoscience, Mécanique de l'orogénie varisque: Une vision moderne de la recherche dans le domaine de l'orogénie* Mechanics of Variscan Orogeny: A modern view on orogenic research 341, 174–201. doi:10.1016/j.crte.2008.11.009

Benabdellouahed M. (2011). La Seine fluviatile plio-quadernaire en Baie de Seine : évolution morphologique et sédimentaire (rôle du substratum géologique et des cycles climato-eustatiques). Mémoire de Thèse de Doctorat de l'Université de Caen Basse-Normandie. 310p. + annexes.

Benabdellouahed M., Dugué O., Tessier B., Thion I., Guennoc P. (2013) - Évolution pléistocène de la Seine fluviatile préservée en Baie de Seine. *Quaternaire*. 24, 3, p. 267-277.

Benabdellouahed M., Dugué O., Tessier B., Thion 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.

BGS. (1995). Wight. 1:250 000. Solid Geology. Second Edition. BGS / NERC, Edinburgh.

Bigot G., Larsonneur C. (1969) Étude du Crétacé supérieur au large du Cotentin et remarques sur les Planorbulina du Crétacé supérieur et du Paléocène. *Rev. Micropaléontologie*, 12, 1, p. 25-39.

- Bignot G. (1972). Esquisse stratigraphique et paléogéographique du Tertiaire de la Haute-Normandie. *Bulletin de la Société Géologique de Normandie*, 61, 23-47.
- Briais J., Guillocheau F., Lasseur E., Robin C., Châteauneuf J. J., and Serrano O. (2016). Response of a low-subsiding intracratonic basin to long wavelength deformations: the Palaeocene–early Eocene period in the Paris Basin. *Solid Earth* 7, 205-228.
- Briais J. (2015) Le Cénozoïque du Bassin de Paris : un enregistrement sédimentaire haute résolution des déformations lithosphériques en régime de faible subsidence. Thèse de Doctorat - l'Université de Rennes 1, Mémoires Géosciences Rennes, 450p.
- Chantraine J., Autran A., Cavellier C. (2003). Carte géologique de la France au 1/1 000 000 – 6^{ème} édition révisée. Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), Orléans.
- Cordy J.-M., Carpentier G., Lautridou J.-P. (2003). Les paléo-estuaire du stade isotopique 7 à Tourville-La-rivière et à Tancarville (Seine) : faune de rongeurs et cadre stratigraphique. *Quaternaire* 14 (1), 15-23.
- Dalrymple RW, Choi K. (2007). Morphologic and facies trends through the fluvial–marine transition in tide dominated depositional systems: a schematic framework for environmental and sequence stratigraphic interpretation. *Earth-Science Reviews* 81: 135–174.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.10.002>
- Dangeard L. (1972). Historique des premières recherches de géologie sous-marine dans la Manche. *Mém. B.R.G.M.* 79, p. 13-15.
- Davis A.G., Elliott G.F. (1957). The palaeogeography of the London Clay sea. *Proceedings of the Geologists Association*, 87, 1-26.
- Deconinck J.-F., et Baudin F. (2008). Les dépôts du Kimmeridgien et du Tithonien du Nord-Ouest du Bassin de Paris (Haute-Normandie, Boulonnais). *Ann. Soc. Geol. Du Nor*, T15, 77-90.
- Dugué O., Fily G., Rioult M. (1998). Le Jurassique des Côtes du Calvados. *Biostratigraphie, sédimentologie, paléocologie, paléogéographie et stratigraphie séquentielle*. *Bull. trim. Soc. géol. Normandie et Amis du Muséum du Havre*, 85, (2), 132 p.
- Dugué O. (2003). The Pliocene to Early Pleistocene marine to fluvial succession of the Seuil du Cotentin basins (Armorican Massif, Normandy, France) Dugué, O., Lautridou, J.-P., Quesnel, F., Clet, M., Poupinet, N., Bourdillon, C. 2009. Evolution Sédimentaire Cénozoïque (Paléocène à Pléistocène) de la Normandie. *Quaternaire*, 20, 275-303.
- Dugué O., Lautridou J.-P., Quesnel, F., Clet M., Camuzard J.-P., Coutard, S., Bourdillon C., Freslon M., Auffret J.-P., Laville E., Gain O. (2005). Le Cotentin du Mésozoïque au Cénozoïque. *Bull. inf. Géol. Bassin de Paris*, 42, (2), p. 6-68.
- Dugué O., Lautridou J.-P., Quesnel F., Clet M., Poupinet N., Bourdillon C. (2009). Évolution sédimentaire cénozoïque (Paléocène à Pléistocène inférieur) de la Normandie. *Quaternaire* 20 (3), 275-303.
- Gibbard P. (1988). The history of the great northwest European rivers during the last three million years. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 318, 559-602.
- Gibbard P., Lewin J. (2003). The history of the major rivers of southern Britain during the Tertiary. *Journal of the Geological Society of London*, 160, 829-845.

Groupe Norois (1972). Contribution à l'étude stratigraphique des terrains affleurant en Manche centrale et orientale. Mém. B.R.G.M., 79, p.123-170.

Guennoc P. (2008). SEINE HR croise, RV Côtes De La Manche.
<https://doi.org/10.17600/8480120>

Guillocheau F., Robin C., Allemand P., Bourquin S., Brault N., Dromart G., Friedenber R., Garcia J.-P., Gaulier J.-M., Gaumet F., Grosdoy B., Hanot F., Le Strat P., Mettraux M., Nalpas T., Prijac C., Rigollet C., Serrano O., Grandjean G. (2000). Meso-Cenozoic geodynamic evolution of the Paris Basin: 3D stratigraphic constraints. *Geodinamica Acta* 13, 189–245. doi:10.1016/S0985-3111(00)00118-2

Guyader J. (1977). Le Quaternaire de la zone portuaire havraise. *Bulletin de la Société Géologique de Normandie*

Amis du Muséum du Havre, LXIV (4), 39-63.

Hamblin R.J.O., Crosby A., Balson P.S., Jones S.M., Chadwick R.A., Penn I.E. & Arthur M.J. (1992). *The Geology of the English Channel*. United Kingdom Offshore Regional Report. BGS. 109 p.

Head, M.J. & Gibbard, P.L., (2015). Early–Middle Pleistocene transitions: linking terrestrial and marine realms. *Quaternary International*, 389, 7-46.

Inglis J.D., Samson S.D., D'Lemos R.S., Hamilton M. (2004), U–Pb geochronological constraints on the tectonothermal evolution of the Paleoproterozoic basement of Cadomia, La Hague, NW France. *Precambrian Research* 134, 293-315.

Jamet G. (2015). Réponses sédimentaires d'un bassin versant côtier aux variations glacio-eustatiques et au soulèvement plio-quaternaires : l'exemple du bassin versant côtier de la Baie de Seine (Seine, Touques et Dives). Thèse de Doctorat, Université de Caen Basse-Normandie, Caen. 418p.

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

King C. (2016). A revised correlation of Tertiary rocks in the British Isles and adjacent areas of NW Europe. Edited Gale, A.S., Barry, T.L., Geological Society of London, Special Reports, 27, 441-457. doi:10.1144/SR27.

Lagarde J.L., Amorese D., Font M., Laville E., Dugué O. (2003). The structural evolution of the English Channel area. *J. Quaternary Sci.* 18, 201–213. doi:10.1002/jqs.744

Larsonneur C. (1971). *Manche centrale et Baie de Seine : géologie du substratum et des dépôts meubles*. Thèse de doctorat d'État, Univ. De Caen, France, 394 p.

Larsonneur C. (1972). Données sur l'évolution paléogéographique post-hercynienne de la Manche. Mém. B.R.G.M., 79, p. 203-214.

Larsonneur C., Horn R., Auffret J., Hommeril. P., Moal A. (1974) *Géologie de la partie méridionale de la Manche centrale*. Phil. Trans. Royal Society London, A 279, p. 145-153.

Lautridou J.-P. (2003). La datation du Quaternaire normand : tableaux des éléments de datation et de la chronostratigraphie. *Quaternaire* 14 (1), 65-71.

Linnemann U., Gerdes A., Hofmann M., Marko L. (2014). The Cadomian Orogen: Neoproterozoic to Early Cambrian crustal growth and orogenic zoning along the periphery of the West African Craton—Constraints from U–Pb zircon ages and Hf isotopes (Schwarzburg Antiform, Germany). *Precambrian Research* 244, 236-278.
doi:10.1016/j.precamres.2013.08.007

Mitchum R.M. Jr., Vail P.R. (1977) - Seismic stratigraphy and global changes of sea-level, part 7. Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: Payton, C.E. (Ed.), *Seismic Stratigraphy Applications to Hydrocarbon Exploration*. Memoir of the American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, 26, p. 135-144.

Murray J.W. (1992). Palaeogene and Neogene. In: Cope J.C.W., Ingham J.K. & Rawson P.F. (eds) *Atlas of Palaeogeography and Lithofacies*. Geological Society, London, *Memoirs*, 13, 141–147.

Paquet F. (2013). MERCAUX 2013 cruise, RV Côtes De La Manche,
<https://doi.org/10.17600/13480060>

Paquet F. (2015) MERCAUX 2015 cruise, RV Thalia.
<https://doi.org/10.17600/15010000>

Paquet F., Thion I., Dugué O., Tessier B., Benabdellouahed M., Lasseur E., Briaux J., Couëffé R., Guennoc P., Gaullier V. (in preparation). The Central English Channel troughs: major source-to-sink remnants or giant tidal scours? *Marine and Petroleum Geology*.

Paquet F., Benabdellouahed M., Dugué O., Tessier B., Thion I., Briaux J., Lasseur E. (in preparation). Carte géologique de la France à 1/250 000 – Feuille Baie de Seine. BRGM.

Parrish, R.R., Parrish, C.M., Lasalle, S. (2018). Vein Calcite dating reveals Pyrenean orogen as cause of Paleogene deformation in southern England. *Journal of the Geological Society*, 175, 425-442.

Plint A.G. (1982). Eocene sedimentation and tectonics in the Hampshire Basin. *Journal of the Geological Society*, London, 139, 249–254.

Pomerol C. (1973). *Ere Cénozoïque*. Dion, Paris

Tessier B., Guennoc P. (2007). BAISEINE cruise, RV Cote D'Aquitaine.
<https://doi.org/10.17600/7410020>

Vieillard E., Dollfus G. (1875) Étude géologique sur les terrains crétacés et tertiaires du Cotentin.- *Bull. Soc. linn. Normandie*, IX, (2), 182 p.

Ziegler P.A. (1988). Evolution of the Arctic-North Atlantic and Western Tethys. *AAPG Memoir* 43, 198 p.

Ziegler P.A. (1990). *Geological atlas of Western and Central Europe* Shell Intern. Petrol. Maatschappij B. V., 2nd edit., 239 p.



Centre scientifique et technique

Direction des Géoressources

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34

www.brgm.fr