

CONCOURS G2E

GÉOLOGIE

Durée : 3 heures

Les calculatrices programmables et alphanumériques sont interdites.

L'usage de tout ouvrage de référence et de tout document est strictement interdit.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il en fait mention dans sa copie et poursuit sa composition. Dans ce cas, il indique clairement la raison des initiatives qu'il est amené à prendre.

Les candidats doivent respecter les notations de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question posée.

Une grande attention sera apportée à la clarté de la rédaction et à la présentation des différents schémas.

Attention ! Les figures 3 et 4 ainsi que le tableau 3, en annexe, sont à rendre. Toutes ces figures sont à découper et coller sur votre copie.

EXPLORATION PÉTROLIÈRE EN ZONE SUBARCTIQUE

Le Viking Graben, bassin sédimentaire situé en Mer du Nord (figure 1), entre le Royaume-Uni et la Norvège, est une zone riche en pétrole et en gaz. Ce bassin s'est mis en place à partir du Permien à la suite de l'effondrement de la chaîne hercynienne, et en association avec l'ouverture de l'Océan Téthys.

Dans cette région pétrolière, une huile de référence reconnue mondialement est exploitée. Elle provient fréquemment d'une roche mère jurassique appartenant au Groupe du Brent (figure 2). L'huile a été expulsée, puis a migré le long des failles ou dans la porosité connectée des roches sédimentaires pour être finalement piégée dans des réservoirs datés du Jurassique (Groupe Viking), du Crétacé inférieur (Groupe Cromer Knoll), ou du Crétacé supérieur (Groupe Shetland).

Introduction

L'histoire géologique du bassin enregistre plusieurs épisodes géodynamiques :

- Un rifting avec une extension permo-triasique de direction E-W, probablement associée à l'effondrement gravitaire de la chaîne hercynienne. Le rifting est accompagné d'une subsidence thermique post-extensive durant le Trias et le Jurassique.
- Une seconde période de rifting avec une extension E-W au Méso-cénozoïque, suivie également d'un stade de subsidence thermique post-extensif. Cette période de rifting majeur crée des systèmes de failles normales en horsts et grabens, et est le siège d'une sédimentation syn-rift.
- Une grande période de surrection régionale à la fin du Cénozoïque, en relation avec un volcanisme intense, qui entraîne un basculement global des couches et une érosion majeure.

Nous nous proposons ici de mieux définir l'histoire géologique du bassin en exploitant des données géophysiques : un profil sismique et un sondage diagraphique.

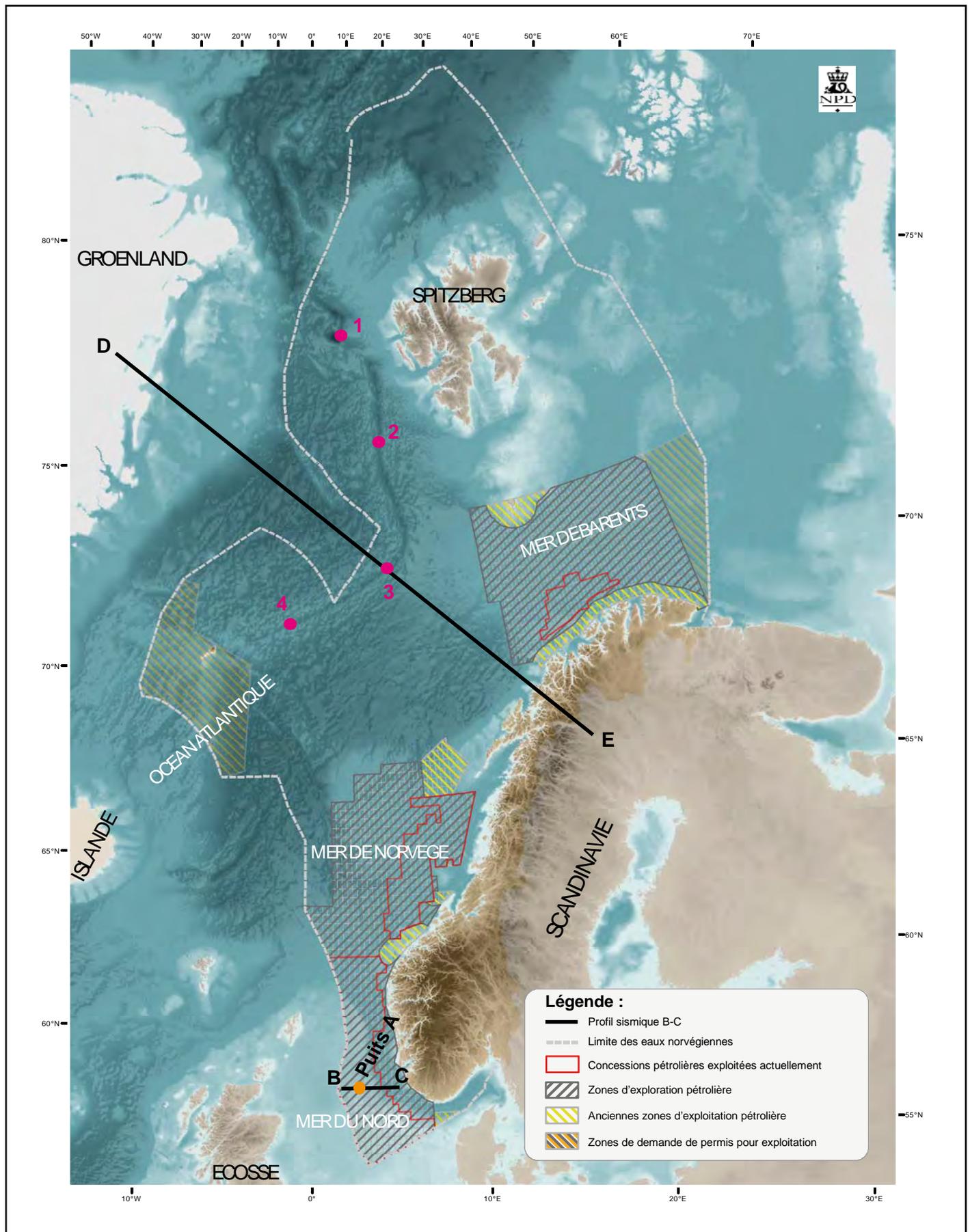


Figure 1 : Modèle numérique de terrain de l'Europe du Nord avec localisation des zones d'exploitation pétrolière dans les eaux norvégiennes (source : www.npd.no). La bathymétrie et la topographie sont indiquées en couleur. En domaine marin, les couleurs vont du bleu sombre pour les zones profondes, au bleu clair pour les zones peu profondes. Sur les continents, les couleurs varient du blanc pour les zones sub-émergées, au marron foncé pour les hautes altitudes.

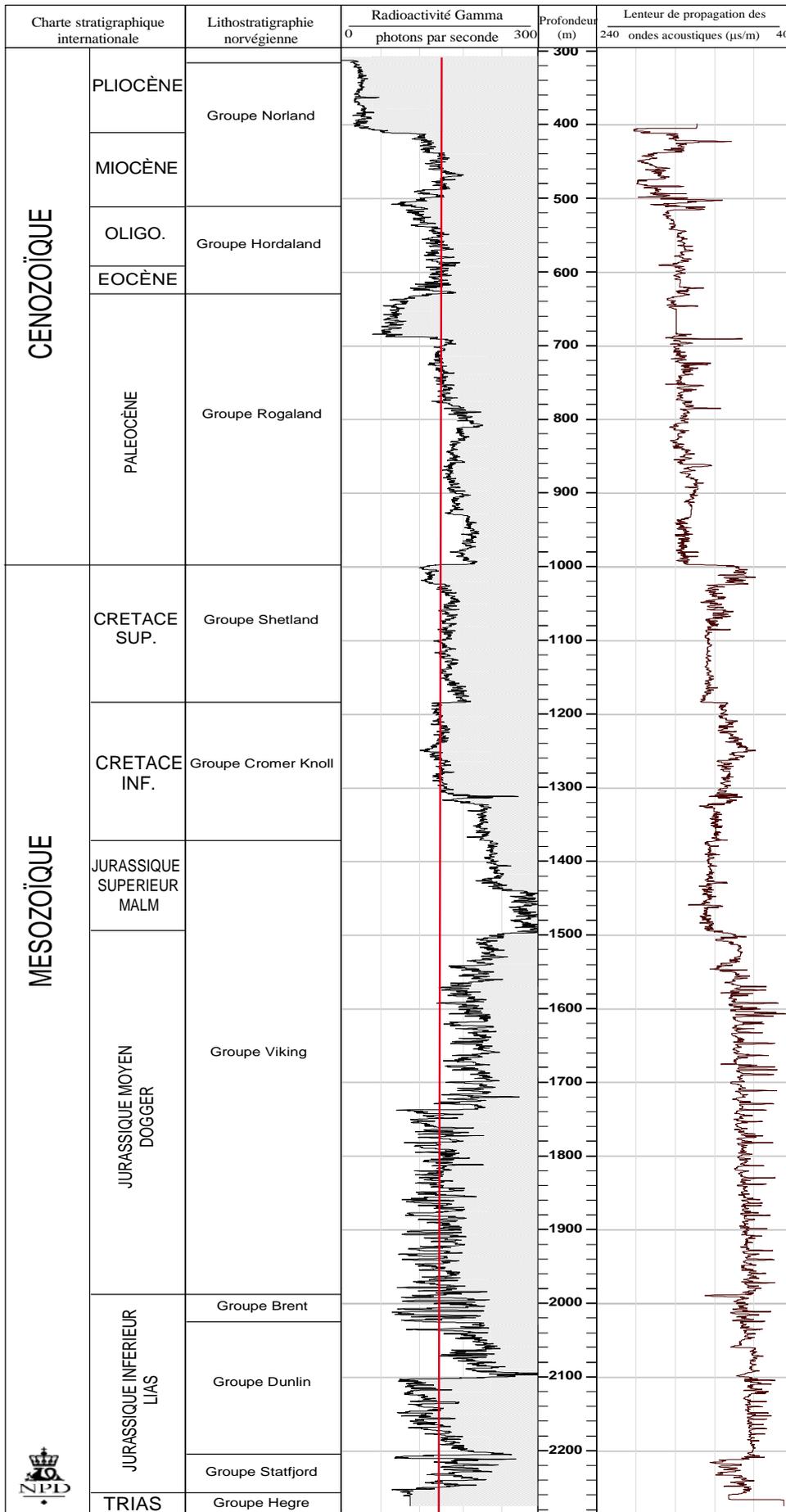


Figure 2 : Sondage diagraphique réalisé au puits A. La ligne rouge marque la limite entre les roches radioactives et celles non-radioactives. L'étoile indique la mise en évidence de kérogène dans la roche-mère pétrolière (source : www.npd.no).

1. ANALYSE MORPHOLOGIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE (2 POINTS)

- 1.1. Quelle structure géologique peut-on reconnaître le long des points 1, 2, 3 et 4 (figure 1) ?
- 1.2. La Mer du Nord est-elle un océan ? Justifiez votre réponse en réalisant une analyse morphologique des fonds marins.
- 1.3. Quel type de marge observe-t-on sur les côtes orientales du Groenland ? Justifiez votre réponse par une analyse morphologique des fonds marins et en réalisant une coupe topographique « à main levée » le long du profil D-E.
- 1.4. Sachant que la topographie est étroitement liée à la densité, donc à la composition minéralogique de la lithosphère, selon le principe de l'isostasie, habillez et interprétez géologiquement le profil D-E en ajoutant les grandes familles de roches composant le sous-sol le long de la coupe. Tracez la base de la croûte ainsi que la base de la lithosphère, pour montrer les variations d'épaisseur le long du profil.
- 1.5. Une chaîne de montagne d'orientation NNE-SSW longe la côte scandinave (figure 1). Des échantillons de granite contemporains de l'orogène sont datés autour de 425 Ma par radiochronologie. Au cours de quelle orogénèse s'est formée cette chaîne de montagne ?

2. ANALYSE DU SONDAGE (5 POINTS)

Un forage a été effectué en pleine mer, au large des côtes norvégiennes (figure 2). Il recoupe l'ensemble des formations sédimentaires jusqu'au Trias.

En plus d'une datation biostratigraphique (fossiles), plusieurs mesures physiques ont été effectuées :

- La radioactivité naturelle des roches émettant des photons gamma, mesurée en nombre de photons par seconde (cps). Les roches naturellement radioactives sont les granites et les argiles. Les roches peu radioactives sont les basaltes, les grès, les calcaires et les évaporites.
- La lenteur (inverse de la vitesse $L=1/V$) de propagation des ondes acoustiques dans la roche, mesurée en microsecondes par mètre.

- 2.1. Quel est le principe physique de la sismique réflexion ?
- 2.2. Quelle est la mesure physique utilisée dans le forage se rapprochant le plus du principe de la sismique réflexion ? A partir de cette mesure physique, comment peut-on repérer des horizons sismiques plus réfléchissants ? Comment peut-on caler un sondage sur un profil sismique ?
- 2.3. Quel est le groupe stratigraphique le plus argileux ? Justifiez votre réponse.
- 2.4. Durant leur enfouissement (subsidence), sous le poids des sédiments se déposant au-dessus, les roches sont compactées en fonction de leur nature (tableau 1). Ainsi les roches magmatiques et le sel gemme ne se compactent pas, tandis que le taux de compaction des argiles est de 4 en profondeur.

Calculez l'épaisseur sédimentaire décompactée pour chacune des périodes ou époques géologiques : Trias, Lias, Dogger, Malm, Crétacé inférieur, Crétacé supérieur, Paléocène, Eocène, Oligocène, Miocène et Pliocène. Tracez ainsi la courbe cumulée de cette accumulation sédimentaire (courbe d'enfouissement) au puits A sur la figure 3.

Roche	Densité	Radioactivité naturelle (cps)	Lenteur de propagation des ondes acoustiques ($\mu\text{s} / \text{ft}$)	Taux de compaction
Calcaire	2.71	40-80	45-50	2
Grès	2.65	70-150	55-60	2
Argile	2.5	>150	80-100	4
Halite (sel gemme)	2.05	0	70	1
Granite	2.75	>150	40-45	1
Basalte	2.9	0	35-45	1

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des principales roches ($1 \text{ ft} = 0,33 \text{ m}$)

3. INTERPRETATION SISMIQUE (5 POINTS)

- 3.1. Sur le profil sismique (figure 4), tracez en rouge les différentes failles. Indiquez par de petites flèches rouges le mouvement relatif des différents compartiments. S'agit-il de failles normales, inverses, décrochantes dextres, ou décrochantes sénestres ? Justifiez votre réponse.
- 3.2. A partir du calage temps-profondeur donné dans le tableau 2, et en vous aidant du puits A (figure 2), pointez sur le profil (figure 4) le réflecteur délimitant le toit de chaque époque stratigraphique, en respectant **impérativement** les couleurs indiquées.

Temps double sismique (secondes)	Profondeur dans le puits (mètres)	
0,616	500	
0,724	600	
0,828	700	
0,936	800	
1,038	900	
1,138	1000	
1,218	1100	
1,306	1200	
1,378	1300	
1,458	1400	
1,5446	1500	
1,616	1600	
1,68	1700	
1,744	1800	
1,804	1900	
1,8596	2000	
1,92	2100	
1,976	2200	
2,036	base du puits	

Rose : sommet du Trias,
Violet : sommet du Lias,
Bleu ciel : sommet du Dogger,
Bleu foncé : sommet du Malm,
Vert clair : sommet du Crétacé inférieur,
Vert foncé : sommet du Crétacé supérieur,
Jaune : sommet du Paléocène,
Orange : sommet de l'Eocène,
Marron : sommet de l'Oligocène

Tableau 2 : Calage temps-profondeur du puits A avec le profil sismique.	Code des couleurs
---	-------------------

- 3.3. Sur le profil sismique, entre la surface et 0,8 secondes temps-double, les réflecteurs permettent de mettre en évidence une configuration géométrique particulière. Dans cet intervalle, pointez ces réflecteurs. Quelle est la structure géologique reconnue ? A l'aide d'un schéma, expliquez son origine.
- 3.4. D'après le calage puits-sismique, quel est l'âge de cette structure géologique ? Pointez l'âge avec une flèche sur la courbe d'enfouissement (figure 3).
- 3.5. Coloriez en rose, sur la figure 4, toute la période « syn-rift » visible le long du profil sismique. Dotez ainsi, grâce au calage temps-profondeur, le début, la fin et la durée de ce rifting. Délimitez sur la courbe d'accumulation (figure 3) la période « syn-rift ».
- 3.6. A quel évènement majeur mondial connu, peut-on rattacher ce rifting ?

4. ANALYSE DU SYSTEME PETROLIER (4 POINTS)

- 4.1. Le kérogène analysé et repéré dans le puits A (étoile, figure 2), a produit uniquement de l'huile. Contrairement à du charbon, la teneur de l'huile en hydrogène est supérieure à celle du carbone : $H/C > 1$. Quelle est l'origine de cette matière organique ? Quel(s) est (sont) le(s) milieu(x) de dépôts adéquat(s) pour produire et conserver ce type de kérogène ?
- 4.2. Le « flat-spot », contraste acoustique entre l'eau et le pétrole plus léger, contenu dans la roche, met en évidence un réservoir pétrolier. Il est visible sur le profil sismique (réflecteur coloré, souligné entre 1,6 et 1,7 secondes). Quel est l'âge de ce réservoir ?
- 4.3. Pour être expulsés de leur roche-mère (étoile sur le puits A, figure 2), il est nécessaire que les hydrocarbures soient à une température dite de crackage d'environ 80°C. En prenant un gradient géothermique moyen, et en vous appuyant sur la courbe d'accumulation tracée auparavant (figure 3), à partir de quelle époque, le kérogène repéré dans le forage a-t-il expulsé le pétrole, permettant à ce dernier de migrer vers le réservoir ?
Pourquoi trouve-t-on encore actuellement de l'huile en place dans cette couche réservoir ?
- 4.4. Tracez le(s) chemin(s) possible(s) de migration de l'huile depuis la roche-mère jusqu'à sa mise en place dans le réservoir.

5. CALENDRIER GEOLOGIQUE (4 POINTS)

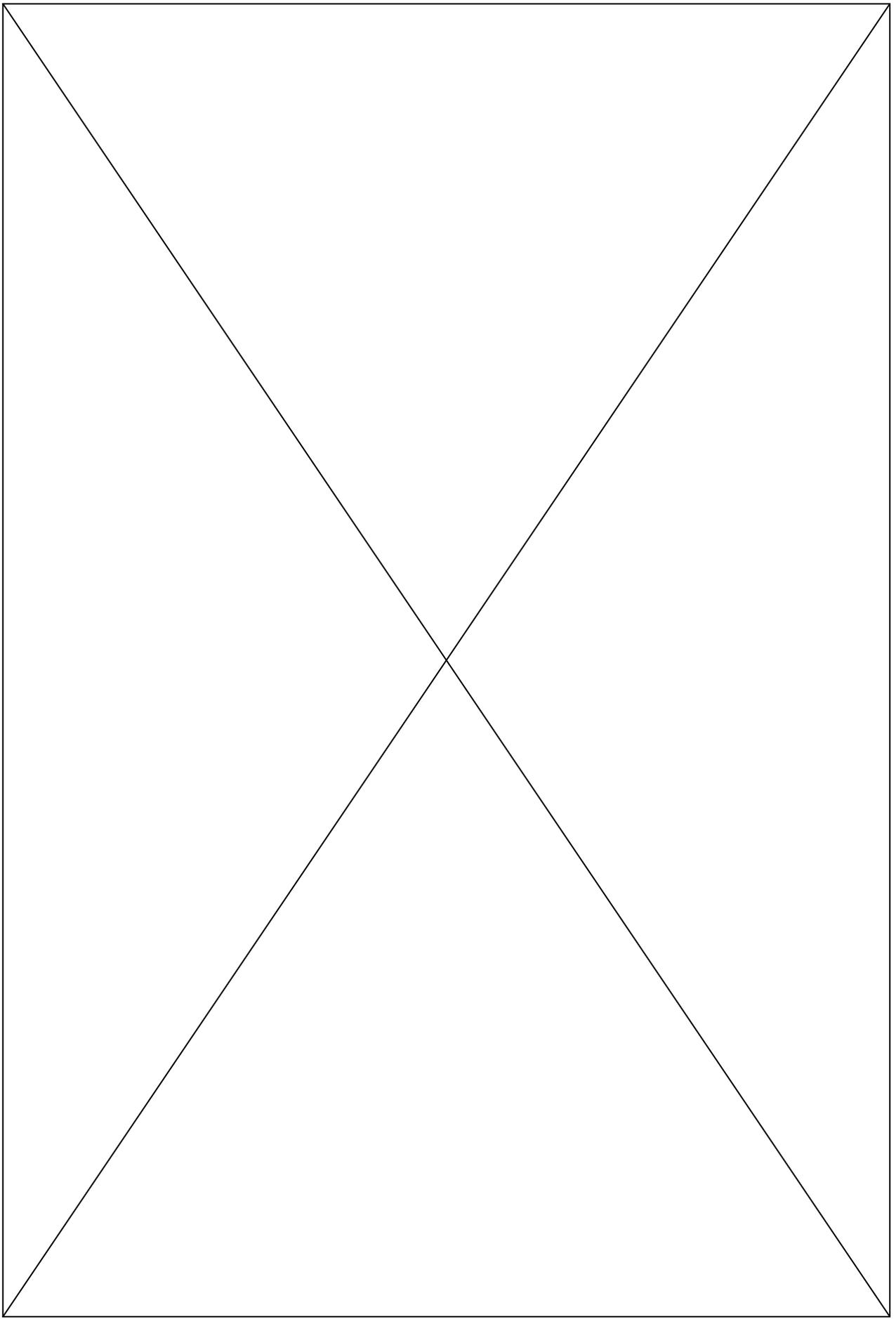
En vous aidant des données du puits A (figure 2), de la courbe d'accumulation tracée (figure 3), de l'interprétation sismique (figure 4) que vous avez effectuée, du calage temps-profondeur donné (tableau 2), retracez l'histoire géologique de la région des temps les plus anciens aux plus récents (tableau 3) : processus sédimentaires, tectoniques et pétroliers (dépôt de la matière organique, maturation thermique de la matière organique, expulsion et migration du pétrole, stockage du pétrole dans le réservoir).

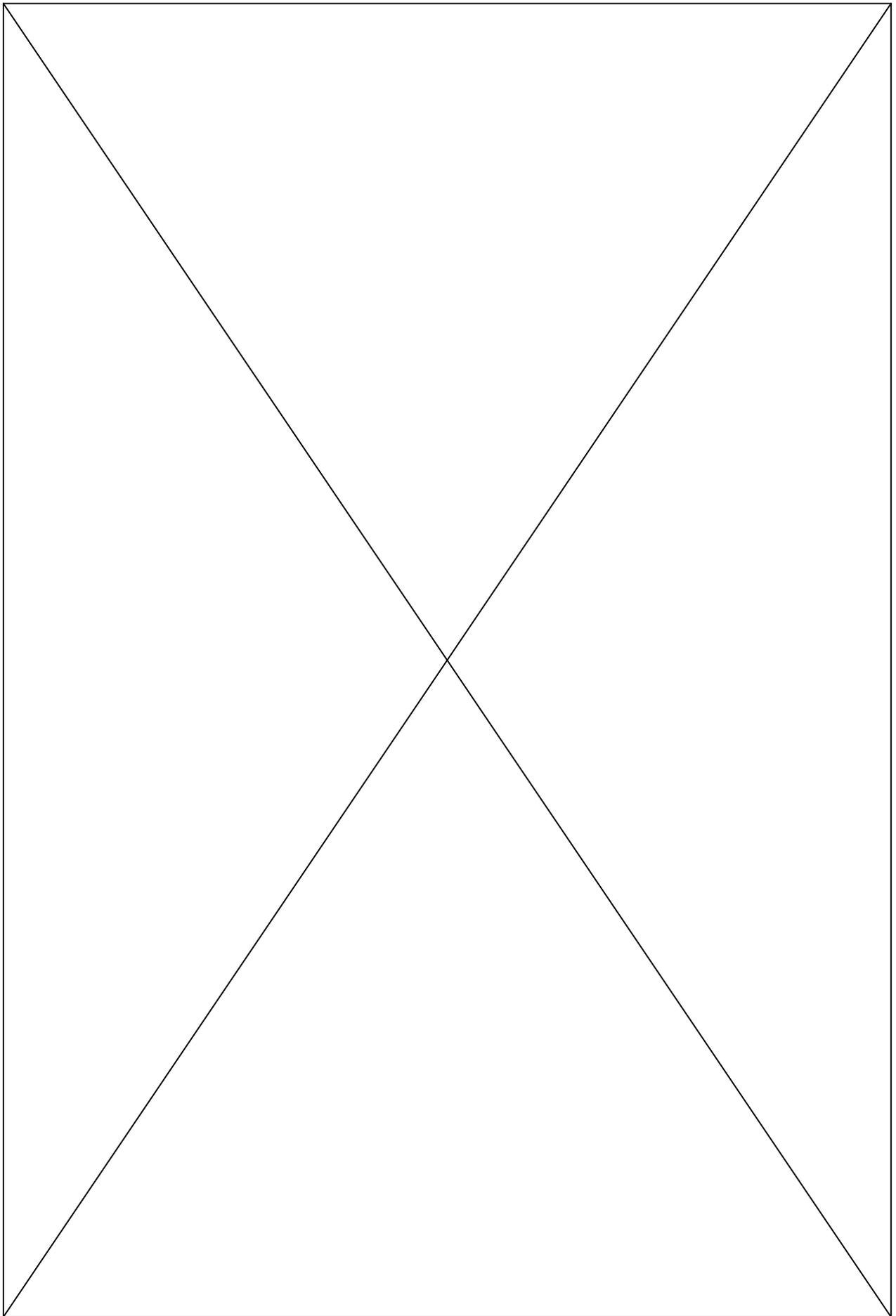
Synthétisez en parallèle les grands évènements géodynamiques ayant affecté l'Europe (tableau 3).

**ANNEXES A DÉCOUPER ET A COLLER IMPÉRATIVEMENT
SUR VOTRE COPIE**

FIGURES 3 ET 4

TABLEAU 3





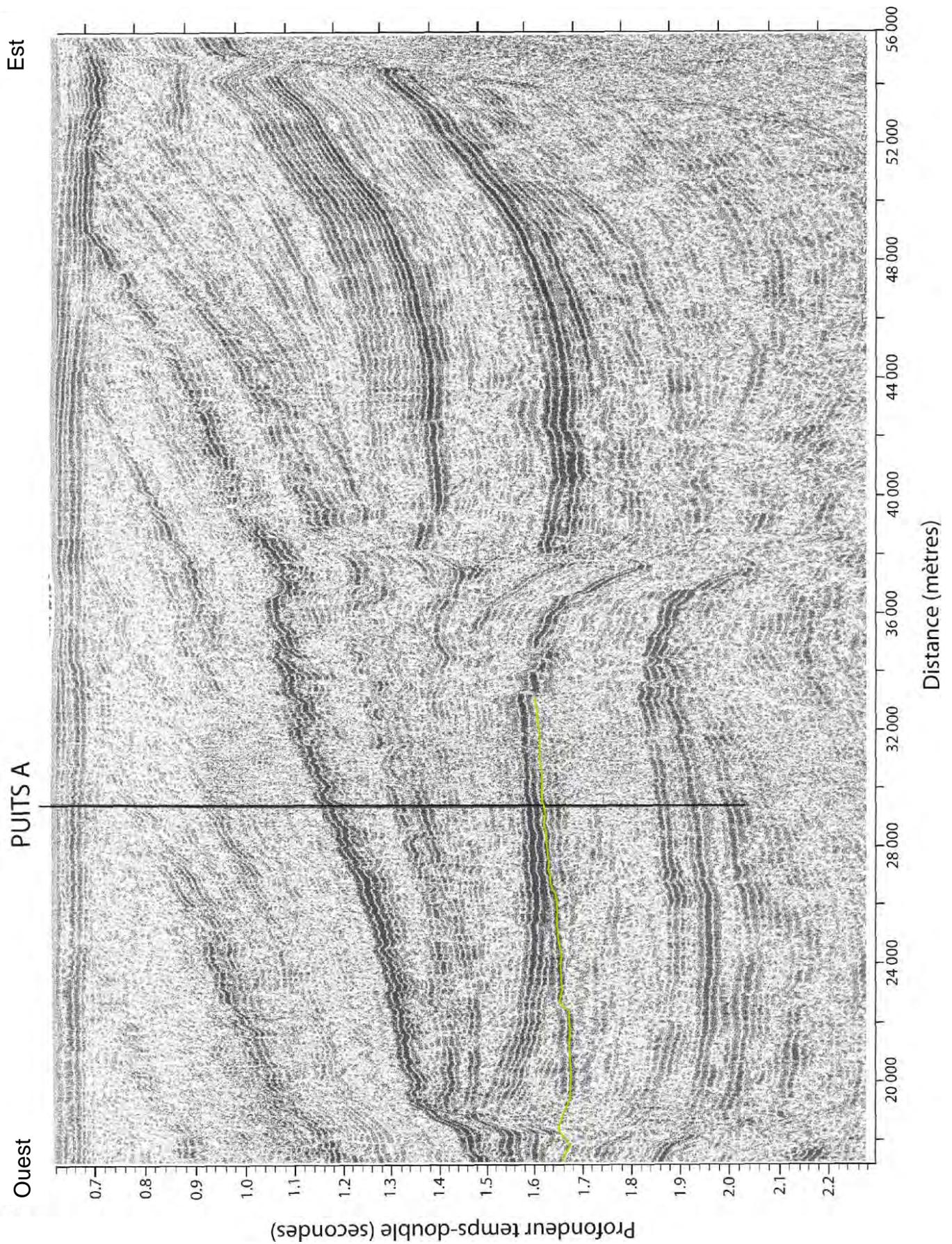
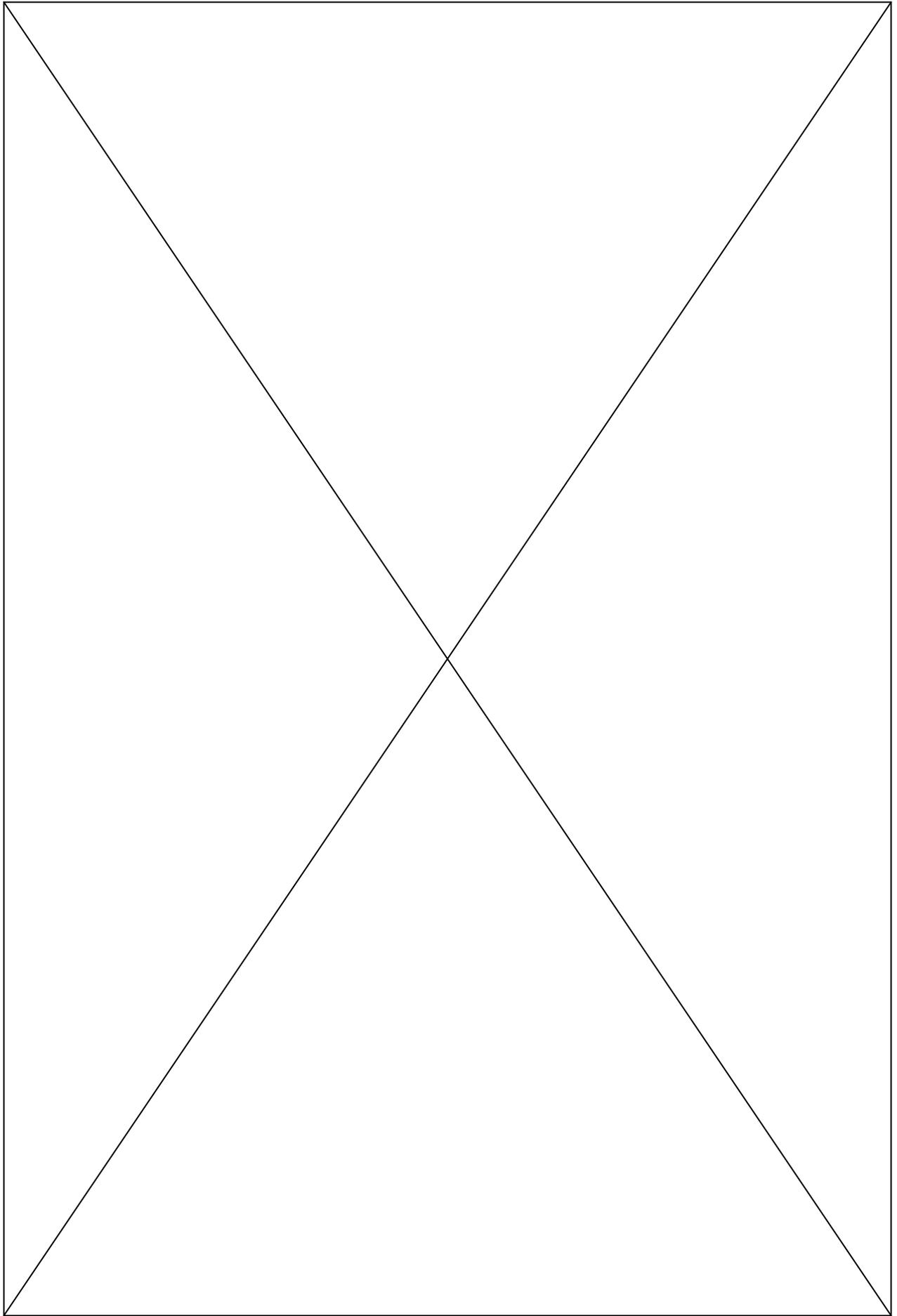


Figure 4 : Profil sismique B-C en Mer du Nord. Le réflecteur vert clair correspond au contact eau/pétrole détecté par impédance acoustique du fait de la densité (vitesse de propagation des ondes acoustiques) de l'eau supérieure à celle de l'huile : on parle de « flat-spot ».

A DÉCOUPER ET A COLLER IMPÉRATIVEMENT SUR VOTRE COPIE



AGE	PROCESSUS TECTONIQUES	PROCESSUS SÉDIMENTAIRES	PROCESSUS PÉTROLIERS	ÉVÈNEMENTS EUROPÉENS
Cénozoïque				
Crétacé				
Jurassique				
Trias				

Tableau 3 : Calendrier des évènements géologiques (à remplir)

A DÉCOUPER ET A COLLER IMPÉRATIVEMENT SUR VOTRE COPIE