

SESSION 2009

**CONCOURS EXTERNE
DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS CERTIFIÉS
ET CONCOURS D'ACCÈS À LA LISTE D'APTITUDE**

Section : SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

COMPOSITION SUR UN SUJET DE GÉOLOGIE

Durée : 5 heures

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Remarques importantes

1 – Le sujet s’articule autour de quatre thèmes et comprend **12** documents dont **4** à rendre avec votre copie (documents 1, 7, 11B et 12).

2 – Seront prises en compte dans la notation : la clarté de la présentation, la précision et la rigueur de l’analyse des documents, les illustrations personnelles et la rigueur des raisonnements.

3 – Certaines figures pourront être jointes à la copie si le candidat considère que des annotations en surcharge constituent des éléments appréciables de réponse aux questions. Il devra alors les coller sur la copie.

Les bordures maritimes de la France métropolitaine

Les bordures maritimes des continents constituent une zone intermédiaire entre les domaines continentaux et marins profonds. Elles sont le lieu de nombreux phénomènes géologiques.

À partir de l'exploitation des documents, vous rédigerez un exposé dégagant les caractéristiques géologiques, ainsi que les particularités de la dynamique sédimentaire et des milieux de dépôt des bordures maritimes de la France métropolitaine.

L'exposé comportera quatre parties reprenant les quatre thèmes abordés par les documents.

Le choix du plan, des illustrations complémentaires et de l'ordre dans lequel les documents sont présentés pour chacun des thèmes revient au candidat.

Cependant, l'exploitation de chaque document devra répondre aux attendus précisés.

Introduction

Il est demandé une introduction qui s'appuiera sur un des documents fournis.

Thème 1 : Morphologies et structures

Document 1 : Carte bathymétrique du Golfe du Lion

Votre exploitation comprendra notamment :

- Le principe d'obtention d'un tel document (une demi-page maximum).
- Une légende à l'aide de flèches des principaux objets, domaines et limites observables sur le document (répondre directement sur le **Document 1** qui sera rendu avec la copie).

Document 2 : Profil sismique au niveau des Entrées de la Manche

Votre exploitation comprendra notamment :

- Le principe d'obtention d'un profil sismique (1 page maximum).
- Un schéma interprétatif du profil.
- Une conclusion indiquant le type de marge et son mécanisme de formation.

Document 3 : Carte de l'anomalie de Bouguer en France

Votre exploitation comprendra notamment :

- La définition de l'anomalie de Bouguer et le principe d'obtention de ce document (une page maximum).
- L'interprétation des anomalies observées sur la marge de Gascogne.

Calcul d'isostasie :

- En utilisant le principe de l'isostasie, calculer la profondeur théorique d'une plaine abyssale au large d'un continent. On suppose que la zone est à l'équilibre isostatique. On considère la coupe de référence à l'équilibre avec une croûte continentale d'une épaisseur de 30 km et une croûte océanique épaisse de 7 km. On utilise les valeurs suivantes : densité de la croûte continentale = 2,8 ; densité de la croûte océanique = 3 ; densité du manteau supérieur lithosphérique = 3,3. On considère que la base de la lithosphère a la même profondeur sous l'océan et sous le continent.
- La valeur obtenue vous semble-t-elle cohérente avec la profondeur réelle d'une plaine abyssale ?

Thème 2 : Processus sédimentaires côtiers

Document 4 : Extrait de la carte de St-Valery-sur-Somme – Eu à 1/50 000

Votre exploitation comprendra notamment :

- Un schéma légendé du **Document 4** présentant les grandes unités morpho-sédimentaires et la répartition des sédiments récents du littoral de la Manche.
- Une définition rapide des types de sédiments détritiques marins et littoraux du Quaternaire présents sur la carte et une présentation de leurs critères simples de reconnaissance sur le terrain (une demi-page maximum).
- Une analyse du **Document 4** aboutissant aux mécanismes responsables de la dynamique de la répartition des sédiments en fonction de leur nature et des différentes zones de sédimentation.

Documents 5 et 6 : Conditions hydrodynamiques du transport des sédiments sableux

Votre exploitation comprendra notamment :

- Une identification des structures sédimentaires visibles sur les deux photographies du **Document 5**.
- Une analyse des diagrammes (**Documents 6A et 6B**).
- Une explicitation des mécanismes à l'origine des structures photographiées (sur le **Document 5**) ainsi que les conditions physiques de leur formation.
- Un raisonnement permettant de prévoir la vitesse maximale des courants régnant dans la baie de Somme, aux endroits où les deux photographies du **Document 5** ont été réalisées.

Thème 3 : La sédimentation marine profonde

Documents 7, 8, et 9 : La sédimentation profonde de l'éventail sous-marin du Var

Votre exploitation comprendra notamment :

- Une analyse de la morphologie de la partie proximale de l'éventail sous-marin du Var illustrée par le **Document 7**. Ce document sera légendé et rendu avec la copie.
- Une analyse de l'intervalle de dépôt sédimentaire présenté sur le **Document 8** et la reconstitution d'un mécanisme possible de formation (on n'omettra pas de discuter des conditions hydrodynamiques).
- Un schéma légendé d'une séquence idéale de ce type de dépôt.
- Une explication de l'origine de la ride du Var.
- Une présentation de la morphologie générale de l'éventail sous-marin du Var (**Document 9**) et les facteurs qui en contrôlent la géométrie à grande échelle (sur une demi-page maximum).

Thème 4 : Evolution des lignes de rivage au cours du temps

Document 10 : Profil granulométrique d'un sondage dans la frange littorale du delta du Rhône au niveau de la Plage Napoléon

Votre exploitation comprendra notamment :

- Une analyse du profil granulométrique et son interprétation.
- Une coupe synthétique légendée parallèle au grand axe d'un delta en insistant sur la géométrie des dépôts, dessinée à partir de vos connaissances.

Document 11 : Evolution séculaire du trait de côte du delta du Rhône entre les embouchures du Grand Rhône et du Petit Rhône (période 1895-2000)

Votre exploitation comprendra notamment :

- Une analyse du **Document 11A**.
- La reconstitution cartographique du trait de côte de cette zone du delta du Rhône. On placera sur le **Document 11B** (qui sera rendu avec la copie) le tracé de la ligne de rivage de 1895.
- Une discussion des paramètres susceptibles d'avoir influencé les modifications de la ligne de rivage pendant la période considérée.

Document 12 : Coupe géologique NW-SE des formations sédimentaires à la hauteur du Phare de Cayeux (carte géologique de St-Valery-sur-Somme – Eu à 1/50 000)

Votre exploitation comprendra notamment :

- Une explication des méthodes d'obtention des datations présentées sur le **Document 12A** (une demi-page maximum).
- Une description de la géométrie des différents dépôts quaternaires.
- La construction graphique schématique sur le diagramme du **Document 12B** (qui sera rendu avec la copie) de l'évolution de la position du rivage marin en fonction du temps.
- Une discussion des paramètres responsables de cette évolution.

Conclusion

À la lumière des exemples étudiés dans l'exposé et de vos connaissances, vous résumerez les grandes caractéristiques des structures, de la sédimentation et des environnements de dépôt des bordures maritimes de la France métropolitaine de façon à faire apparaître l'ensemble des facteurs qui conditionnent leur évolution.

Source des documents

- Allen, J.R.L. (1985). *Principles of physical sedimentology*. Allen & Unwin Ltd, London, 272 p.
- B.R.G.M. (1996). Carte géologique de la France à l'échelle du millionième. 6^{ème} édition révisée, Bur. Rech. Géol. Min., Orléans.
- Boillot, G., Montardet, L., Lemoine, M. et Biju-Duval, B. (1984). *Les marges continentales actuelles et fossiles autour de la France*. Masson, Paris, 342 p.
- Broquet, P. et collaborateurs (1984). Carte géologique de la France au 1/50 000, feuille de Saint-Valery-sur-Somme – Eu. Bur. Rech. Géol. Min., Orléans.
- Harms, J.C., Southard, J.B. et Walker, R.G. (1982). *Structures and sequences in clastic rocks*. Lecture Notes for Short Course n° 9, Soc. Econom. Paleont. Mineral., 253 p.
- Hjulström, F. (1939). Transport of detritus by moving water. In : Trask, P.D. (éd.), *Recent marine sediments*. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 5-31.
- Lagaaij, R. et Kopstein, F.P. (1964). Typical features of fluviomarine offlap sequence. In : Van Straaten, L.M.J.U., éd., *Deltaic and shallow marine deposits*. 6^o Internat. Sedim. Congr., 1963, Elsevier, Amsterdam, 216-226.
- Lagabrielle, Y et Leroy, S. (2005). *Le visage sous-marin de la Terre – Eléments de géodynamique océanique*. Commission de la Carte Géologique du Monde et C.N.R.S., Paris, 49 p.
- Larroque, C. et Virieux, J. (2001). *Physique de la Terre solide – Observations et théories*. Gordon and Breach, 360 p.
- Migeon, S. (2000). *Dunes géantes et levées sédimentaires en domaine marin profond : approche morphologique, sismique et sédimentologique*. Thèse Doctorat, Université Bordeaux 1, 288 p.
- Oomkens, E. (1970). Depositional sequences and sand distribution in the Post-Glacial Rhône delta complex. In : *Deltaic sedimentation*. Soc. Econom. Paleont. Mineral., Spec. Publ. 15, 198-212.
- Sabatier, F. (2001). *Fonctionnement et dynamiques morpho-sédimentaires du littoral du delta du Rhône*. Thèse Doctorat, Université Aix-Marseille III, 274 p.

Légendes des documents :

Document 1 : Carte bathymétrique du Golfe du Lion (d'après Berné *et al.* in Lagabrielle et Leroy, 2005).

Document 2 : Profil sismique au niveau des Entrées de la Manche avec carte de localisation (d'après Boillot *et al.*, 1984). SDT : secondes temps-double.

Document 3 : Carte de l'anomalie de Bouguer de la France métropolitaine et de ses marges (Larroque et Virieux, 2001).

Document 4 : Extrait de la carte de St-Valery-sur-Somme – Eu à 1/50 000 (Broquet et coll., 1984).

Document 5 : Photographies (photos 1 et 2) de structures sédimentaires affectant les sables de la baie de Somme (chaque photographie est localisée sur le Document 4).

Document 6A : Diagramme de Hjulström (1939).

Document 6B : Représentation schématique des relations entre les différents types de structures sédimentaires, le diamètre moyen des grains et la vitesse d'écoulement. 1 et 2 illustrent respectivement les formes des rides et des mégarides vues de dessus (d'après Harms *et al.*, 1982 ; Allen, 1985).

Document 7 : Carte bathymétrique de la partie proximale du système sédimentaire du Var à la hauteur de Nice avec localisation de la carotte du Document 8 (données de l'Ifremer). La zone couverte par cette carte est représentée sur le Document 9.

Document 8A : Photographie de détail d'un intervalle de dépôt dans une carotte prélevée dans le système sédimentaire du Var (localisation de la carotte sur le document 7 ; Migeon, 2000). Les cotes indiquées représentent la profondeur dans la carotte avec le fond de la mer comme référence (niveau 0 cm).

Document 8B : Radiographie aux rayons X traitée de l'intervalle de dépôt du document 8A (Migeon 2000).

Document 8C : Courbe d'évolution de la taille du grain moyen de l'intervalle de dépôt du document 8A (Migeon, 2000).

Document 9 : Carte géologique de l'éventail sous-marin du Var (extrait de la carte géologique de la France au millionième, BRGM, 1996).

Document 10 : Profil du diamètre du grain maximum des dépôts holocènes du delta du Rhône traversés par un sondage au niveau de la Plage Napoléon à l'embouchure du Grand Rhône. La répartition de structures sédimentaires et de fossiles est également représentée (d'après Lagaaij et Kopstein, 1964 ; Oomkens, 1970).

Document 11A : Mesures des variations du trait de côte du delta du Rhône entre les embouchures du Grand Rhône (à droite) et du Petit Rhône (à gauche). Les sites de mesures (profil P05 par exemple) sont alignés selon des perpendiculaires au trait de côte. Les valeurs sont indiquées pour 1944 et 2000, le trait de côte de 1895 constitue la référence (d'après Sabatier, 2001).

Document 11B : Carte du trait de côte actuel (2000) du delta du Rhône entre les embouchures du Grand Rhône et du Petit Rhône. Les profils (P05 par exemple) du document 11A sont reportés le long du trait de côte (d'après Sabatier, 2001).

Document 12A : Coupe géologique NW-SE des formations sédimentaires à la hauteur du Phare de Cayeux (carte géologique à 1/50 000 de St-Valery-sur-Somme – Eu, d'après Broquet et coll., 1984). L'échelle verticale étant très exagérée, la détermination des pendages réels peut se faire à l'aide des indications de pentes en degrés indiquées sur le document.

Document 12B : Diagramme permettant de représenter l'évolution du rivage marin au cours du temps à partir de la coupe du Document 12A.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : _____ Session : _____

Concours : _____

Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____

Intitulé de l'épreuve : _____

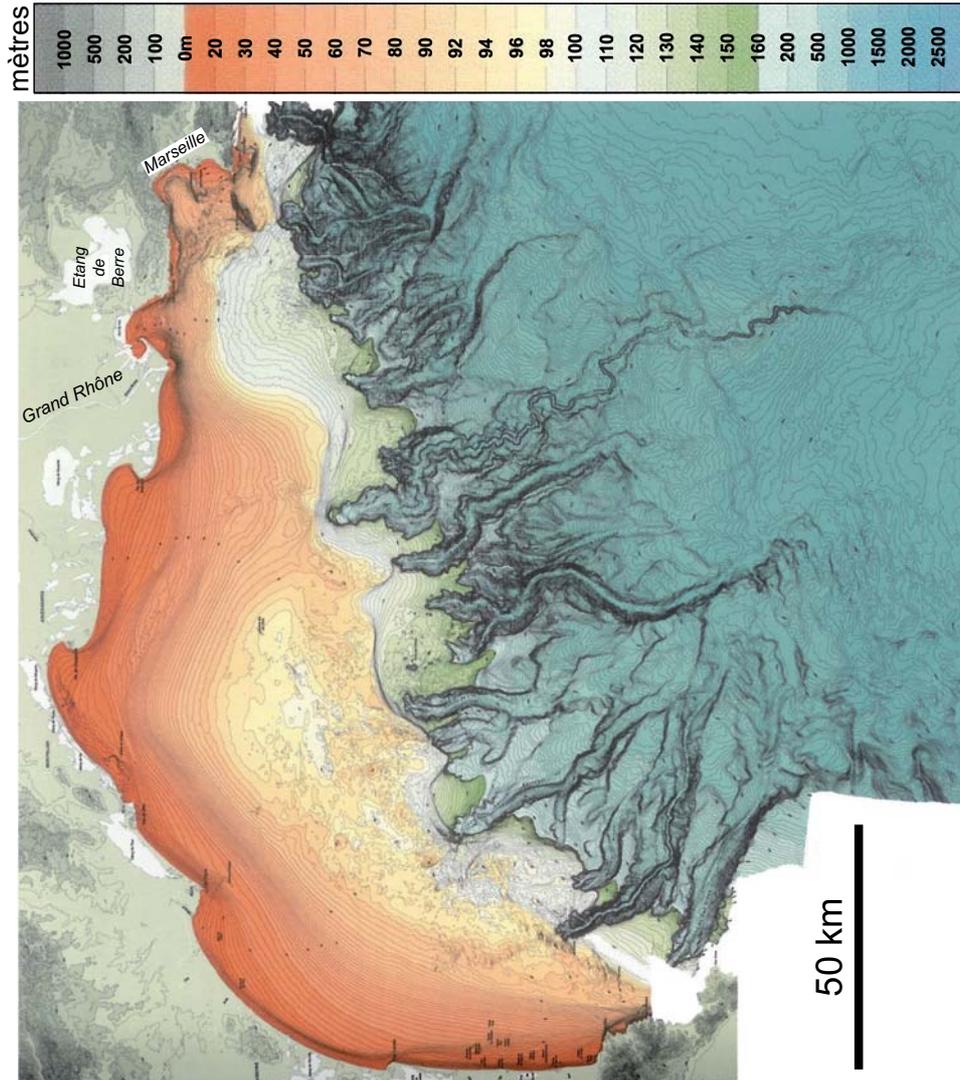
NOM : _____

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : _____ N° du candidat

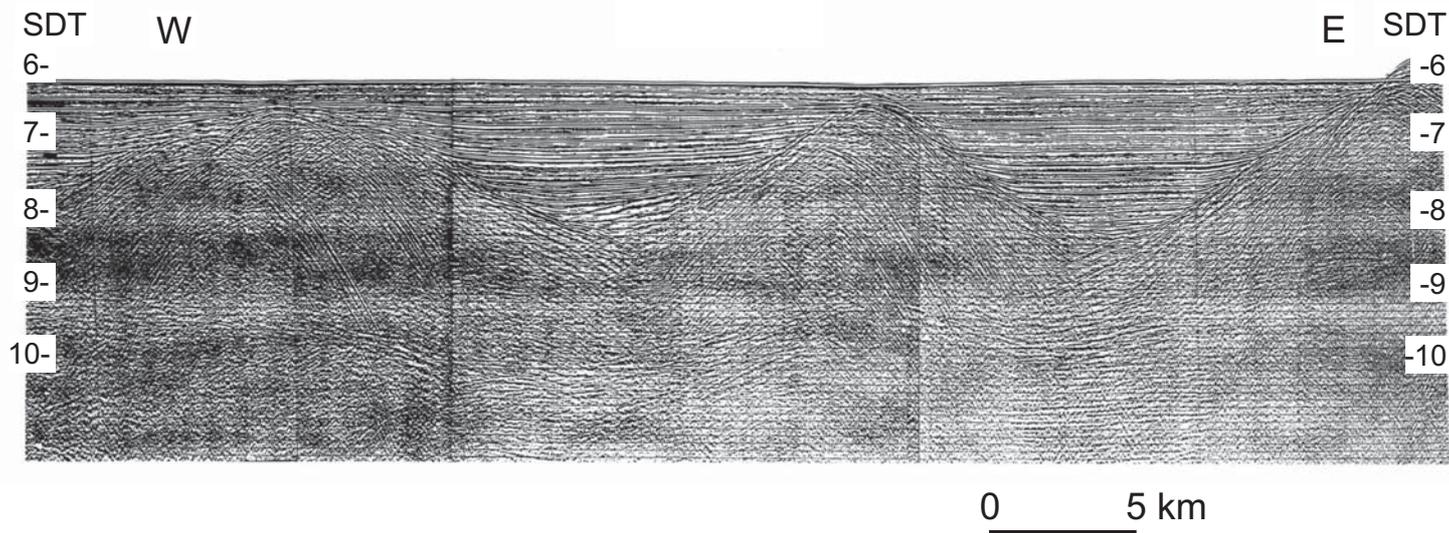
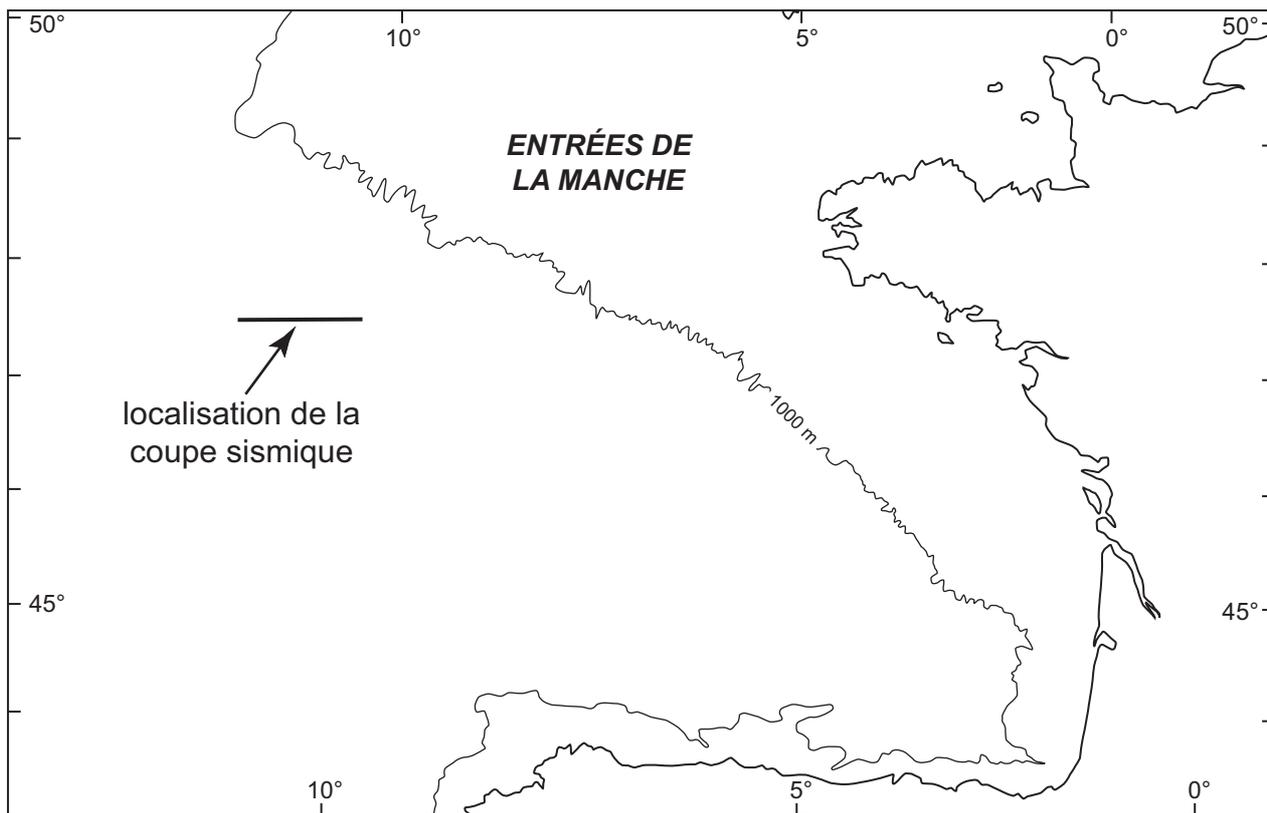
(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EBE SVT 2



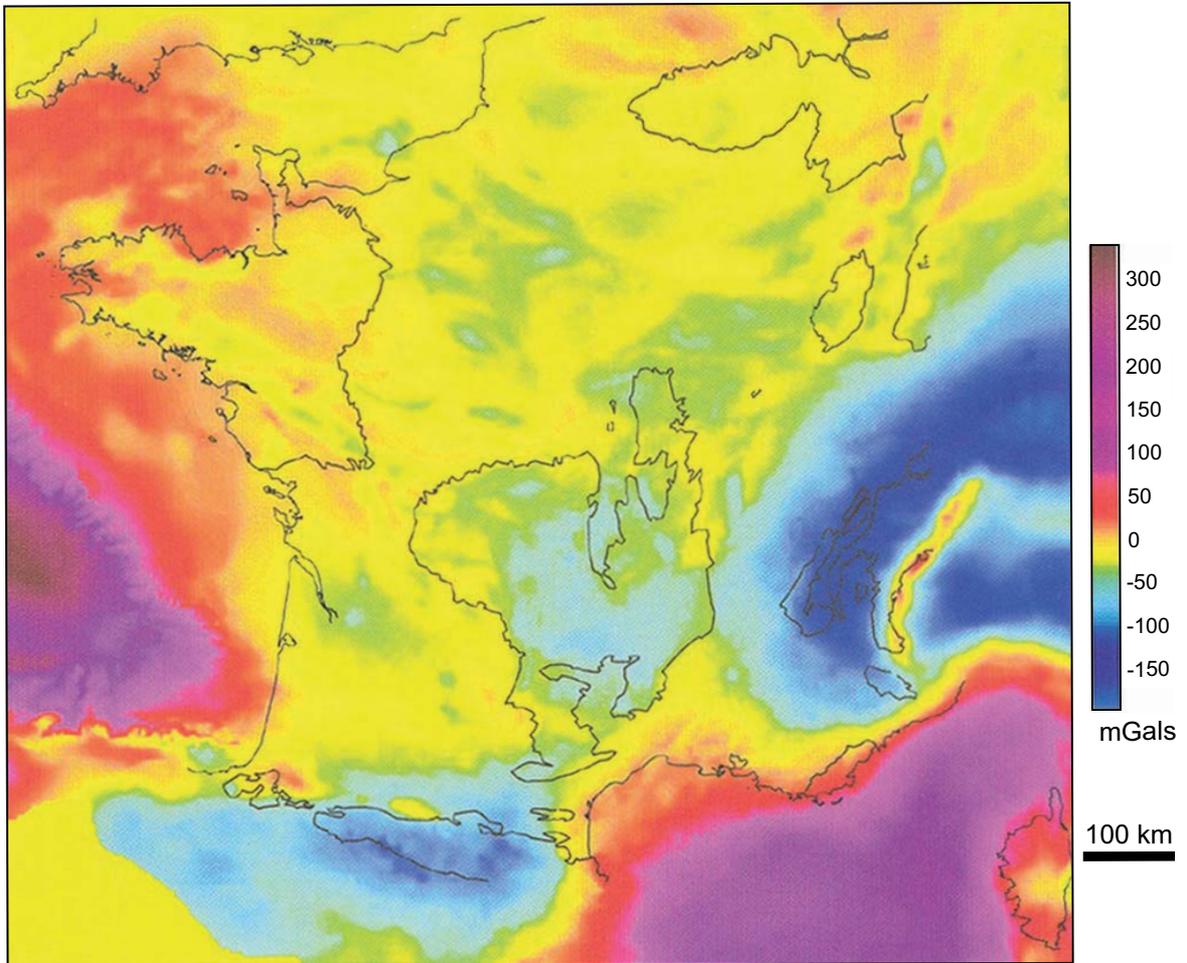
DOCUMENT 1

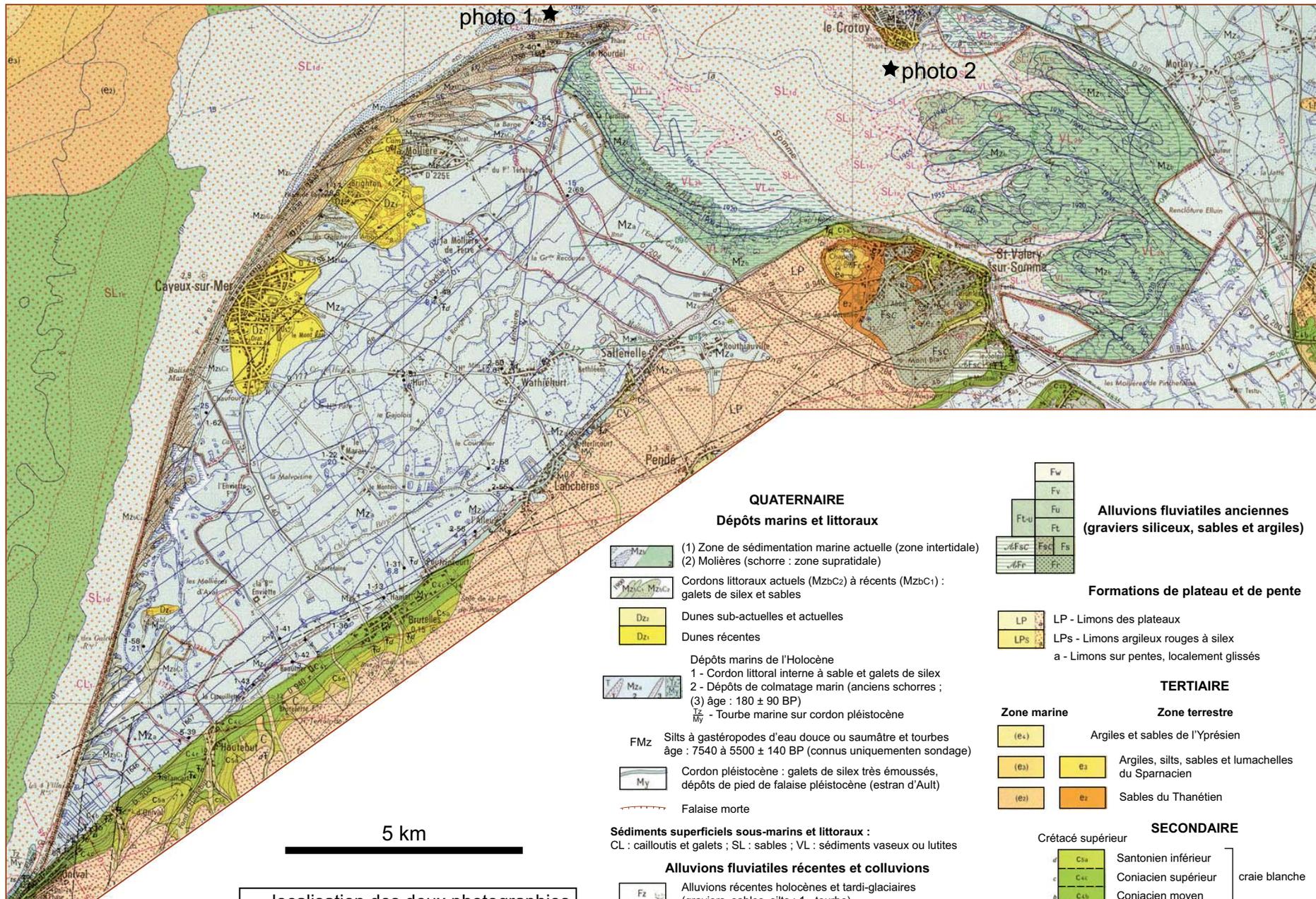
©



DOCUMENT 2

DOCUMENT 3





★ localisation des deux photographies du Document 5

DOCUMENT 4

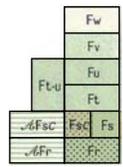
QUATERNAIRE Dépôts marins et littoraux

- (1) Zone de sédimentation marine actuelle (zone intertidale)
- (2) Molières (schorre : zone supratidale)
- Cordons littoraux actuels (Mz2C2) à récents (Mz2C1) : galets de silex et sables
- Dunes sub-actuelles et actuelles
- Dunes récentes
- Dépôts marins de l'Holocène
 - 1 - Cordon littoral interne à sable et galets de silex
 - 2 - Dépôts de colmatage marin (anciens schorres ;
 - (3) âge : 180 ± 90 BP
 - Tz - Tourbe marine sur cordon pléistocène
- Silts à gastéropodes d'eau douce ou saumâtre et tourbes
âge : 7540 à 5500 ± 140 BP (connus uniquement sondage)
- Cordon pléistocène : galets de silex très émoussés, dépôts de pied de falaise pléistocène (estran d'Ault)
- Falaise morte

Sédiments superficiels sous-marins et littoraux :
CL : cailloutis et galets ; SL : sables ; VL : sédiments vaseux ou lutites

Alluvions fluviales récentes et colluvions

- Alluvions récentes holocènes et tardi-glaciaires (graviers, sables, silts ; 1 - tourbe)
- Travertins
- Colluvions
- Sédiments de remplissage des vallées sèches 1 - Tourbe



Alluvions fluviales anciennes (graviers siliceux, sables et argiles)

Formations de plateau et de pente

- LP - Limons des plateaux
- LPS - Limons argileux rouges à silex
- a - Limons sur pentes, localement glissés

TERTIAIRE

- | Zone marine | | Zone terrestre | |
|-------------|--|---|--|
| | | Argiles et sables de l'Yprésien | |
| | | Argiles, silts, sables et lumachelles du Sparnacien | |
| | | Sables du Thanétien | |

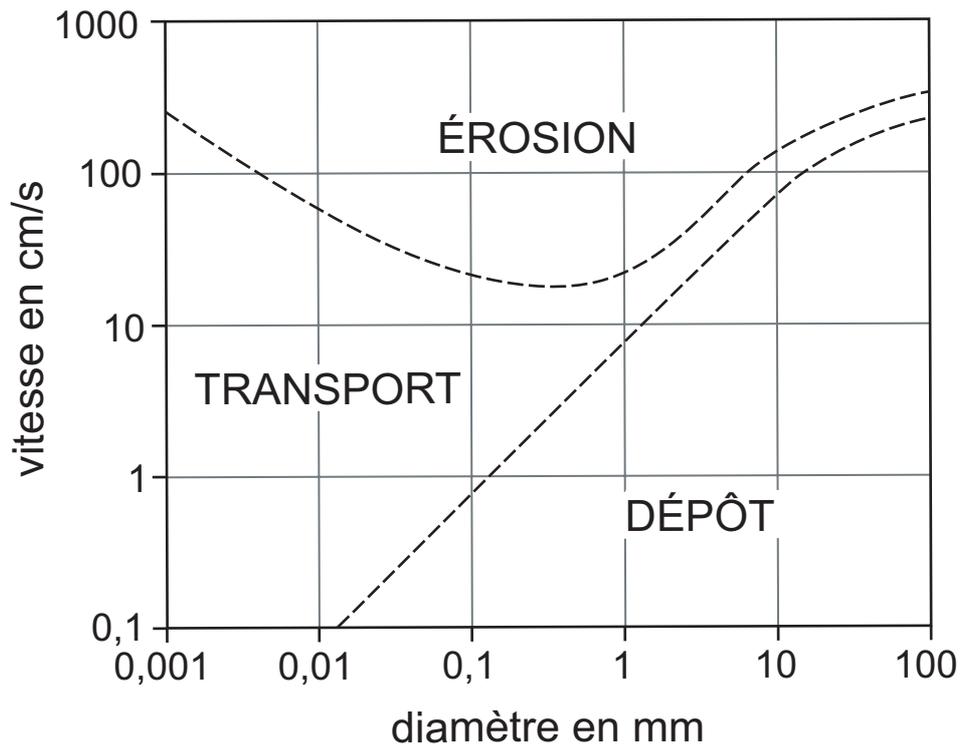
SECONDAIRE

- Crétacé supérieur
- | | | |
|--|---|-------------------|
| | Santonien inférieur | } craie blanche |
| | Coniacien supérieur | |
| | Coniacien moyen | |
| | Turonien terminal - Coniacien inférieur (craie blanche à silex) | } craie argileuse |
| | Turonien supérieur | |
| | Turonien moyen | |
| | Turonien inférieur | |

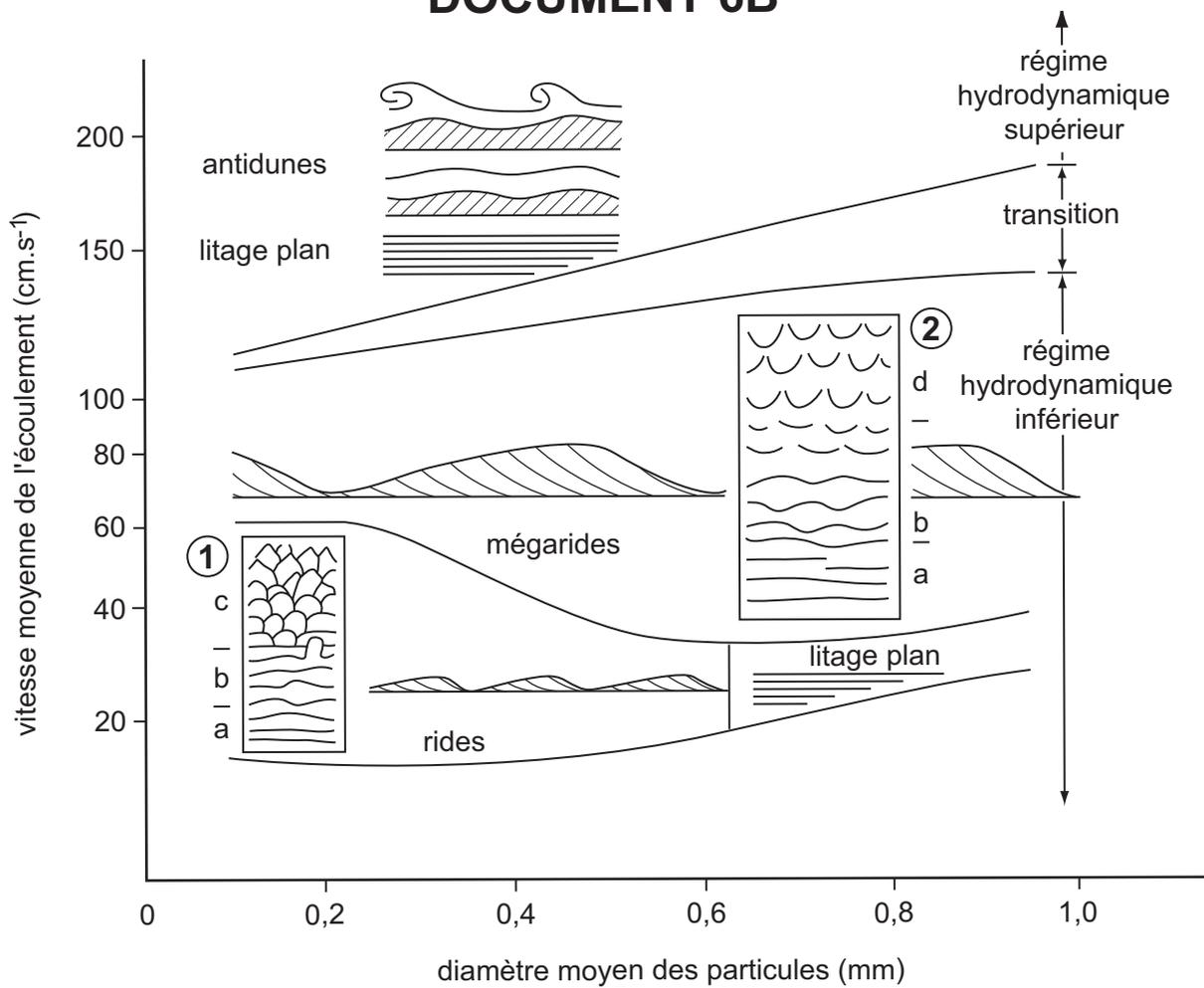
DOCUMENT 5



DOCUMENT 6A



DOCUMENT 6B



MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : _____ Session : _____

Concours : _____

Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____

Intitulé de l'épreuve : _____

NOM : _____

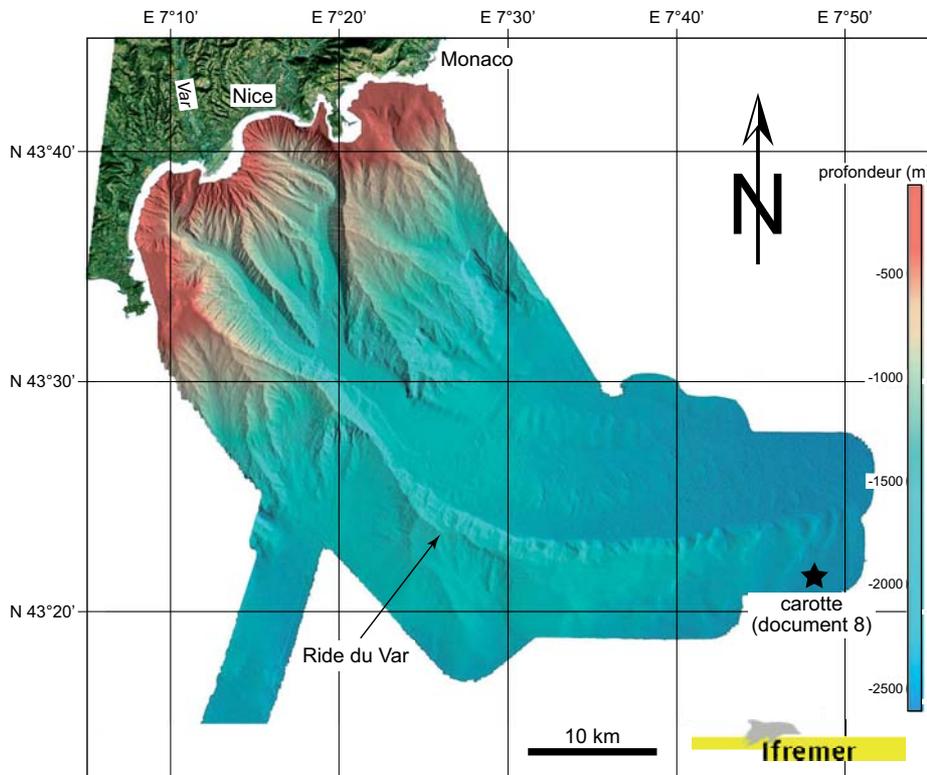
Prénoms : _____

N° du candidat

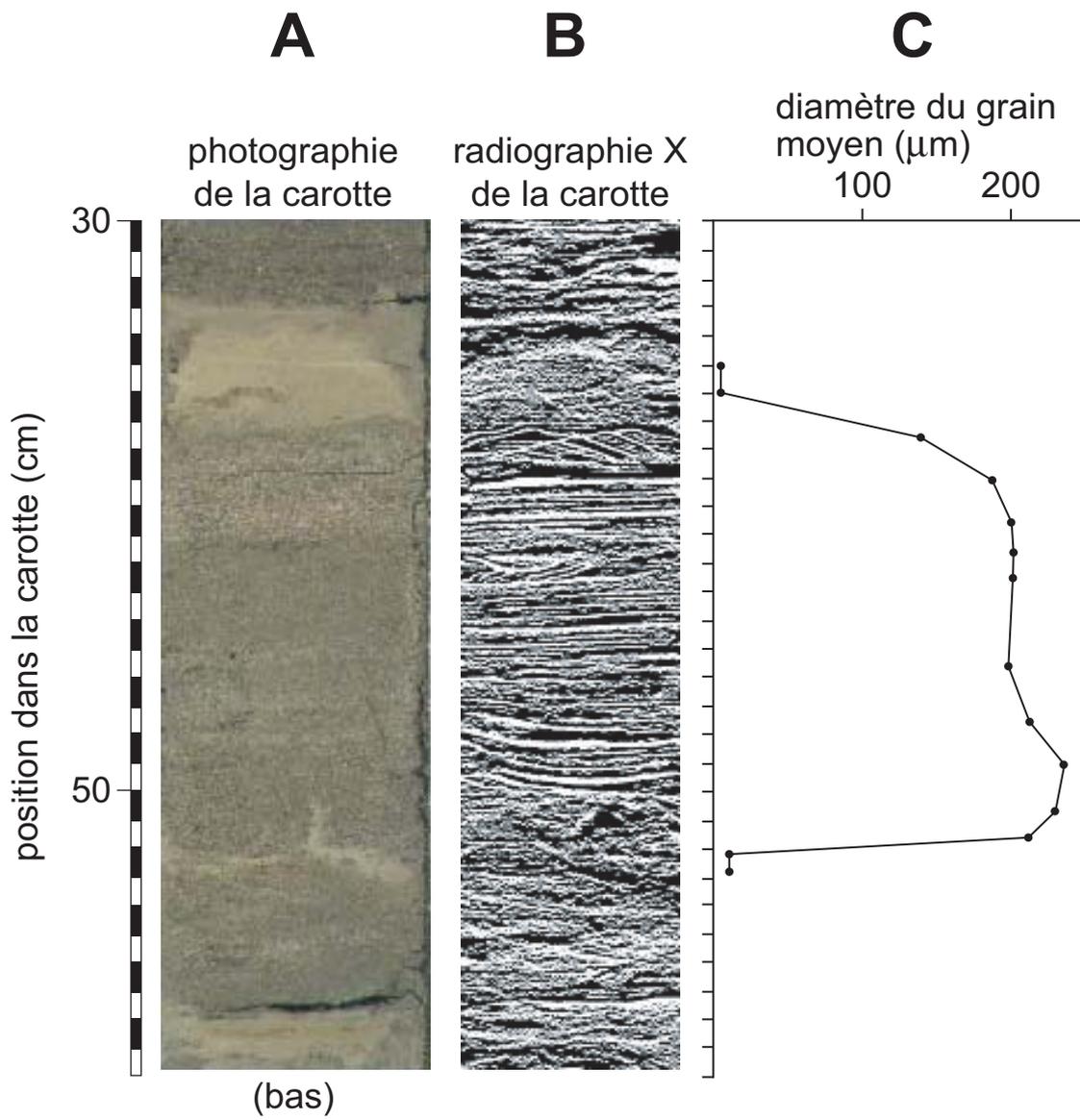
(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EBE SVT 2

DOCUMENT 7



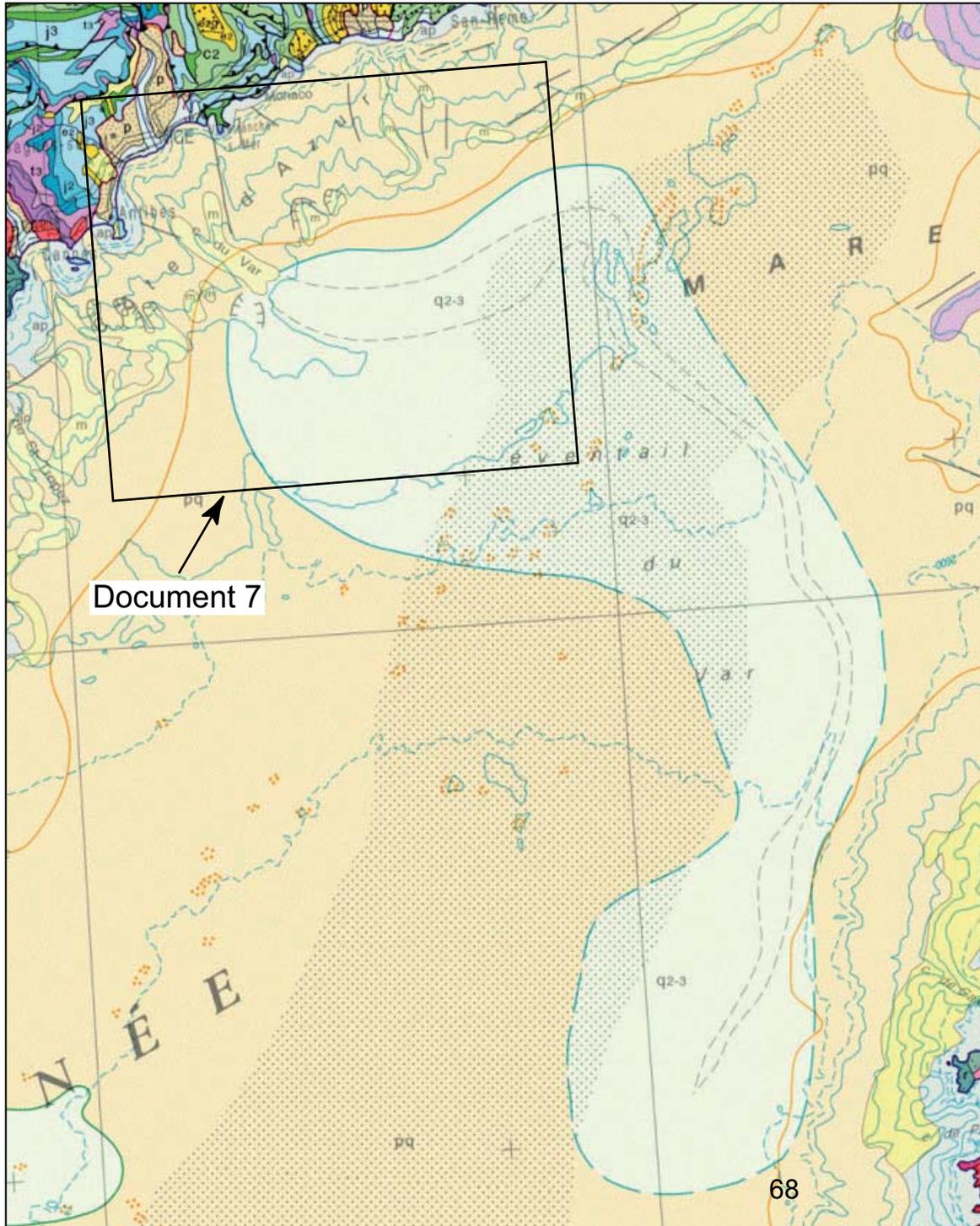
DOCUMENT 8



E 7°

E 8°

DOCUMENT 9



Document 7

- | | | | |
|-------------|------|----|---|
| Quaternaire | q2-3 | q3 | Holocène |
| | | q2 | Pléistocène moyen |
| | q1-2 | q1 | Pléistocène inférieur |
| | | | |
| | p | | Pliocène |
| | m | | Miocène |
| | g | | Oligocène |
| | | | Dômes de sel |
| | | | Limite d'extension du sel messinien |
| | | | Cicatrices d'arrachement |
| | | | Masses glissées |
| | | | Paléochenaux sous-marins |
| | | | Eventail sous-marin |
| | | | Extension sous couverture de la croûte océanique ligure |

N 43°

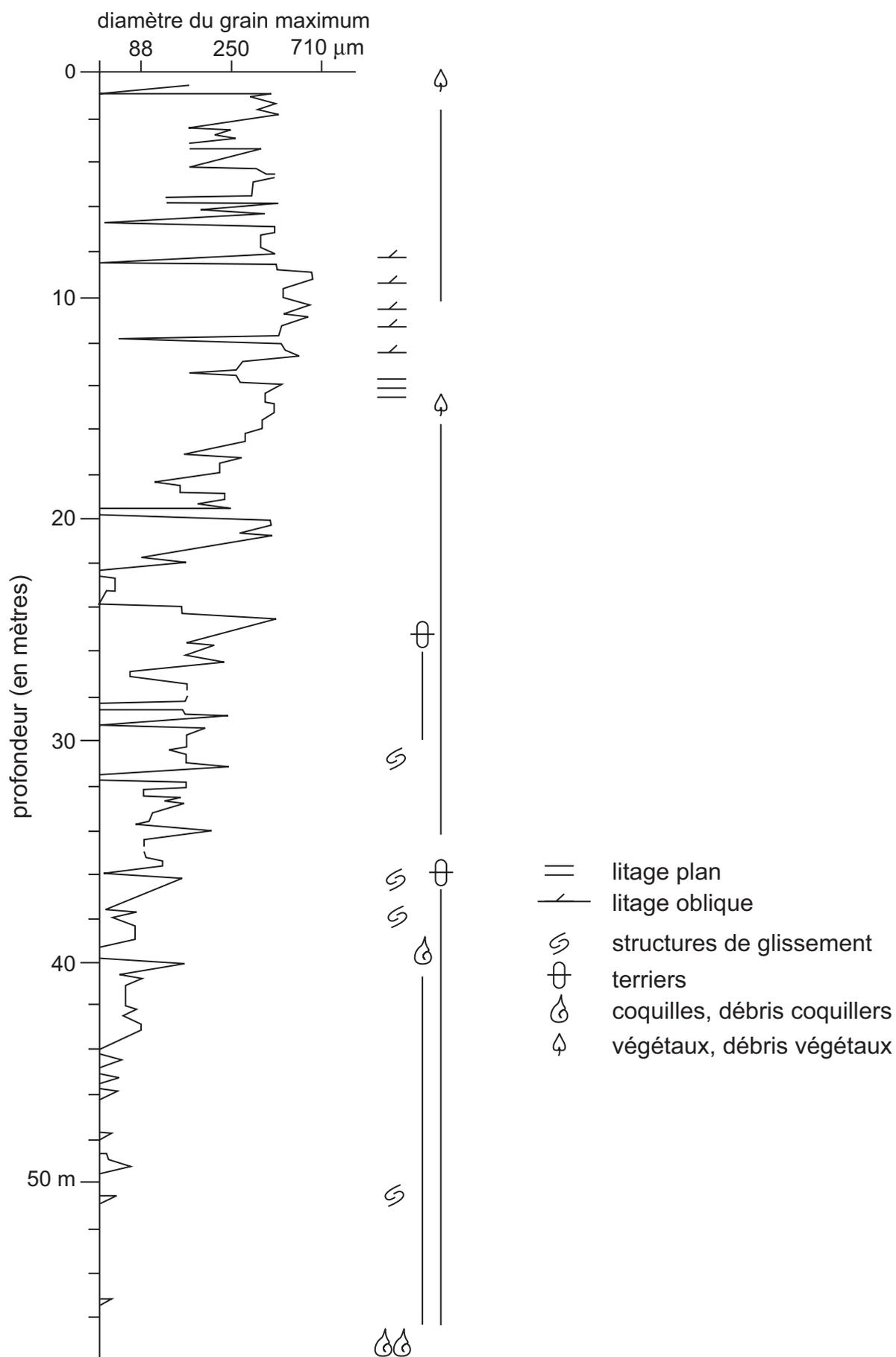
50 km



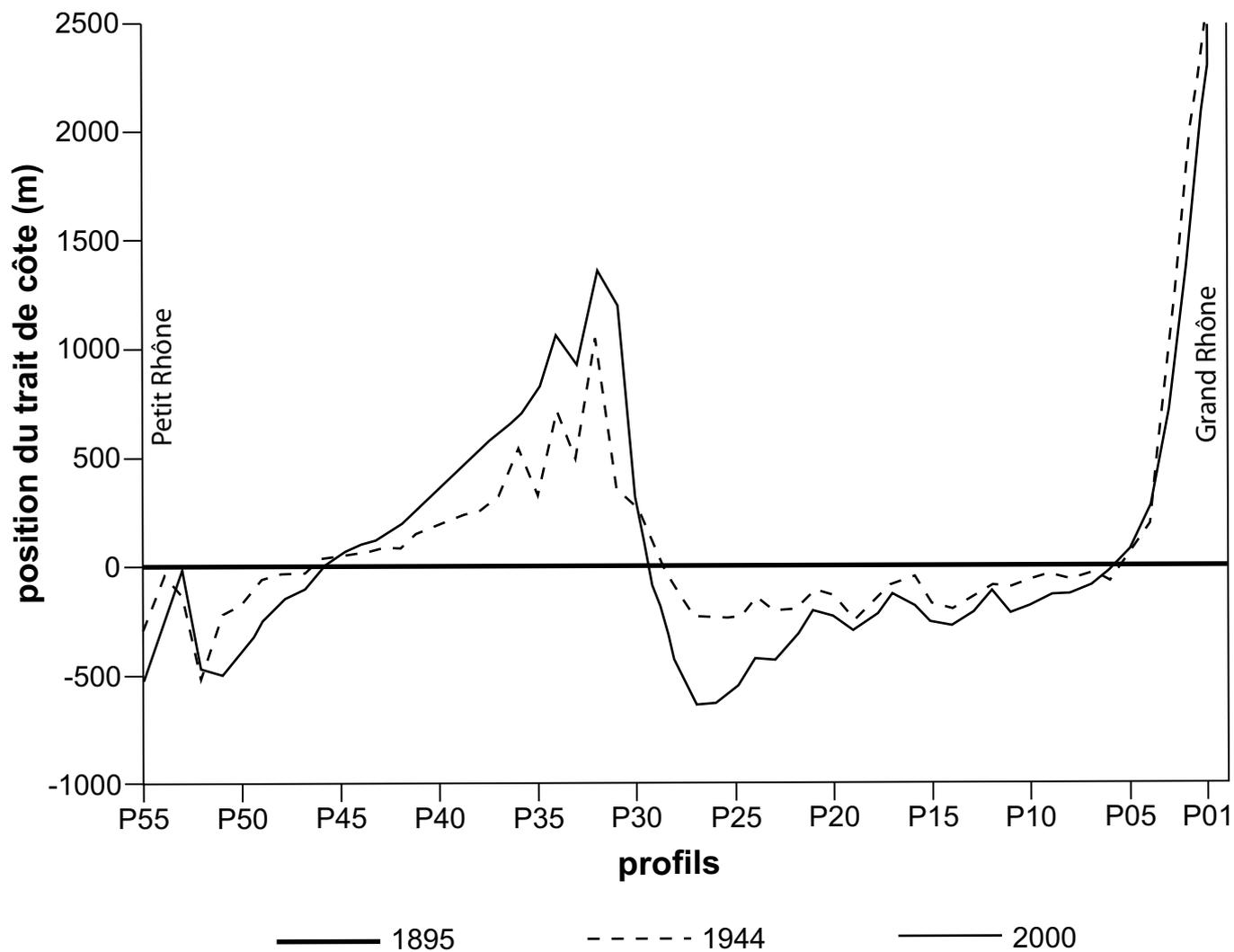
68



DOCUMENT 10



DOCUMENT 11A



MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : _____ Session : _____

Concours : _____

Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____

Intitulé de l'épreuve : _____

NOM : _____

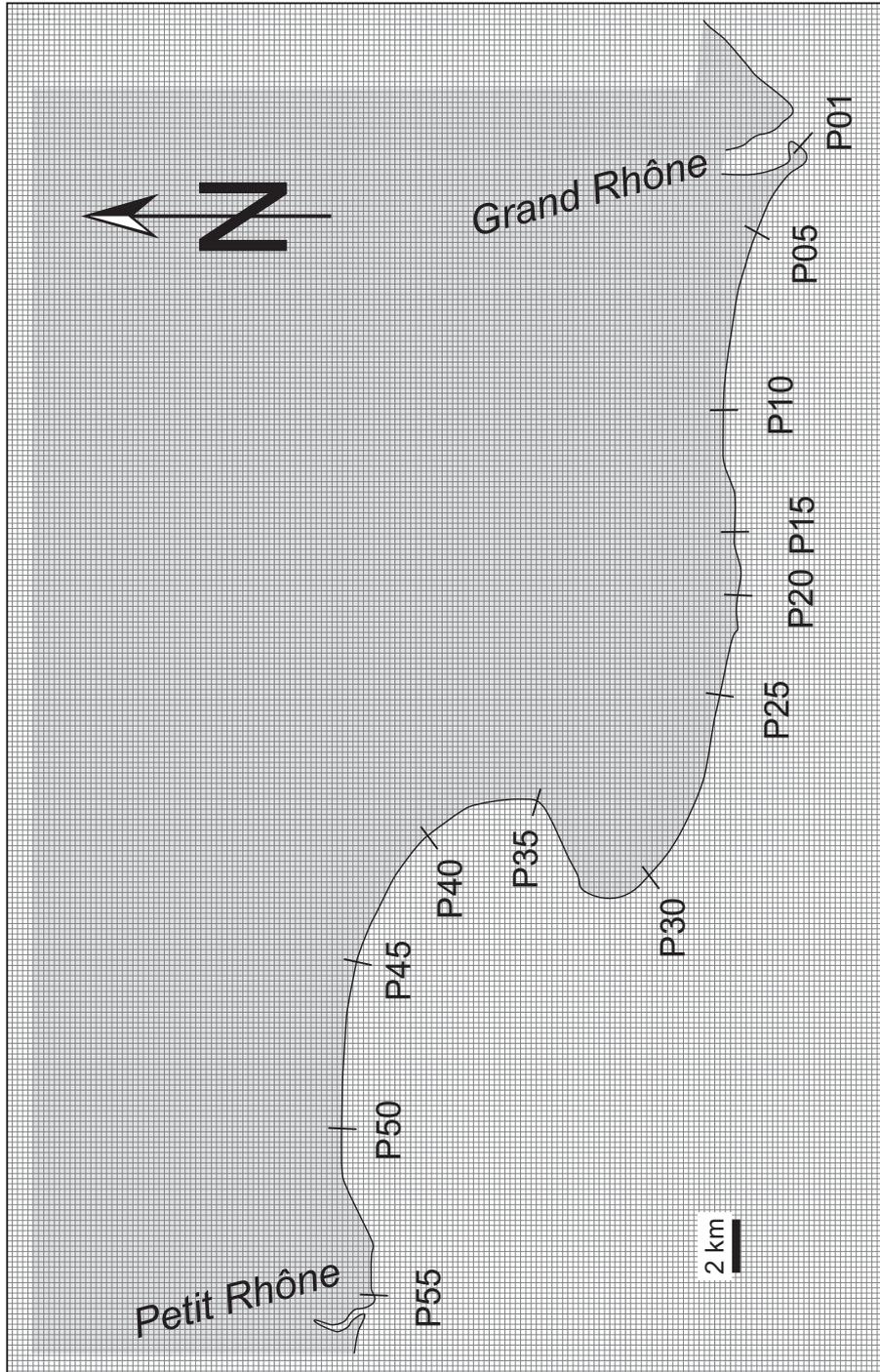
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : _____ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EBE SVT 2

DOCUMENT 11B



Corrigé du sujet de géologie du CAPES – session 2009

Remarque : le corrigé de l'épreuve de géologie du CAPES – session 2009 présenté ici est très détaillé et a pour but de donner un large aperçu des informations portées par les différents documents et des attendus du sujet.

Le sujet de géologie proposé aux candidats lors de la session de 2009 était consacré aux bordures maritimes de la France métropolitaine, c'est-à-dire à la structure, la dynamique et l'évolution des marges passives et du littoral actuels à différentes échelles spatiales et temporelles. Il était demandé aux candidats de construire un devoir autour de quatre grands thèmes : (1) la structure des marges à grande échelle ; (2) les transferts des sédiments dans le domaine littoral, (3) les transferts sédimentaires vers le domaine marin profond et (4) l'évolution des traits de côte. Au premier abord, ces quatre thèmes peuvent sembler déconnectés et non exhaustifs, aussi était-il important, pour faire preuve de la maîtrise du sujet, d'analyser les quatre thèmes proposés à travers différents aspects de la dynamique des marges passives et à différentes échelles.

Cette vision pouvait s'exprimer avantageusement dès l'introduction dans laquelle il était demandé aux candidats d'aborder la problématique du sujet par l'analyse d'un premier document laissé à leur appréciation. Un choix judicieux était le Document 1 qui présente la morphologie de la marge du golfe du Lion, le long de la frange méditerranéenne de la France continentale. Il était alors possible, dès le départ, de montrer que la marge constitue une interface entre le domaine continental et les environnements marins profonds et de mettre en évidence les grands domaines de sédimentation aux caractéristiques contrastées.

À partir de ce constat, on pouvait présenter les grandes thématiques du sujet et construire un plan en s'appuyant sur une approche à différentes échelles, à savoir, l'évolution géodynamique à l'échelle de la marge (contexte de l'amincissement crustal) qui conduit à un contexte morphologique favorable au transit sédimentaire depuis le continent vers l'océan profond. C'est ensuite que l'étude des mécanismes sédimentaires de ces transits pouvait être abordée en analysant d'une part les modalités des forçages de la sédimentation littorale (apports fluviaux, reprise des sédiments par la dérive littorale, contrôle eustatique, modifications du trait de côte à différentes échelles de temps) et, d'autre part, le passage à la sédimentation marine profonde (courants de turbidité, corps sédimentaires profonds). Enfin, il était intéressant d'aboutir, en conclusion, aux problèmes liés à la stabilité des zones littorales et à leur mise en perspective avec l'évolution actuelle du niveau de la mer et des flux sédimentaires qui sont en partie influencés par les activités humaines.

Thème 1 : Morphologies et structures

Document 1 : Carte bathymétrique du Golfe du Lion

Votre exploitation comprendra notamment :

- *Le principe d'obtention d'un tel document (une demi-page maximum).*

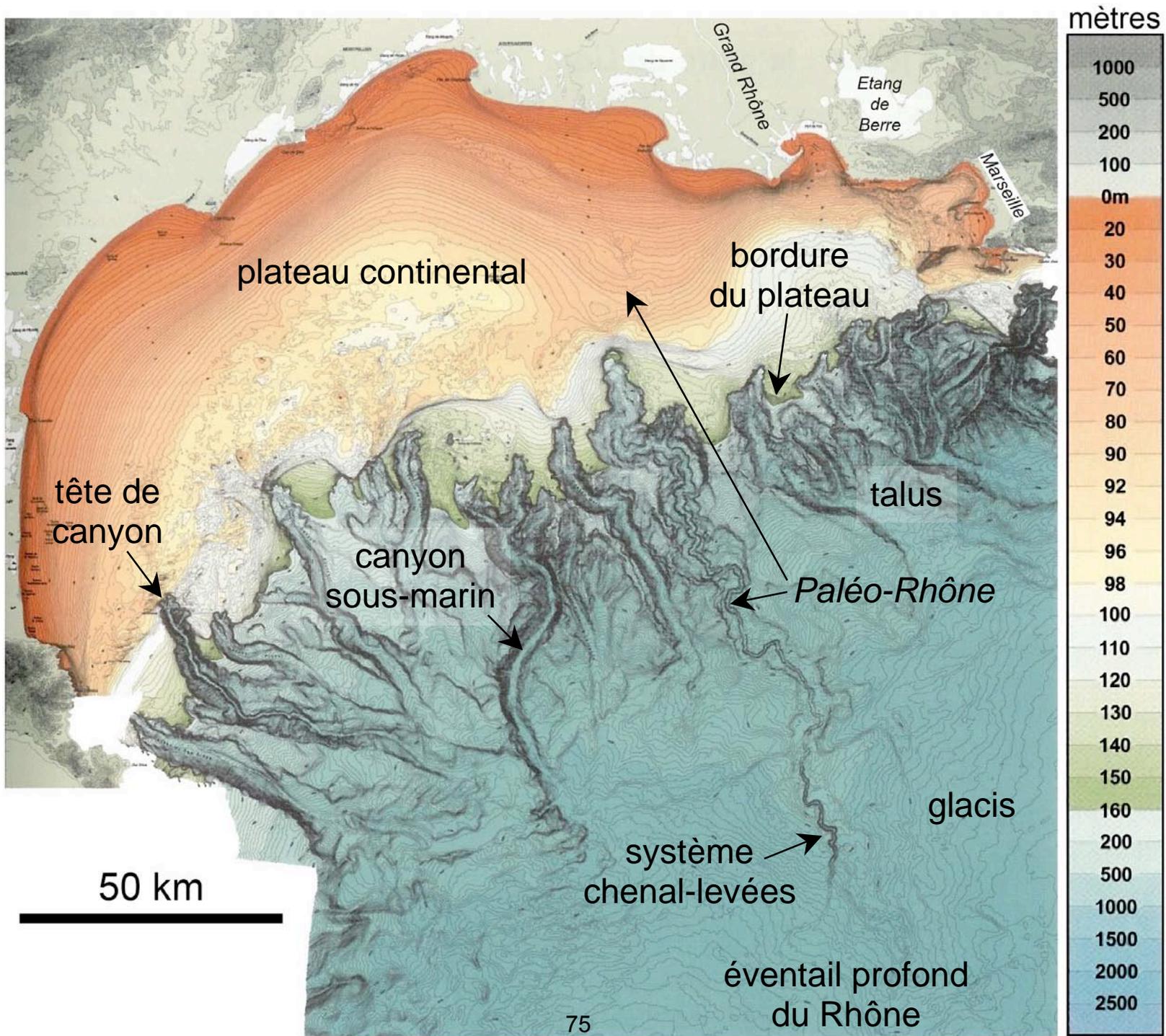
Une carte bathymétrique est obtenue par des relevés acoustiques qui permettent de déterminer la profondeur du fond en se basant sur la vitesse de propagation d'ondes

acoustiques émises depuis un navire. La profondeur est établie, comme lors de l'obtention de profils sismiques, par la durée aller-retour de l'onde, mais dans ce cas, les ondes sont réfléchies sur le fond et ne pénètrent pas dans les formations géologiques (grande différence avec les profils sismiques). Pour réaliser les *levés bathymétriques*, on a recours à l'usage de sondeurs multifaisceaux (type EM 300 ou EM 1000). Le dispositif, situé sous la coque du navire, est constitué d'un système d'émission d'ondes qui alimente plusieurs dizaines de faisceaux (jusqu'à 162 faisceaux pour les sondeurs utilisés sur les navires français) orientés selon un large cône et d'antennes pour la réception des signaux réfléchis sur le fond. Compte tenu de l'ouverture du cône d'émission des ondes (de l'ordre de 150°), la surface balayée par les faisceaux augmente avec la profondeur. Aussi, il est possible de cartographier rapidement de grandes étendues (jusqu'à la surface équivalente à celle de deux départements français par 5 000 m de fond en 24 heures). Un traitement informatique est nécessaire à l'établissement de la carte bathymétrique ; il permet d'effectuer les corrections des données qui dépendent, entre autres, de la houle, de la marée et de la *vitesse de propagation des ondes acoustiques à travers la colonne d'eau* (fonction de la température et de la salinité, mais qui est de l'ordre de 1 500 m.s⁻¹). Au final, un *modèle numérique de terrain* est établi et il est possible de réaliser un « ombrage » et d'affecter un code de couleurs à la profondeur du fond, en plus des courbes isobathes. On visualise ainsi *la morphologie du fond marin*.

De nombreux candidats ont interprété ce document comme correspondant à une carte issue de données d'altimétrie satellitaire. Cette erreur aurait pu être évitée en observant la définition élevée de la carte et la grande précision des valeurs de bathymétrie affichées, impossible à atteindre avec des données issues de la topographie de la surface de l'eau. Par ailleurs, une réponse qui évoque « un appareil », sans en donner le principe de fonctionnement, ne peut être considérée comme valable.

- *Une légende à l'aide de flèches des principaux objets, domaines et limites observables sur le document (répondre directement sur le **Document 1** qui sera rendu avec la copie).*

Le document 1 illustre les *grands éléments morphologiques d'une marge passive*, à savoir : le *trait de côte* qui marque la limite « interne » de la marge au niveau du littoral, le *plateau continental* (de pente très faible, de surface régulière et d'une profondeur maximale de l'ordre de 200 m), la *bordure du plateau* marquée par la rupture de pente, le *talus* qui conduit jusqu'à la *plaine abyssale* qui correspond au domaine le plus profond. Des *canyons sous-marins* incisent la bordure du plateau. Ils sont situés au large de l'embouchure des fleuves côtiers (Têt, Orb, Rhône...). La situation de la marge du golfe du Lion est particulière car *les nombreux canyons sous-marins ne sont pas en connexion directe avec les réseaux fluviaux*. L'origine des canyons remonte au Miocène terminal, alors que le niveau de la mer était beaucoup plus bas qu'actuellement (*épisode messinien*). À cette époque, les cours d'eau atteignaient la bordure du plateau et les têtes des canyons, qui pénètrent légèrement vers l'intérieur du plateau continental, leur étaient directement connectées. Le thalweg du canyon situé au Sud du delta du Rhône présente une caractéristique particulière. Il se prolonge en effet par un *chenal méandrique* (le chenal du *Paléo-Rhône*) qui atteint le glaciaire. Ce chenal permettait, lorsqu'il était actif au Quaternaire, le transit de sédiments par des courants de turbidité vers le lobe distal (non visible sur la carte). Il s'agit en fait d'un système *chenal-levées*, dont les levées étaient alimentées par le débordement des courants de turbidité (cf. Thème 3, Document 7). Les dépôts turbiditiques se font sur le *glaciaire*, au pied du talus.



Très peu de candidats ont observé le paléo Rhône. En revanche, beaucoup ont parlé de plaine abyssale, alors qu'au regard de la profondeur affichée, il s'agit du glacis situé au pied de la pente. La limite plateau / talus était souvent mal positionnée. Rares sont les candidats qui ont remarqué que l'échelle bathymétrique n'était pas linéaire, ce qui pouvait donner une fausse impression sur la pente réelle.

Document 2 : Profil sismique au niveau des Entrées de la Manche

Votre exploitation comprendra notamment :

- *Le principe d'obtention d'un profil sismique (1 page maximum).*

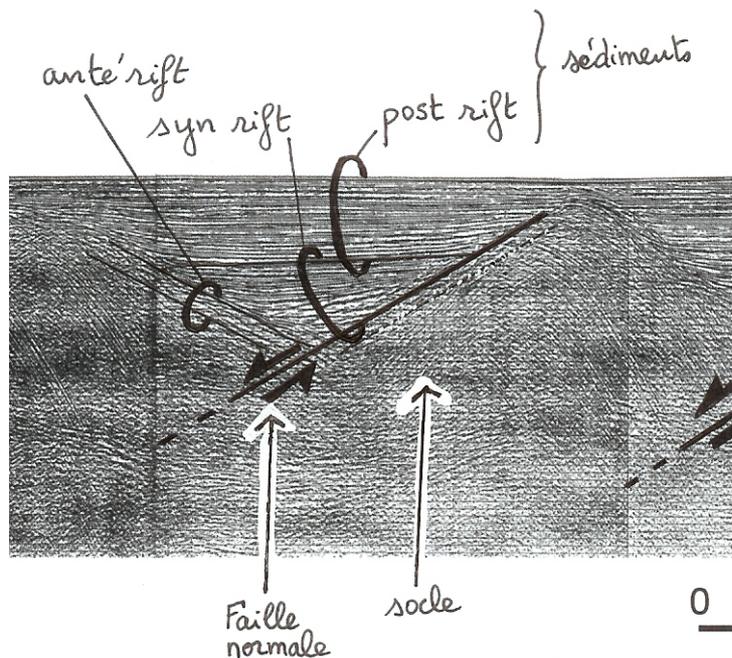
En mer, un profil sismique est obtenu par l'émission d'ondes acoustiques dont les fréquences permettent une *pénétration des formations géologiques* les plus superficielles. Il s'agit là d'une différence majeure avec la bathymétrie multifaisceaux, technique également basée sur l'utilisation d'ondes acoustiques. La *pénétration* dépend de la *puissance des ondes* mais également de leurs *fréquences*. La résolution du profil sismique est fonction de l'importance de la pénétration des ondes ; plus cette dernière est élevée, moins bonne sera la résolution. Les ondes sont généralement produites à l'aide de canons immergés à air comprimé. Les ondes traversent la colonne d'eau, l'interface eau-sédiment, puis les formations sédimentaires jusqu'au substratum. En fonction des horizons traversés, les ondes sont réfléchies aux interfaces (s'il existe un contraste de densité et de vitesse) et réfractées. Les ondes réfléchies remontent vers la surface (cas de la sismique-réflexion). Elles sont enregistrées par les *hydrophones* qui jalonnent la flûte sismique (dispositif de réception des ondes), tractée à l'arrière du navire et longue de plusieurs centaines de mètres. Le traitement informatique des signaux permet la réalisation du profil sismique qui image les formations géologiques. Le profil sismique est une *coupe-temps* dont *l'échelle verticale est exprimée en secondes temps-double* (temps de descente des ondes jusqu'au niveau considéré + temps de remontée de l'onde réfléchi). Les *réflecteurs sismiques* visibles sur le profil marquent les contacts marqués par un *contraste de densité et de vitesse de propagation* des niveaux traversés (= *impédance acoustique*).

Le principe de cette technique est généralement connu des candidats, mais la nature des ondes et la cause de leur réflexion sont plus rarement exposées.

- *Un schéma interprétatif du profil.*

Le profil réalisé au niveau du plateau continental des Entrées de la Manche (Nord du golfe de Gascogne) permet de visualiser plusieurs structures. On remarque tout d'abord la présence de la *couverture sédimentaire* qui surmonte le *socle*. Le socle est affecté de *structures en extension*, à savoir des failles normales (à pendage Ouest) qui limitent des *blocs basculés*. La couverture se subdivise en deux ensembles superposés : un ensemble présentant des réflecteurs horizontaux, non affecté par les failles (post-rift) surmontant un remplissage sédimentaire à géométrie en éventail qui témoigne du remplissage progressif des hémigrabens entre les blocs basculés (syn-rift).

En définitive, il est possible de visualiser sur le profil les relations géométriques des différentes formations : (1) le *socle pré-rift*, (2) le *remplissage sédimentaire syn-rift*, discordant sur le socle et qui accompagne le basculement des blocs (disposition en éventail), et (3) la *couverture sédimentaire post-rift*.



Les correcteurs ont accepté de noter favorablement les dépôts syn-rift même s'ils débordaient un peu de leur localisation exacte, dans la mesure où le candidat indiquait leur disposition en éventail. Trop souvent les failles sont situées sans que leur jeu ne soit figuré (double flèche par exemple).

- Une conclusion indiquant le type de marge et son mécanisme de formation.

La morphologie et les structures de la marge du golfe de Gascogne permettent de conclure qu'il s'agit d'une *marge passive*. Les marges passives marquent la transition entre la croûte continentale épaisse de 30 km en moyenne et la croûte océanique d'une épaisseur de l'ordre de 7 km. Leur formation se produit en contexte d'extension et fait toujours suite au développement d'un rift intracontinental primordial, prélude à la déchirure continentale et à l'accrétion de la jeune croûte océanique. Dès lors, les marges passives correspondent à des domaines de croûte continentale amincie.

Les réponses étaient parfois trop imprécises, alors qu'on attendait surtout la présentation des structures et concepts clés.

Document 3 : Carte de l'anomalie de Bouguer en France

Votre exploitation comprendra notamment :

- La définition de l'anomalie de Bouguer et le principe d'obtention de ce document (une page maximum).

La pesanteur correspond à la force induite par la masse de la Terre. L'attraction exercée en surface par un volume de matière terrestre dépend de sa masse et de sa distance par rapport au centre de la Terre, c'est-à-dire, à son enfouissement. Le *poids* d'un corps correspond à la force qui lie la *masse* de ce corps et l'*accélération de la pesanteur* selon l'équation :

$$F = m \cdot g$$

La *gravimétrie* a pour objet l'étude du champ de pesanteur et de ses variations en fonction de la répartition des masses en profondeur. Les valeurs de la gravité sont déterminées à la surface du globe par deux techniques : l'utilisation de *gravimètres* ou l'étude des *orbites satellitales* (Doris, Topex-Poséidon). Les valeurs de la gravité varient selon l'altitude, la topographie, la densité des masses présentes en profondeur.

L'*anomalie de Bouguer* correspond, en gravimétrie, à un écart entre la valeur du champ de la pesanteur terrestre en un point par rapport à sa valeur de référence définie par l'ellipsoïde. Lorsque l'on détermine l'anomalie de Bouguer, il convient au préalable de réaliser des corrections : d'*altitude* (correction de Faye : *réduction à l'air libre* dans laquelle on suppose qu'il n'y a aucune masse au-dessus de géoïde, susceptible de modifier la gravité), de *plateau* et de *topographie*. L'ensemble de ces corrections permet d'établir la *correction de Bouguer* :

$$\delta g_{(\text{Bouguer})} = \delta g_{(\text{altitude})} + \delta g_{(\text{plateau})} + \delta g_{(\text{topographique})}$$

L'anomalie de Bouguer en un point A sera :

$$\Delta_{(\text{Bouguer})} = g(M_A) - g(th) - \delta_{(\text{Bouguer})}$$

où $g(M_A)$ est la valeur de la pesanteur mesurée au point A et $g(th)$ la valeur théorique calculée pour l'ellipsoïde.

Cette partie, pourtant classique, a très mal été traitée par les candidats. Sans parler des copies évoquant l'obtention des données par satellite ou le magnétisme, on peut regretter l'absence de définition claire de la gravimétrie, des corrections de Bouguer et de l'anomalie elle-même.

- *L'interprétation des anomalies observées sur la marge de Gascogne.*

La carte de l'anomalie de Bouguer (Document 3) permet de visualiser les anomalies de gravité au niveau de la marge de Gascogne. Elles correspondent à des *anomalies positives* de la gravité, témoins d'un *excès de masse*. Cet excès de masse résulte en partie de l'*amincissement de la croûte continentale* au niveau de la marge, et de son remplacement par du manteau, plus dense. Par ailleurs, la correction de plateau rajoute des masses entre la surface lithosphérique (fond marin) et l'altitude zéro. Cela induit artificiellement un excès de masse proportionnel à la profondeur, et ce signal apparaît très nettement sur le document.

L'amincissement crustal, caractéristique d'une marge passive, résulte de la distension qui affecte la marge et dont les structures tectoniques (failles normales, blocs basculés, structures en horsts et grabens) avaient été visualisées sur le Document 2.

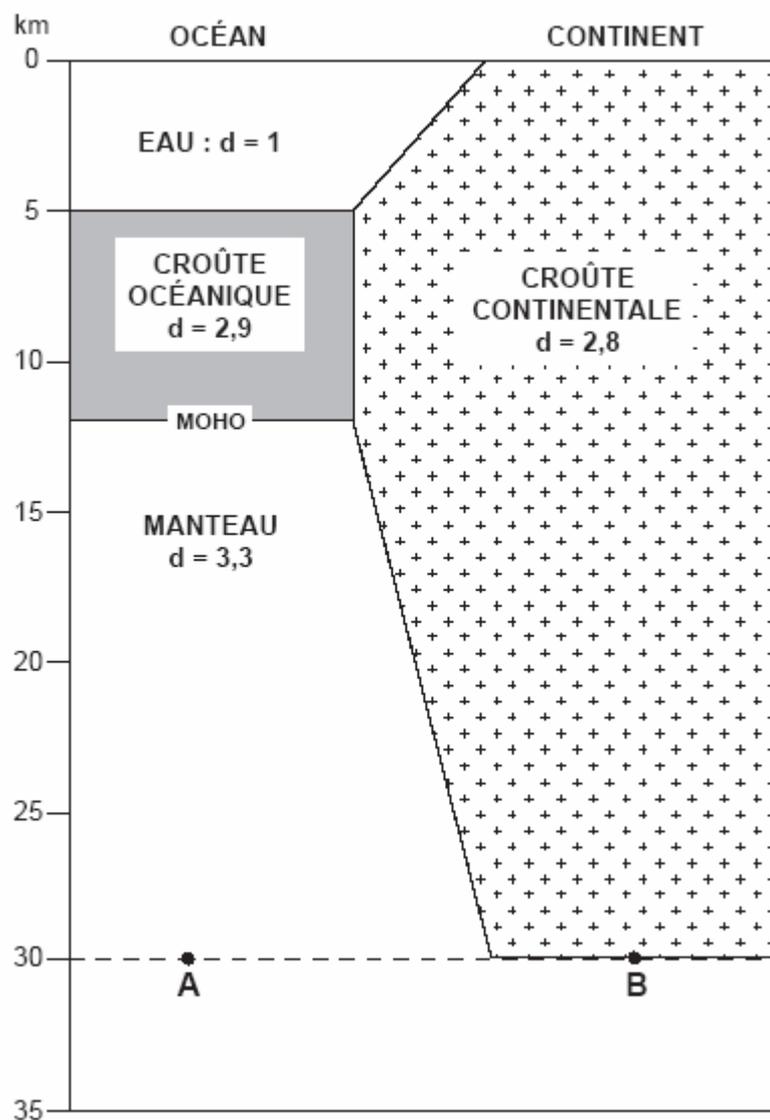
Des candidats ont interprété des anomalies situées hors des marges (chaîne alpine par exemple), ce qui n'a pas été évalué par les correcteurs, car hors-sujet. Peu de réponses satisfaisantes ont été obtenues sur les marges elles-mêmes.

Calcul d'isostasie :

- *En utilisant le principe de l'isostasie, calculer la profondeur théorique d'une plaine abyssale au large d'un continent. On suppose que la zone est à l'équilibre isostatique. On considère la coupe de référence à l'équilibre avec une croûte continentale d'une épaisseur de 30 km et une croûte océanique épaisse de 7 km. On utilise les valeurs suivantes : densité de la croûte continentale = 2,8 ; densité de la croûte océanique =*

3 ; densité du manteau supérieur lithosphérique = 3,3. On considère que la base de la lithosphère a la même profondeur sous l'océan et sous le continent.

Le calcul d'isostasie permet de prédire la profondeur théorique d'une plaine abyssale dans l'exemple choisi. On se base sur le principe de l'équilibre isostatique qui suppose une *profondeur de compensation* à laquelle les pressions sont égales quelle que soit la croûte présente en surface. On peut la choisir à la base de la croûte continentale (cf figure). Dans l'exemple qui nous intéresse ici, on cherche à déterminer l'épaisseur de la colonne d'eau au niveau d'une hypothétique plaine abyssale. Cette épaisseur constitue ici l'inconnue (X) de l'équation. La pression correspondant à un poids par unité de surface, elle sera identique aux points A et B (cf. figure). Pour le point A, la pression est exercée par la colonne d'eau, la croûte océanique et la portion de manteau sus-jacente ; pour le point B, situé à la base de la croûte continentale et à la même profondeur que le point A, seule l'épaisseur de la croûte continentale de densité 2,8 intervient dans la pression.



Les composantes de la pression s'exerçant au niveau des points A et B.

Dès lors, on pose :

$$(X \cdot d_{\text{eau}}) + (\text{ép}_{\text{co}} \cdot d_{\text{co}}) + [(\text{ép}_{\text{cc}} - \text{ép}_{\text{co}} - X) \cdot d_{\text{manteau}}] = \text{ép}_{\text{cc}} \cdot d_{\text{cc}}$$

La résolution de cette équation et l'application numérique donnent $X = 5,6 \text{ km}$.

Très rares sont les copies qui ont, d'une part, réalisé un schéma adapté à la situation envisagée, et, d'autre part, posé un calcul correct mené à son terme.

- *La valeur obtenue vous semble-t-elle cohérente avec la profondeur réelle d'une plaine abyssale ?*

La valeur de 5 600 m obtenue par le calcul pour la profondeur théorique d'une plaine abyssale est cohérente avec les valeurs réelles. En effet, les plaines abyssales, qui correspondent aux zones les plus profondes des bassins océaniques (à l'exception des fosses de subduction) ont une profondeur moyenne de 5 000 à 5 500 m. Ces profondeurs résultent de la subsidence thermique qui traduit le vieillissement de la lithosphère océanique par refroidissement avec l'éloignement aux dorsales. Les plaines abyssales sont les réceptacles ultimes de la sédimentation détritique, et sont caractérisées essentiellement par la présence d'argiles rouges des grands fonds, dans les secteurs les plus éloignés des terres émergées. On peut remarquer que l'approximation selon laquelle la base de la lithosphère est à la même profondeur sous le continent et sous l'océan n'est pas forcément juste. Notre résultat est donc sujet à discussion.

Thème 2 : Processus sédimentaires côtiers

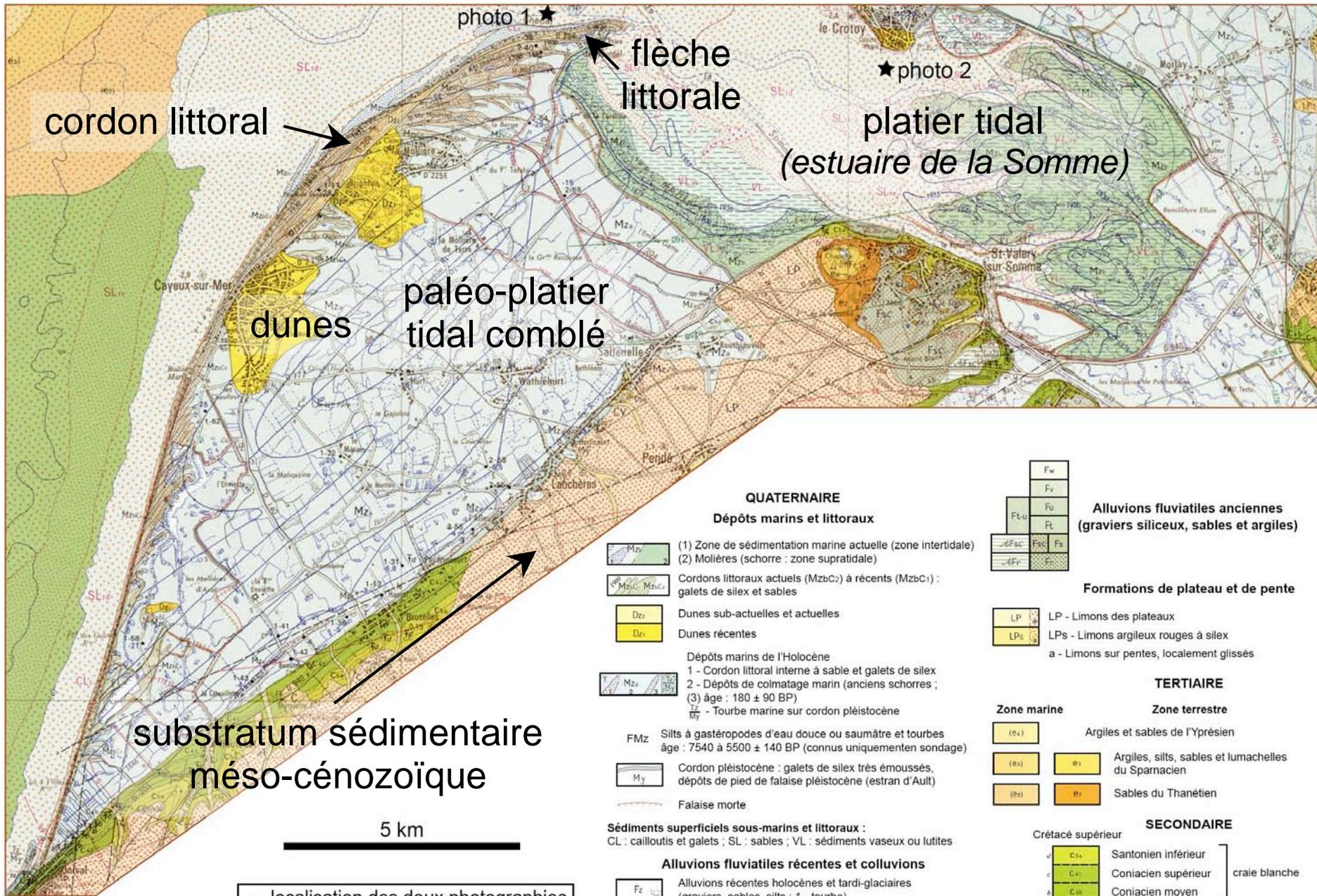
Document 4 : Extrait de la carte de St-Valery-sur-Somme – Eu à 1/50 000

Votre exploitation comprendra notamment :

- *Un schéma légendé du Document 4 présentant les grandes unités morpho-sédimentaires et la répartition des sédiments récents du littoral de la Manche.*

L'analyse de la carte du Document 4 permet de mettre en évidence différentes zones :

- *Le substratum sédimentaire méso-cénozoïque* constitué de calcaires du Crétacé et de roches détritiques de l'Eocène. Au Sud-Ouest, les calcaires du Crétacé affleurent sous forme de falaises mortes (qui n'est plus soumise à l'érosion littorale active) le long de la bordure intérieure de la flèche littorale.
- *Un cordon littoral*, formé de dépôts de galets (silex) et de sables actuels à récents, terminé par une *flèche littorale*. Il délimite un *paléo platier tidal* marqué par le grand développement des dépôts marins de l'Holocène (Mzx), qui se comble à mesure que le cordon avance. À l'arrière du cordon, on observe le développement de *dunes sableuses* d'origine éolienne.
- La Baie de Somme correspond à l'*estuaire de la Somme* et est caractérisée par le développement d'un *platier tidal* (= *tidal flat*) soumis à l'action des marées.
- *Les dépôts sédimentaires sous-marins*, situés au large, et qui sont constitués de roches du substratum sédimentaire et de leur drapage sédimentaire actuel.



★ localisation des deux photographies du Document 5

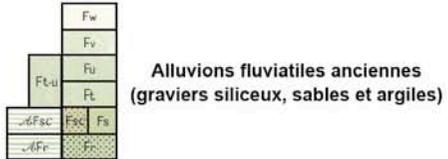
DOCUMENT 4

QUATERNAIRE
Dépôts marins et littoraux

- (1) Zone de sédimentation marine actuelle (zone intertidale)
- (2) Molières (schorre : zone supratidale)
- Cordons littoraux actuels (Mzbc2) à récents (Mzbc1) : galets de silex et sables
- Dunes sub-actuelles et actuelles
- Dunes récentes
- Dépôts marins de l'Holocène
 - 1 - Cordon littoral interne à sable et galets de silex
 - 2 - Dépôts de colmatage marin (anciens schorres ; (3) âge : 180 ± 90 BP)
 - Tourbe marine sur cordon pléistocène
- Silts à gastéropodes d'eau douce ou saumâtre et tourbes âge : 7540 à 5500 ± 140 BP (connus uniquement sondage)
- Cordon pléistocène : galets de silex très émoussés, dépôts de pied de falaise pléistocène (estran d'Ault)
- Falaise morte

Sédiments superficiels sous-marins et littoraux :

- CL : cailloutis et galets ; SL : sables ; VL : sédiments vaseux ou lutites
- Alluvions fluviales récentes et colluvions**
 - Alluvions récentes holocènes et tardi-glaciaires (graviers, sables, silts ; 1 - tourbe)
 - Travertins
 - Colluvions
 - Limons de remplissage des vallées sèches 1 - Tourbe



Alluvions fluviales anciennes
(graviers siliceux, sables et argiles)

Formations de plateau et de pente

- LP - Limons des plateaux
- LPs - Limons argileux rouges à silex
- a - Limons sur pentes, localement glissés

TERTIAIRE

- Zone marine**
 - Argiles et sables de l'Yprésien
 - Argiles, silts, sables et lumachelles du Sparnacien
 - Sables du Thanétien
- Zone terrestre**

SECONDAIRE

- Crétacé supérieur**
 - Santonien inférieur
 - Coniacien supérieur } craie blanche
 - Coniacien moyen
 - Turonien terminal - Coniacien inférieur (craie blanche à silex)
 - Turonien supérieur } craie argileuse
 - Turonien moyen
 - Turonien inférieur

Beaucoup de candidats se sont limités à recopier les informations de la légende (dunes, dépôts marins...) au lieu d'évoquer des unités morpho-sédimentaires associées à des processus hydrodynamiques, comme cela était demandé. Il s'agissait là du seul moyen d'apporter une véritable valeur ajoutée au document.

- Une définition rapide des types de sédiments détritiques marins et littoraux du Quaternaire présents sur la carte et une présentation de leurs critères simples de reconnaissance sur le terrain (une demi-page maximum).

Les sédiments détritiques marins et littoraux sont constitués de particules de granularité variable qui permettent de définir leur nature. La légende de la carte nous informe qu'il y a présence de *galets*, *sables* et des *vases* (= *lutites*). Le tableau suivant permet de résumer les principales caractéristiques de ces sédiments :

Type de sédiment	Classe granulométrique	Intervalle granulométrique
Galets (cordons littoraux)	Rudites	> 2 mm
Sables	Arénites	63 μm à 2 mm
Vases	Lutites	4 μm - 63 μm

Les *galets* qui appartiennent à la classe granulométrique des *rudites* sont des particules (pas nécessairement de forme arrondie !) dont la taille est comprise entre 4 et 64 mm. Nous considérons ici qu'il s'agit de particules détritiques de taille supérieure à 2 mm. Un mélange d'éléments détritiques de granularités différentes (grossières et fines) sera une rudite s'il renferme plus de 25 % de particules de la classe des rudites.

Les *sables* sont constitués de particules d'échelle millimétrique qui appartiennent à la classe granulométrique des *arénites*.

Les *vases* formées de particules fines appartiennent à la classe granulométrique des *lutites*. On ne parle de *pélite* que dans le cas des sédiments détritiques silicoclastiques, le vocable lutite s'appliquant à l'ensemble des sédiments, quelle que soit leur composition. Les lutites sont constituées à la fois des *silts* (= *vases*) et des *argiles* (granularité < 4 μm).

Les sédiments n'étant pas indurés (absence de diagenèse avancée), on ne parlera pas de leurs équivalents consolidés : conglomérats, grès, siltites et argilites.

L'*analyse granulométrique* permet de déterminer la granularité des sédiments. Sur le terrain, on a recours à des approches rapides : mesure des particules pour les rudites, particules visibles à l'œil nu pour les arénites, invisibles à l'œil nu dans le cas des lutites. La limite inférieure à 63 μm de la classe des *arénites* correspond au pouvoir de résolution de l'œil nu, en dessous duquel les particules ne peuvent plus être distinguées. Sous la dent, les silts (= vases) crissent faiblement (impression tout à fait supportable), les argiles ne crissent pas et forment une pâte avec la salive.

Cette partie a plutôt été bien comprise et traitée par les candidats. Les limites entre les différentes classes granulométriques ne furent en revanche que rarement quantifiées.

- Une analyse du **Document 4** aboutissant aux mécanismes responsables de la dynamique de la répartition des sédiments en fonction de leur nature et des différentes zones de sédimentation.

La répartition des différentes unités sédimentaires récentes et actuelles permet de mettre en évidence les *facteurs de contrôle de la sédimentation actuelle*. La morphologie de la flèche

littorale permet d'invoquer l'existence d'une puissante *dérive littorale* qui redistribue les sédiments en provenance du Sud le long du littoral. L'alimentation en sédiments se fait principalement par l'érosion des falaises calcaires du Crétacé situées plus au Sud, comme l'atteste la présence de galets de silex. La répartition en éventail des dépôts du cordon littoral actuel confirme les effets de la *dérive littorale*. Les dunes présentes au niveau de la flèche littorale indiquent que les vents (en provenance du Sud-Ouest) remobilisent par déflation les sables du littoral pour les transporter vers l'intérieur des terres.

La flèche littorale est limitée au Nord par la zone de l'*estuaire de la Somme*. La dynamique sédimentaire du *platier tidal* qui s'y développe est inféodée à l'*action des marées* (estran). Les courants de *flot* et de *jusant* conduisent à l'étalement des sédiments de l'estran. Les sédiments les plus grossiers (sables et vases) se répartissent dans la zone distale du platier, alors que sa zone la plus interne est marquée par des dépôts plus fins (vases) car l'influence des courants de marée y est plus faible, la vidange de la baie étant surtout efficace vers le large (granoclassement horizontal). On peut aussi relier la répartition granulométrique à l'exposition (Cayeux) ou non (le Hourdel) à la houle. Enfin, on peut signaler le rôle du vent dans la construction des dunes.

Cette question a été traitée de façon variable selon les candidats. Seule une analyse approfondie de la distribution des faciès, mise en parallèle avec les particularités de chaque lieu de la baie et les conditions hydrodynamiques correspondantes, permettait de répondre au problème.

Documents 5 et 6 : Conditions hydrodynamiques du transport des sédiments sableux

Votre exploitation comprendra notamment :

- *Une identification des structures sédimentaires visibles sur les deux photographies du Document 5.*

Les structures sédimentaires visibles sur les photographies sont des objets tridimensionnels de type *rides*. Elles correspondent à des structures dissymétriques répétitives (trains de rides). La morphologie des rides diffère par leur hauteur, leur longueur d'onde, la sinuosité et la continuité de leur crête. Les structures illustrées par la photographie 1 (Document 5) sont hautes de quelques décimètres et de longueur d'onde métrique. Il s'agit de *mégarides*. On peut remarquer qu'elles sont également recouvertes par de plus petites rides. Sur la photographie 2 (Document 5), on observe des rides de petite taille dont les crêtes sont très sinueuses et discontinues ; ce sont des *rides linguoïdes*.

L'asymétrie des rides permet d'envisager le sens du courant qui les a formées. Pour la photo 1, la plus forte pente est à gauche, donc le courant était orienté vers la gauche. De même, pour la photo 2, le courant se dirigeait vers le côté bas droit de la photo.

- *Une analyse des diagrammes (Documents 6A et 6B).*

Le transport sédimentaire dépend à la fois de la *force des courants* appliqués et de la *granularité* des sédiments ; plus les particules sont fines, plus elles sont susceptibles d'être transportées sur de longues distances.

Les diagrammes de Hjulström et d'Allen correspondent à la représentation graphique de résultats expérimentaux obtenus en canal.

Le *diagramme de Hjulström* (Document 6A) illustre les conditions de l'érosion, du transport et du dépôt des sédiments détritiques. D'une manière générale, plus les sédiments sont grossiers, plus la vitesse du courant doit être forte pour les éroder et les transporter.

Cependant, les particules les plus fines nécessitent un courant relativement fort pour subir l'érosion. Ce comportement dénote le *caractère cohésif des sédiments fins*. Leur cohésion est liée aux charges électrostatiques qui se développent à la surface des minéraux argileux imparfaitement cristallisés.

Le *diagramme d'Allen* (Document 6B) visualise les caractéristiques des structures sédimentaires formées sous l'action des courants, en fonction de la granularité des sédiments (sables fins). On distingue différents domaines. Pour les courants les plus faibles (en gros inférieurs à 20 cm.s^{-1}), aucune structure sédimentaire ne se forme (domaine du dépôt du diagramme de Hjulström). Au-dessus, des *rides de courant* se développent pour les granularités les plus fines, alors que pour les plus grossières, on forme des *laminés planes* (l'énergie est trop faible pour construire des rides). L'encart (1) du document 6B illustre la géométrie des crêtes des rides qui, d'abord linéaires, deviennent ondulantes puis discontinues à mesure que la vitesse du courant augmente. Lorsque les courants sont plus forts encore, on entre dans le domaine de formation des *mégarides*, de plus grande taille, et dont la géométrie des crêtes témoigne également de la force du courant. Le domaine supérieur du diagramme illustre, au-delà d'une *zone de transition* marquée par l'absence de développement de structures particulières, les effets sédimentaires des *courants supercritiques* (nombre de Reynolds > 1) qui conduisent à la formation de *litages plans de haute énergie* et d'*antidunes*.

- *Une explicitation des mécanismes à l'origine des structures photographiées (sur le Document 5) ainsi que les conditions physiques de leur formation.*

Rides et mégarides sont des structures qui résultent de l'action d'un courant *unidirectionnel*. Malgré leur différence de taille, ces deux types de structures sont dissymétriques et témoignent de l'action de courants. Le processus de transport dominant est la *traction* des particules sédimentaires sur le fond par l'action des courants. Cette traction agit au niveau du versant amont de la ride et entraîne les particules vers l'aval où, au-delà de la crête, elles s'écoulent au niveau du versant aval de la ride (= face d'avalanche). Ainsi, la ride est en perpétuelle érosion sur sa face amont et accrétion sur sa face aval. Ce phénomène de traction conduit à la *migration du train de ride*.

La taille et la géométrie des deux types de rides permettent de les relier aux caractéristiques des courants en utilisant le *diagramme d'Allen* (Document 6B). Les rides (Document 5A) et les mégarides (Document 5B) témoignent de conditions du *régime hydrodynamique inférieur*.

Les rides linguoïdes (Document 5A) montrent des crêtes discontinues qui attestent d'une énergie hydrodynamique relativement forte. Les mégarides (Document 5B) se forment dans des conditions hydrodynamiques plus fortes, sous l'influence de courants plus importants.

- *Un raisonnement permettant de prévoir la vitesse maximale des courants régnant dans la baie de Somme, aux endroits où les deux photographies du Document 5 ont été réalisées.*

La lecture du diagramme d'Allen permet de déterminer les vitesses relatives des courants à l'origine des rides et des mégarides. Les rides de courant linguoïdes témoignent d'une vitesse maximale de l'ordre de 60 cm.s^{-1} . Les données de la carte géologique du Document 4 suggèrent une granularité plus importante du sédiment impliqué dans la formation des mégarides que pour les rides linguoïdes. Dès lors, une vitesse supérieure à 80 cm.s^{-1} peut être proposée pour les mégarides.

Remarque : cette partie pouvait être traitée de manière synthétique en associant les données des différents documents.

Les rides n'ont pas toujours été bien décrites, certains candidats ne les ayant parfois pas observées du tout. Les diagrammes ont été compris dans leur ensemble et analysés de manière raisonnée. Les candidats ont, dans la majorité, cherché et réussi à établir la correspondance entre ces résultats et les photographies de rides.

Thème 3 : La sédimentation marine profonde

Documents 7, 8, et 9 : La sédimentation profonde de l'éventail sous-marin du Var

Votre exploitation comprendra notamment :

- *Une analyse de la morphologie de la partie proximale de l'éventail sous-marin du Var illustrée par le **Document 7**. Ce document sera légendé et rendu avec la copie.*

À la hauteur de Nice, le *plateau continental* est très étroit. Le *talus* présente une pente forte et de nombreuses incisions correspondant à des *canyons* (dont le canyon du Var, le plus occidental) qui convergent vers la *vallée sous-marine du Var*, bordée au Sud par la *ride du Var*.

Les canyons sous-marins sont les axes de transit des *courants de turbidité* qui naissent de déstabilisations gravitaires. Le passage récurrent des courants de turbidité conduit à l'érosion progressive des canyons (zones de *by-pass*). Les courants empruntent ensuite la vallée sous-marine bordée par la ride du Var.

La plupart des candidats sont contents de réécrire les termes utilisés à propos du document 1, sans penser à faire apparaître l'originalité du document 7 en détaillant les éléments de l'éventail sédimentaire du Var. Le mot ride a parfois été confondu avec une dorsale océanique, que certains ont donc cru identifier à cet endroit.

- *Une analyse de l'intervalle de dépôt sédimentaire présenté sur le **Document 8** et la reconstitution d'un mécanisme possible de formation (on n'omettra pas de discuter des conditions hydrodynamiques).*

Le Document 8A montre le détail d'une carotte sédimentaire prélevée dans la partie distale de la ride du Var. Il s'agit d'un intervalle de dépôt sableux limité à sa base et à son sommet par des horizons fins (de couleur beige). Le Document 8B correspond à une radiographie aux rayons X du même intervalle de dépôt. Cette technique permet de visualiser les structures sédimentaires : on observe des *lamines planes* à la base, surmontées par des *rides de courant* (marquées par des faisceaux obliques de lamines), elles mêmes drapées par des lamines planes au sommet. Le Document 8C est un profil granulométrique de l'intervalle de dépôt. On observe une *baisse progressive de la granularité de la base au sommet*. L'ensemble de ces caractéristiques suggère que l'intervalle de dépôt étudié correspond à une *turbidite*. Cette turbidite s'est déposée au niveau de la ride du Var et résulte donc du débordement du courant de turbidité au-delà de la vallée sous-marine (faciès de levée).

Les turbidites résultent d'un dépôt à partir d'un *courant de turbidité*. Il s'agit d'écoulements gravitaires chargés de sédiments détritiques en suspension dans l'eau dont la base s'écoule au niveau du fond du fait de sa densité supérieure à celle de l'eau de mer environnante. En réponse à la friction du front et de la surface supérieure de l'écoulement avec la colonne d'eau, un vannage des particules fines (élutriation) se produit et alimente un

nuage dilué qui accompagne l'écoulement. La majeure partie de l'épaisseur de l'écoulement est constituée de ce nuage dilué de particules les plus fines en suspension dans l'eau environnante (nuage néphéloïde) ; son épaisseur peut atteindre fréquemment plusieurs centaines de mètres. Ce nuage est susceptible de déborder du chenal qui draine le courant de turbidité et les particules se déposent alors au niveau des levées latérales. À ce titre, la Ride du Var correspond à une levée. Le parcours des courants de turbidité est inféodé à la géométrie de la vallée sous-marine du Var, en aval des canyons tributaires, et la levée située en rive droite du chenal est beaucoup plus développée que celle située en rive gauche (peu visible sur le Document 7).

Ce document n'a pas toujours été compris et bien interprété. Rares sont les candidats qui ont analysé la radiographie X et mis en évidence les litages obliques. La courbe de diamètre du grain a bien aidé les candidats pour comprendre que cet événement sédimentaire est lié à une variation hydrodynamique au cours du dépôt. Dès lors, ils ont généralement interprété le dépôt comme le résultat d'un écoulement turbiditique.

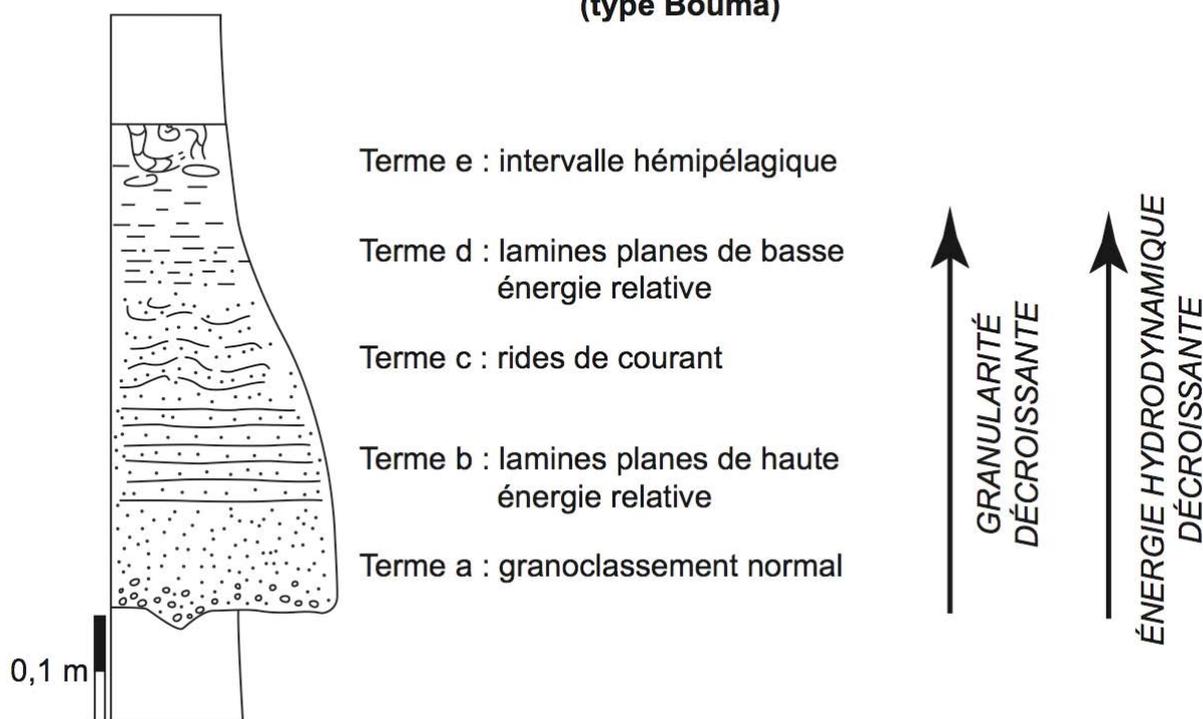
- *Un schéma légendé d'une séquence idéale de ce type de dépôt.*

Une représentation schématique et commentée d'une *séquence-type de turbidite* (séquence de Bouma) était attendue. Cette séquence se décline en cinq termes (Ta à Te ; cf. dessin) :

- Terme A (Ta) : terme de base, le plus grossier, à *granoclassement normal*. Il résulte d'un dépôt rapide depuis la base du courant de turbidité.
- Terme B (Tb) : terme marqué par la présence de *lamines planes* témoignant d'une *traction* de haute énergie hydrodynamique relative.
- Terme C (Tc) : terme marqué par la présence de *rides de courant*. Ces structures sédimentaires se forment par *traction* dans des conditions d'énergie hydrodynamique relative moyenne.
- Terme D (Td) : terme marqué par la présence de *lamines planes* qui témoignent d'une traction dans des conditions d'énergie hydrodynamique relative faible.
- Terme E (Te) : horizon fin, souvent bioturbé, qui marque la *décantation fine hémipélagique*, alimenté en partie par les éléments fins transportés dans le nuage néphéloïde qui accompagne le courant de turbidité.

Cette séquence traduit, par son granoclassement normal (sur toute son épaisseur) et les structures sédimentaires qu'elle présente, une *baisse progressive de l'énergie hydrodynamique* au moment du dépôt des différents termes. Le fort courant initial est responsable de figures d'érosion à la base. L'intervalle Ta-Td est directement lié à la sédimentation depuis la base du courant de turbidité. Il résulte d'un *dépôt instantané*. En revanche, le terme Te est déposé pendant une longue période et témoigne du bruit de fond de la sédimentation. Les turbidites, d'un point de vue stratigraphique, traduisent une *sédimentation discontinue*.

SÉQUENCE IDÉALE D'UNE TURBIDITE (type Bouma)



Dans ses grandes lignes (granulométrie), cette séquence type est généralement connue des candidats. Rides et lamines sont en revanche rarement bien restituées. En outre, les explications en termes de dynamique de mise en place sont parfois confuses.

- Une explication de l'origine de la ride du Var.

La ride du Var limite au Sud-Sud-Ouest la vallée sous-marine du Var. Sa croissance est liée au débordement des courants de turbidité et, en particulier, des couches néphéloïdes qui les accompagnent. La base dense et concentrée du courant de turbidité reste cependant confinée à la vallée sous-marine. L'important développement de la ride et la dissymétrie qu'elle présente par rapport à la bordure nord de la vallée sous-marine est le témoin de l'influence de la *force de Coriolis* (force géostrophique) qui conditionne une déviation marquée des nuages néphéloïdes vers le Sud-Sud-Ouest.

- Une présentation de la morphologie générale de l'éventail sous-marin du Var (**Document 9**) et les facteurs qui en contrôlent la géométrie à grande échelle (sur une demi-page maximum).

À plus grande échelle, la vallée sous-marine du Var (Document 9 ; France 10⁶) s'infléchit vers le Sud plus en aval. La partie amont du système sédimentaire est confinée par la présence de la levée turbiditique. L'observation de cet extrait de carte et de la légende correspondante permet de comprendre que l'inflexion du système turbiditique est liée à la présence d'un *mur de diapirs salifères* qui génère un bombement du fond marin. Ces diapirs sont les témoins de la remontée des évaporites déposées dans la colonne sédimentaire lors de la crise messinienne de la Méditerranée. Au-delà de l'inflexion, vers le Sud, la géométrie de la vallée sous-marine et la répartition des dépôts sédimentaires turbiditiques est contrôlée par la présence de la marge occidentale de la Corse. Le système sédimentaire du Var, dans son ensemble,

correspond à un système turbiditique profond (= *deep-sea fan*).

Cette partie n'a pas beaucoup inspiré les candidats, qui n'ont peut être pas bien compris les objectifs de la question. Rares sont ceux qui ont évoqué les effets topographiques imposés par la présence de la marge Corse, tandis que l'obstacle représenté par l'alignement des dômes de sel ne fut presque jamais évoqué.

Thème 4 : Evolution des lignes de rivage au cours du temps

Document 10 : Profil granulométrique d'un sondage dans la frange littorale du delta du Rhône au niveau de la Plage Napoléon

Votre exploitation comprendra notamment :

- *Une analyse du profil granulométrique et son interprétation.*

Le profil du sondage (Document 10) montre une *augmentation progressive de la granularité de la base au sommet*, passant de sables fins à des sables moyens. Parallèlement, les structures sédimentaires marquent une augmentation de l'énergie hydrodynamique vers le sommet (litages obliques) et une baisse de la pente (structures de glissement absentes au sommet). On constate, en outre, que des *fossiles marins* sont présents à la base, alors que des *fragments végétaux* sont présents au sommet, témoignant de l'influence croissante de sédiments d'origine continentale.

Ce profil présente l'enregistrement sédimentaire d'une *progradation*. Ce phénomène est caractéristique de l'évolution spatio-temporelle des *systèmes deltaïques*.

La présentation du sondage n'a généralement pas posé de problème, mais certains candidats s'en sont tenus à cette simple description, sans interprétation en termes d'évolution du rivage.

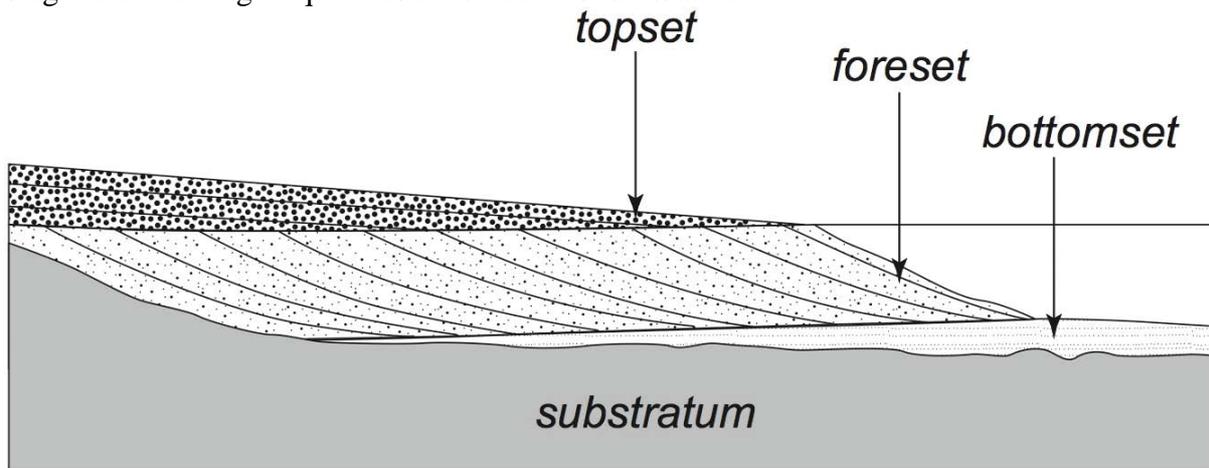
- *Une coupe synthétique légendée parallèle au grand axe d'un delta en insistant sur la géométrie des dépôts, dessinée à partir de vos connaissances.*

La *progradation* du système deltaïque se traduit par une avancée progressive du trait de côte vers la mer, en réponse aux importants apports détritiques du fleuve. On distingue ainsi trois grands ensembles de dépôts qui se succèdent latéralement :

- Les sédiments grossiers apportés par le fleuve se déposent au niveau de la plaine côtière et jusqu'à la ligne de rivage pour former le *topset*. Il s'agit de *dépôts fluviaux*.
- Les sédiments qui se déposent en domaine marin, au-delà du trait de côte au niveau du *front deltaïque*, forment le *foreset*. Les dépôts sont marqués par des litages obliques orientés vers le large qui sont les témoins de la progradation du système sédimentaire.
- Les sédiments les plus fins se déposent, plus distalement encore, au niveau du *bottomset*. Ils sont caractérisés par une stratification horizontale.

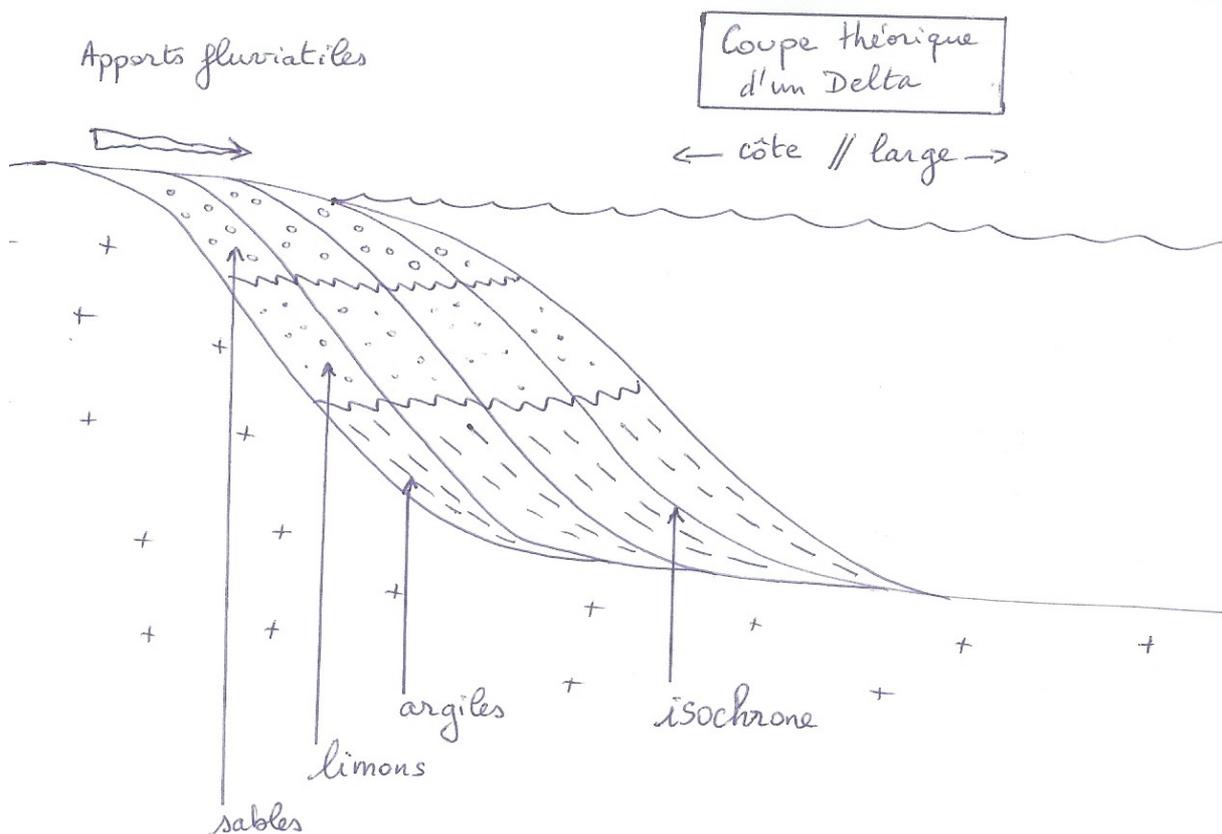
Au cours de la progradation, le système deltaïque avance vers la mer et les différents ensembles se superposent tour à tour. Dès lors, un forage réalisé au niveau du delta recoupera successivement, du sommet vers la base, le *topset*, le *foreset* et le *bottomset*. Ainsi, la

succession verticale des dépôts témoigne de leur disposition latérale à un moment donné. Il s'agit là d'une magnifique illustration de la *loi de Walther*.



L'organisation des faciès sédimentaires dans un delta.

Un autre schéma possible est le suivant :



Document 11 : Evolution séculaire du trait de côte du delta du Rhône entre les embouchures du Grand Rhône et du Petit Rhône (période 1895-2000)

Votre exploitation comprendra notamment :

- Une analyse du **Document 11A**.

Ce diagramme illustre l'évolution du trait de côte au cours du temps, entre 1895 et 2000.

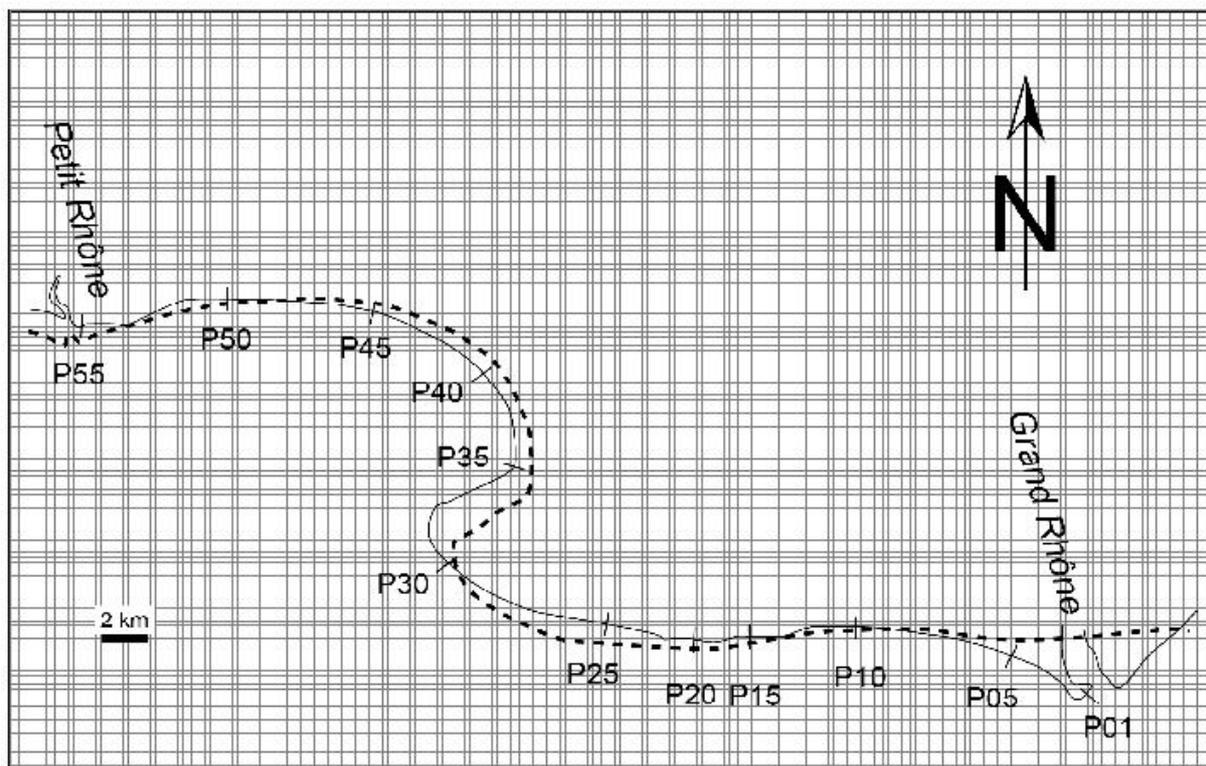
Le trait horizontal marque la référence de la position initiale du trait de côte en 1895 et les autres courbes marquent les nouvelles positions du trait de côte au niveau des différentes stations de mesure. On identifie ainsi les zones qui ont subi une *érosion* et les secteurs qui ont subi un *engraissement*. Ces données permettent de matérialiser l'évolution cartographique de la ligne de rivage du delta du Rhône. On constate ainsi que le secteur de l'embouchure du Grand Rhône est une zone d'engraissement maximum, car les *apports sédimentaires* vers la Méditerranée se font majoritairement au niveau de cette embouchure. De plus, le secteur de la station P30 est également une zone d'engraissement.

Très peu de candidats ont quantifié la vitesse de recul ou de progression de la ligne de côte.

- *La reconstitution cartographique du trait de côte de cette zone du delta du Rhône. On placera sur le **Document 11B** (qui sera rendu avec la copie) le tracé de la ligne de rivage de 1895.*

À partir des données du Document 11A, il était demandé de replacer la position de la ligne de rivage de 1895 (ligne en pointillés) par rapport à celle de l'an 2000. Pour cela il faut soustraire ou additionner les distances par rapport à la référence de 1895.

DOCUMENT 11B



Dans les copies, la construction de la courbe a été souvent réalisée mais de manière plutôt approximative.

- *Une discussion des paramètres susceptibles d'avoir influencé les modifications de la ligne de rivage pendant la période considérée.*

L'analyse de l'évolution du trait de côte au niveau du delta du Rhône, entre l'embouchure du Grand Rhône et celle du Petit Rhône (Saintes-Maries-de-la-Mer) permet d'en apprécier l'évolution séculaire et de mettre en évidence le déplacement latéral, vers l'Ouest, de la flèche littorale de Beauduc. Le bilan sédimentaire à cette échelle de temps n'est pas aisé à quantifier.

Cependant, il était possible d'envisager un probable recul de la ligne de rivage pour la zone considérée. Plusieurs hypothèses peuvent être proposées pour expliquer ce relatif recul : (1) les effets marqués de la *dérive littorale* liée au courant liguro-provençal (allant vers l'Ouest) ou aux tempêtes de vent d'Est. (2) une *réduction des apports détritiques vers le delta* par les réseaux fluviaux en réponse aux aménagements anthropiques et (3) une *remontée du niveau relatif de la mer*. Les aménagements anthropiques au niveau du bassin versant sont susceptibles de diminuer la charge solide du Rhône et de ses affluents, sans pour autant réduire de manière sensible les débits liquides. Il s'agit des barrages artificiels (exemple Serre-Ponçon mis en service en 1960), l'exploitation des granulats des lits fluviaux, la reforestation depuis le début du XX^e siècle pour stabiliser les versants et réduire l'écoulement superficiel (prévention des crues).

Parmi le peu de candidats qui ont évoqué cette question, on a pu lire quelques bonnes idées sur les causes anthropiques. Cependant, la dérive littorale fut très rarement évoquée.

Document 12 : Coupe des sédiments marins du littoral et du domaine marin peu profond à la hauteur du Phare de Cayeux (carte de St-Valery-sur-Somme – Eu à 1/50 000)

Votre exploitation comprendra notamment :

- *Une explication des méthodes d'obtention des datations présentées sur le **Document 12A** (une demi-page maximum).*

Diverses méthodes de datation peuvent être envisagées. La *datation relative* permet, par application du principe de superposition, d'établir les relations mutuelles entre les différentes formations sédimentaires. Les formations du Crétacé et du Tertiaire du substratum sont datées par leur contenu en fossiles.

Les âges des formations les plus récentes sont obtenus par plusieurs méthodes : cosmonucléides, thermoluminescence, ou radiochronologie. Le principe de la *datation absolue* peut être rapidement évoqué, en prenant l'exemple du *radiocarbone*. L'âge de l'échantillon est donné par la quantité de ¹⁴C radioactif restant, selon la formule $N = N_0 \exp(-\lambda t)$.

Dans les copies, les réponses se sont limitées à évoquer les principes de la radiochronologie et de la biostratigraphie, sans presque jamais citer des exemples concrets d'application.

- *Une description de la géométrie des différents dépôts quaternaires.*

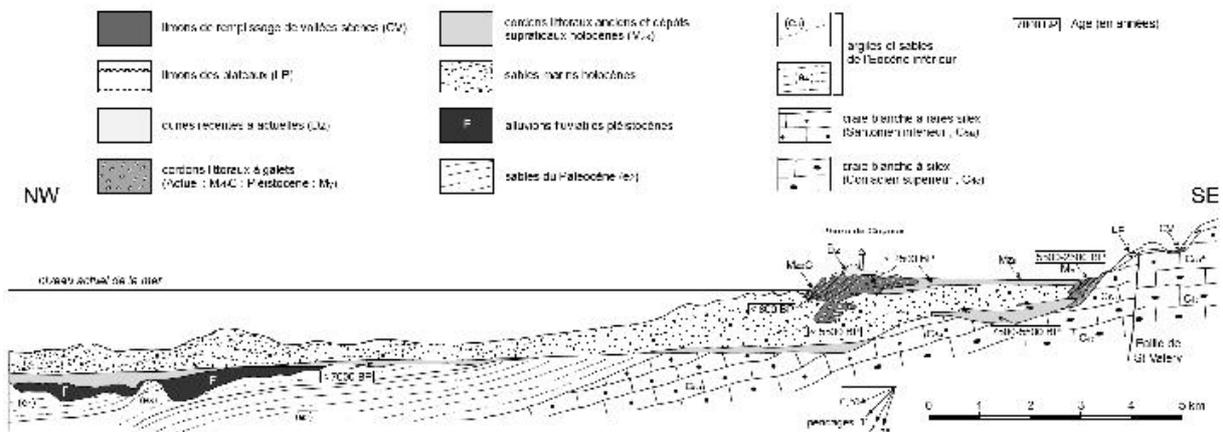
Les dépôts détritiques quaternaires peuvent être décrits selon leur géométrie (souvent oblique) ainsi que leur position (plus ou moins proche du rivage). Les dépôts successifs sont soit empilés verticalement (aggradation), soit déplacés horizontalement. Les dépôts quaternaires les plus anciens (F) ont un aspect chenalisé, ce qui confirme le caractère fluvial. Ils ont été déposés par une rivière (fleuve) à une époque où la Manche était donc émergée. On voit deux dépôts voisins de ce type, indiquant probablement un paléo-méandre. Les dépôts suivants sont placés au-dessus et de plus en plus vers le rivage (rétrogradation). Le dépôt « < 7000 BP » peut être considéré comme un prisme de bas niveau. Les biseaux « transgressifs » (*onlap*) ne sont pas nettement indiqués sur la coupe, mais on peut assimiler le dépôt « 7500-5500 BP » à un cortège transgressif (transgression flandrienne). À partir de 2500 BP, les dépôts sont à la même altitude (stabilité du niveau marin) et se déplacent vers le large (progradation). Les couches sont disposées obliquement (pente du delta) et se terminent

par des biseaux de progradation (*downlap*). On peut noter quelques lignes repères obliques dans les sables holocènes, qui traduisent des dépôts chenalisés.

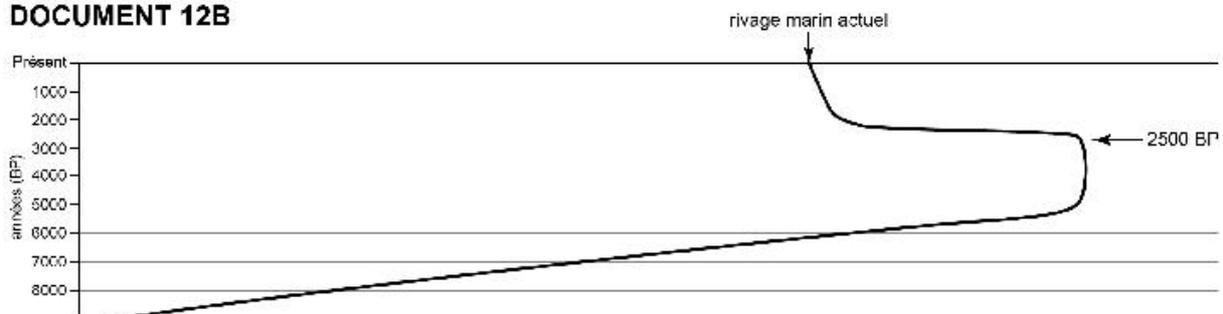
Les réponses à cette question ont été très décevantes, limitées à une paraphrase du document. En revanche, le graphique demandé à la question suivante a été souvent réalisé, mais avec peu de précision.

- La construction graphique schématique sur le diagramme du **Document 12B** (qui sera rendu avec la copie) de l'évolution de la position du rivage marin en fonction du temps.

DOCUMENT 12A



DOCUMENT 12B



La reconstitution graphique de l'évolution de la position de la ligne de rivage au cours du temps est reportée directement sur le Document 12B. On constate qu'après l'épisode transgressif (7000-5500 BP) et une phase de stagnation jusqu'à 2500 BP, la progradation de la ligne de rivage commence pour arriver à sa position actuelle. Le facteur de contrôle essentiel de l'évolution des corps sédimentaires est l'eustatisme.

- Une discussion des paramètres responsables de cette évolution.

Les paramètres responsables de cette évolution sont de deux natures : eustatisme et sédimentation. La rétrogradation est liée à une hausse relative du niveau marin (transgression ou subsidence), pendant laquelle le potentiel d'accommodation (espace disponible) est supérieur au flux sédimentaire. En revanche, la progradation est liée à une stabilité du niveau marin relatif, avec un flux sédimentaire supérieur à l'accommodation. Ce flux sédimentaire a trois origines : une production locale (coquillages), une origine fluviale certainement assez peu importante compte tenu du faible débit de la Somme, et un transport côtier d'éléments érodés des falaises voisines (sables et galets de silex) par la dérive littorale.

Conclusion

À la lumière des exemples étudiés dans l'exposé et de vos connaissances, vous résumerez les grandes caractéristiques des structures, de la sédimentation et des environnements de dépôt des bordures maritimes de la France métropolitaine de façon à faire apparaître l'ensemble des facteurs qui conditionnent leur évolution.

L'analyse des différents documents proposés dans le sujet permet de dégager les grandes caractéristiques des structures, de la sédimentation et des environnements de dépôt des bordures maritimes de la France métropolitaine. Les bordures méditerranéenne et atlantique correspondent chacune à une *marge passive*. Ces marges sont caractérisées par un plateau continental (jusqu'à l'isobathe 200 m environ) au-delà duquel on passe au domaine marin profond (plaine abyssale) par l'intermédiaire du talus continental. Cet approfondissement progressif vers le large est la conséquence d'un amincissement crustal et du passage graduel de la croûte continentale amincie à la croûte océanique. Cette modification des caractéristiques de la croûte se traduit par un changement de l'équilibre isostatique. Les structures tectoniques qui contrôlent l'amincissement crustal correspondent à des *failles normales* qui limitent des *blocs crustaux basculés*. Ces structures sont masquées par les sédiments qui les drapent et homogénéisent la morphologie. Cette *couverture sédimentaire* résulte du transfert des sédiments du continent vers l'océan au cours du temps. Elle s'accumule du fait de la subsidence qui accompagne le développement des marges et qui produit de l'espace disponible pour la sédimentation. Au niveau du *plateau continental*, les sédiments sont étalés par la houle (de beau temps et surtout de tempête) et les courants de marée. Au-delà du plateau continental, le transfert des sédiments vers les environnements plus profonds s'effectue principalement par des phénomènes gravitaires (courants de turbidité par exemple). Ces courants chargés de sédiments transitent par des *canyons sous-marins* (= zones de *by-pass*) qui entaillent le *talus continental* vers la *plaine abyssale*.

Les conditions morphologiques et hydrodynamiques contrôlent la répartition des sédiments de la frange littorale aux domaines marins profonds. Les sédiments transitent du continent vers les littoraux par l'intermédiaire des réseaux fluviaux dont l'embouchure peut être un delta ou un estuaire. Au niveau du *delta du Rhône*, par exemple, la charge solide du Rhône est telle qu'elle permet la construction d'un *système progradant*. Les sédiments en provenance du continent peuvent ensuite être remobilisés au niveau trait de côte par la *dérive littorale* (delta du Rhône, Baie de Somme) et les *courants de marée* (Baie de Somme = platier tidal). À grande échelle spatiale, cette remobilisation des sédiments va s'accompagner de phénomènes d'*érosion* et/ou d'*engraissement* du littoral selon les secteurs. Le contrôle de ces phénomènes est lié aux variations de la contribution relative des apports sédimentaires fluviaux et de l'impact des courants marins au niveau du littoral. Ces derniers permettent, entre autres, la formation de *cordons littoraux*, parfois riches en galets provenant de falaises en érosion (Baie de Somme). À petite échelle spatiale, la force des courants contrôle la répartition granulométrique du sédiment et le développement de structures sédimentaires (rides, mégarides). D'un point de vue temporel, l'ensemble des témoins de la dynamique littorale enregistre des variations rapides. À l'inverse, sur une plus grande échelle de temps, les *variations eustatiques* vont contrôler la répartition des corps sédimentaires et d'importantes variations latérales, modifiant ainsi profondément la morphologie littorale.

La dynamique sédimentaire des domaines marins profonds est totalement différente. Elle résulte pour l'essentiel de l'action de *courants gravitaires*. Les séquences élémentaires de dépôt des *turbidites* permettent de reconstituer l'évolution hydrodynamique des écoulements qui sont de courte durée (quelques heures à quelques jours). Ces séquences témoignent, par

leur granoclassement normal et la succession verticale des structures sédimentaires, d'une baisse progressive de l'énergie hydrodynamique au cours du dépôt. Le passage récurrent des courants de turbidité au niveau du talus continental conduit à l'incision progressive des canyons sous-marins et à la construction des levées sédimentaires en bordure des chenaux (alimentées par les nuages néphéloïdes). Plus distalement, les dépôts turbiditiques s'accumulent et forment des *éventails turbiditiques profonds* (éventail du Var par exemple). Les facteurs de contrôle externe de ces écoulements sont les crues et les phénomènes de haute énergie (séismes, tempêtes, activités humaines comme à Nice le 16 octobre 1979...). L'eustatisme modifie, sur une plus grande échelle de temps, le niveau de base des réseaux fluviaux à terre et donc les apports sédimentaires associés, ainsi que les surfaces des zones de stockage temporaire des sédiments au niveau du plateau continental.

Les activités humaines sont susceptibles de modifier les flux sédimentaires des continents vers l'océan. Les aménagements hydrauliques (barrages) peuvent bloquer les apports détritiques. De plus, les changements actuels du climat s'accompagnent d'une augmentation du niveau de la mer qui favorise l'érosion littorale. Les aménagements côtiers (digues, ports...), enfin, peuvent également engendrer un déséquilibre hydrodynamique préjudiciable à l'équilibre des zones littorales.

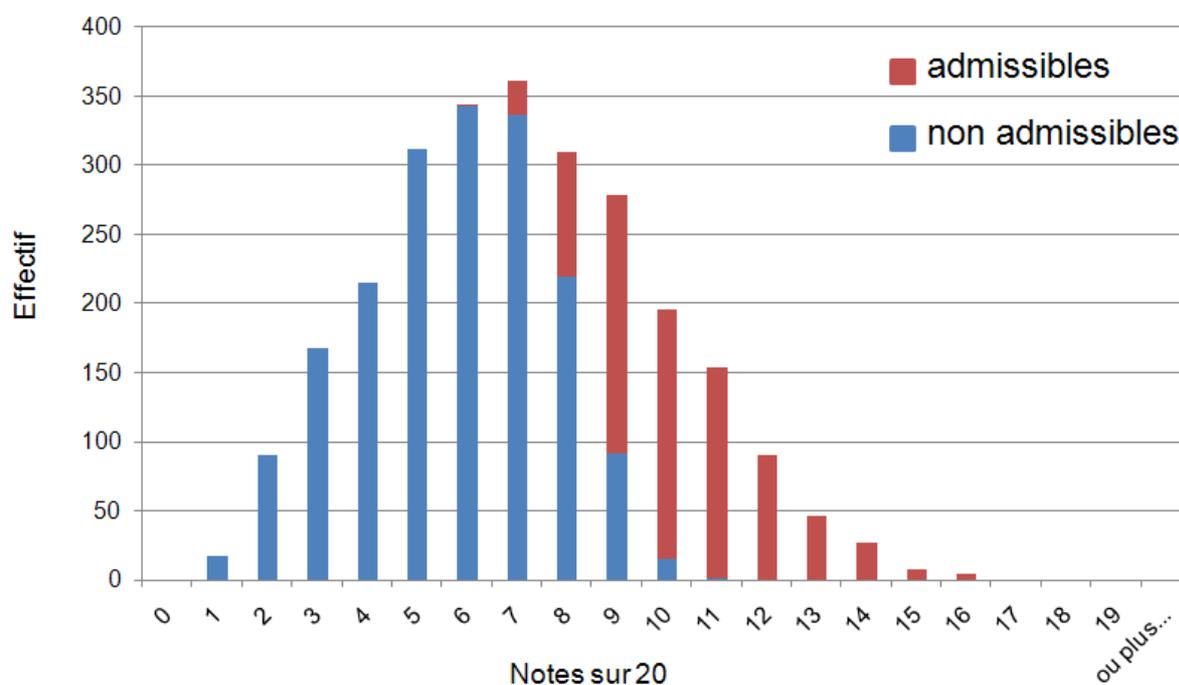
En conclusion, nous pouvons conseiller aux candidats de ne jamais se limiter à décrire les documents mais à chercher à les interpréter, c'est-à-dire tirer des conclusions sur des mécanismes explicatifs. L'emploi de mots clés permet d'apprécier la bonne connaissance du sujet. Il convient également de chercher à relier les documents entre eux, ce que permettait largement ce sujet.

Enfin, nous rappelons aux candidats l'importance de relire leur copie, de veiller à l'orthographe (un champ, un golfe ...), au soin des schémas, et même à la qualité de la calligraphie puisque certains mots sont parfois impossibles à déchiffrer.

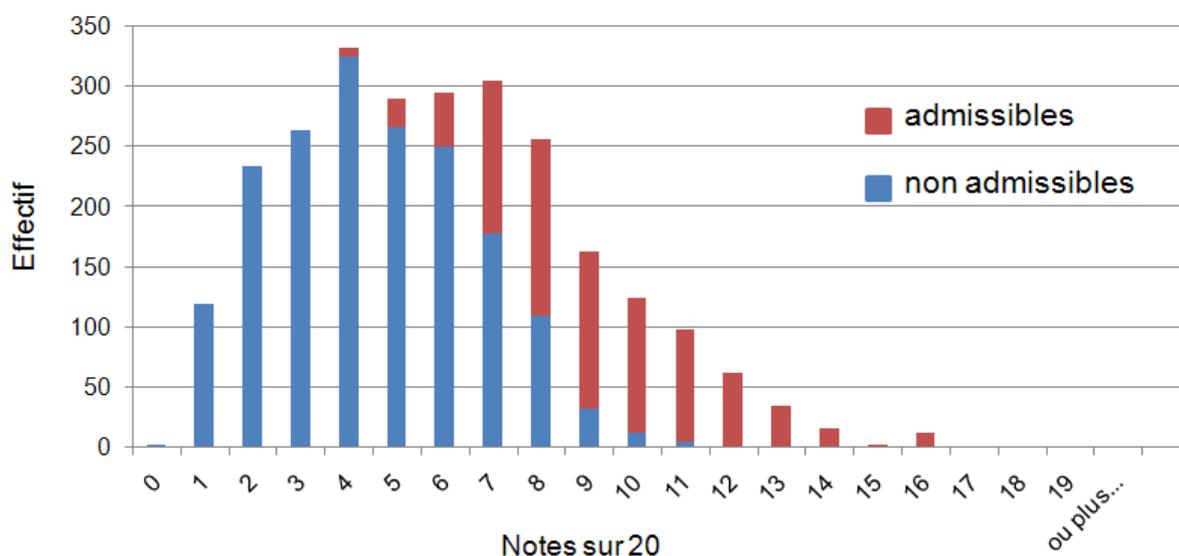
Ce sujet, certes porté sur la sédimentologie, avait pour ambition de tester les candidats dans d'autres domaines (morphologie océanique, tectonique distensive, sismique, gravimétrie, isostasie). L'utilisation de données sédimentologiques obtenues sur des formations actuelles ou très récentes a permis de voir si les candidats étaient capables de transposer leurs connaissances sédimentologiques, à d'autres domaines des Sciences de la Terre.

Bilan statistique détaillé des notes obtenues aux épreuves écrites

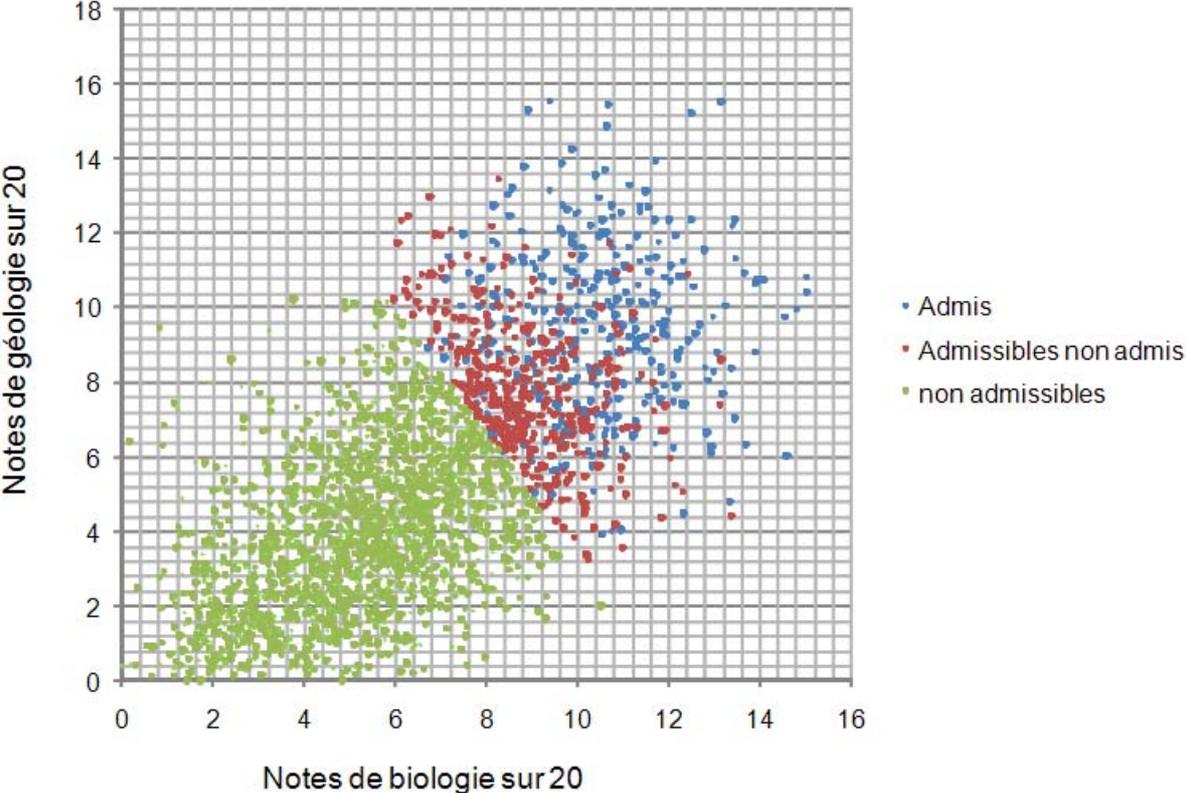
Répartition des notes obtenues à l'épreuve écrite de biologie



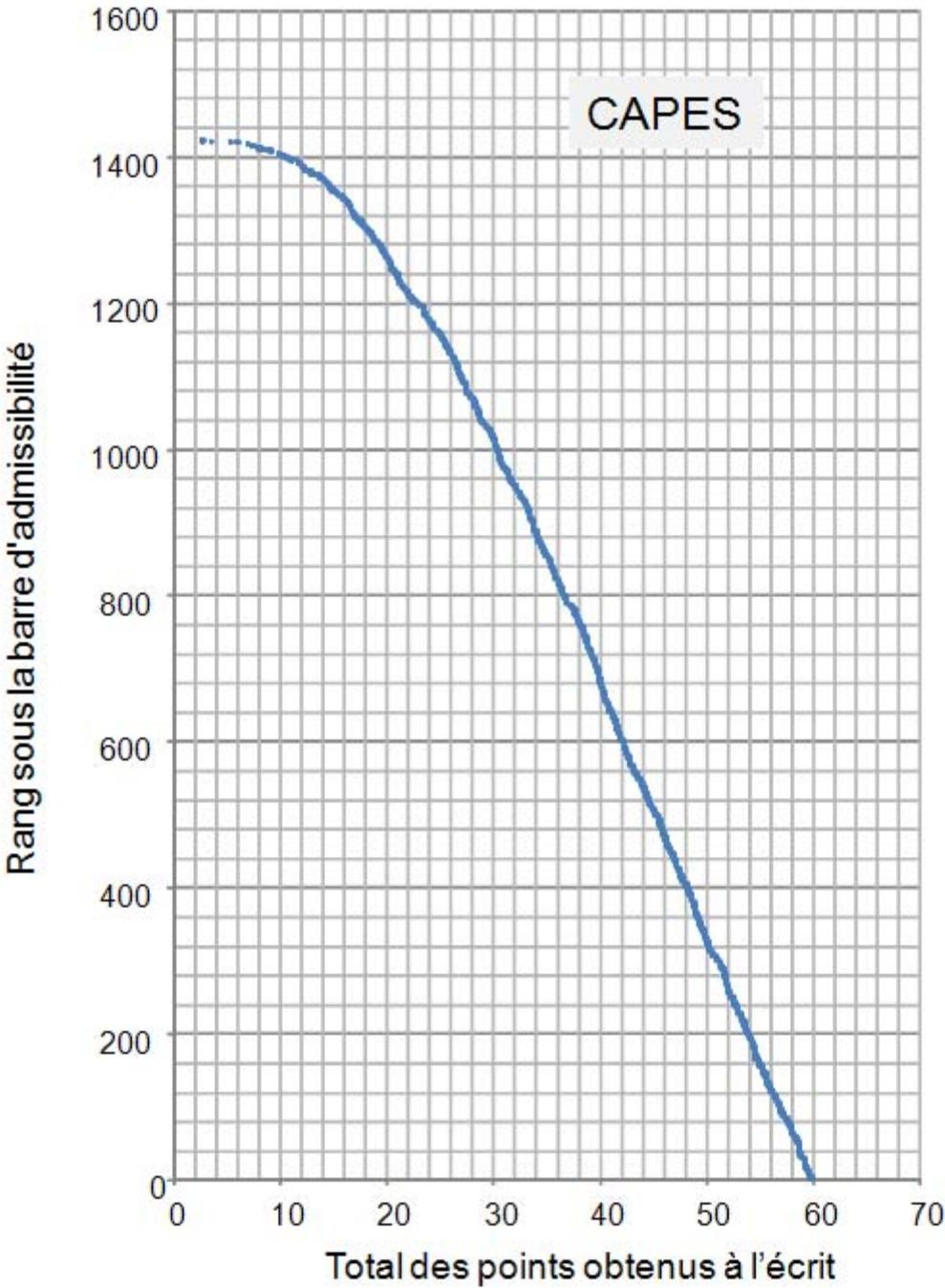
Répartition des notes obtenues à l'épreuve écrite de géologie



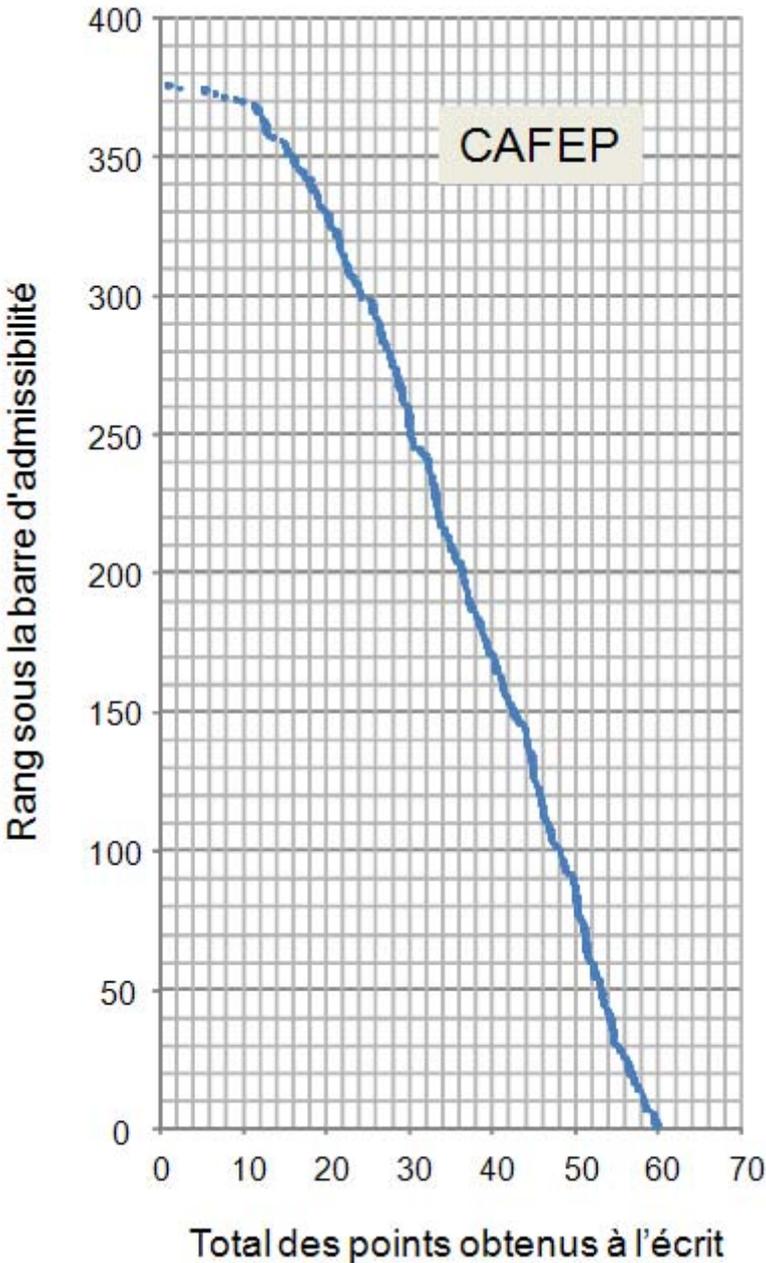
Relation entre les notes obtenues en biologie et en géologie



Relation entre le nombre de points obtenus à l'écrit et le rang sous la barre d'admissibilité du CAPES



Relation entre le nombre de points obtenus à l'écrit et le rang sous la barre d'admissibilité du CAFEP



Relation entre les notes obtenues à l'écrit à l'oral

