

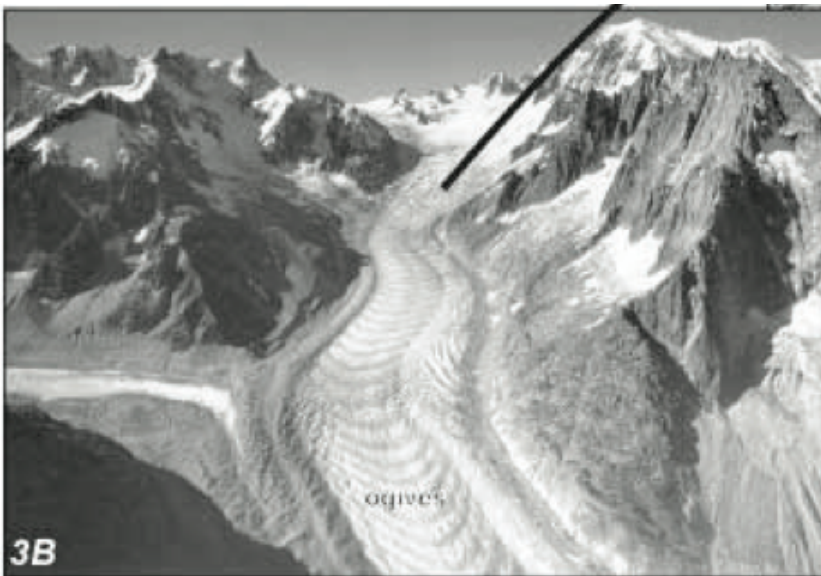
# TP G7-8-9. Sédimentologie

## I. Erosion et modelé

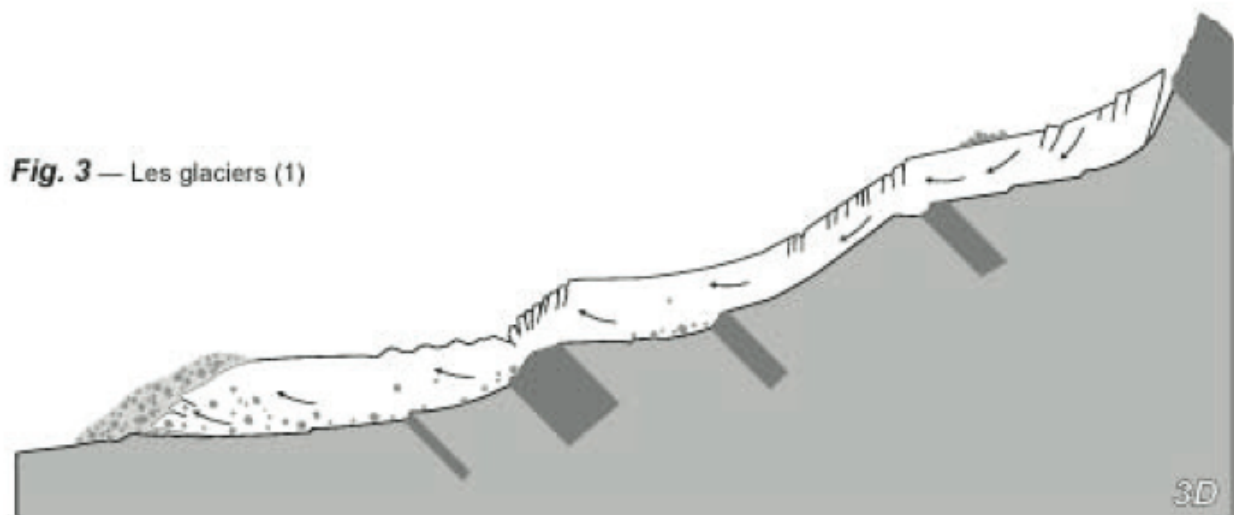
### 1. Modelé glaciaire

#### a) Etude morphologique

1. A partir du document 1 et 2, décrivez la dynamique des glaciers.
2. Légendez le document 2.



Document 1: Le glacier de la Mer de Glace (massif du Mont-Blanc, H<sup>te</sup>-Savoie)



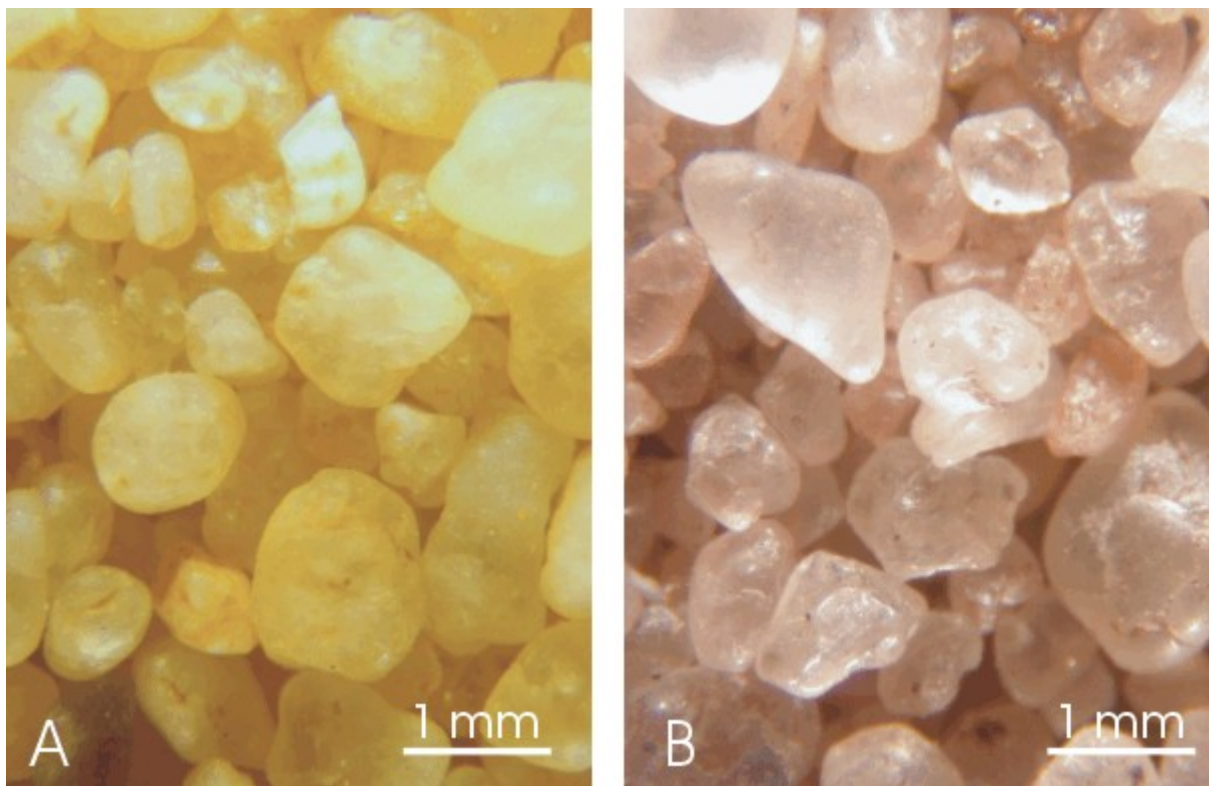
Document 2: Coupe schématique d'un glacier. Document à compléter

Librement adapté à partir du sujet de géologie du concours G2E de 2005.

b) Etude de cartes géologique et topographique : cartes de Lourdes

Vous disposez des cartes géologique et topographique de Lourdes (H<sup>tes</sup>-Pyrénées).

1. Repérez et commentez les différentes moraines.
2. Ordonnez dans le temps les glaciations Mindel, Riss et Würm.
3. Montrez que la région située entre Agos-Vidalos et Lourdes est probablement un lac glaciaire comblé.
4. Proposez une hypothèse pour la formation du lac de Lourdes.
5. Identifiez la formation notée Ea. On donne dans le document 4 une comparaison entre des grains issus d'un transport par le vent ou par l'eau. Proposez une hypothèse pour l'origine de la formation Ea.
6. Analysez la répartition des alluvions dans les vallées s'éloignant de la chaîne pyrénéenne en fonction de leur âge.



Document 3: Deux sables ayant subi deux modes de transport différents (éolien ou marin). La roche Ea contient des grains comparables au sable A. D'après l'université de Liège.

2. **Modèle karstique**

On propose ici deux petits exercices autour de la notion d'érosion en terrain calcaire.

a) Le cirque de Navacelle

Le cirque de Navacelle est un méandre mort abandonné par la Vis, une petite rivière du Sud de la France qui fait la frontière entre le Gard et l'Hérault.



Document 4: Le cirque de Navacelle (34)

Expliquez la formation de cette structure, et formulez diverses hypothèses pour expliquer la présence possible de cultiver du blé dans le méandre mort.

b) La fontaine de Vaucluse



Document 5: La Fontaine de Vaucluse au printemps (débit proche de  $40\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ )

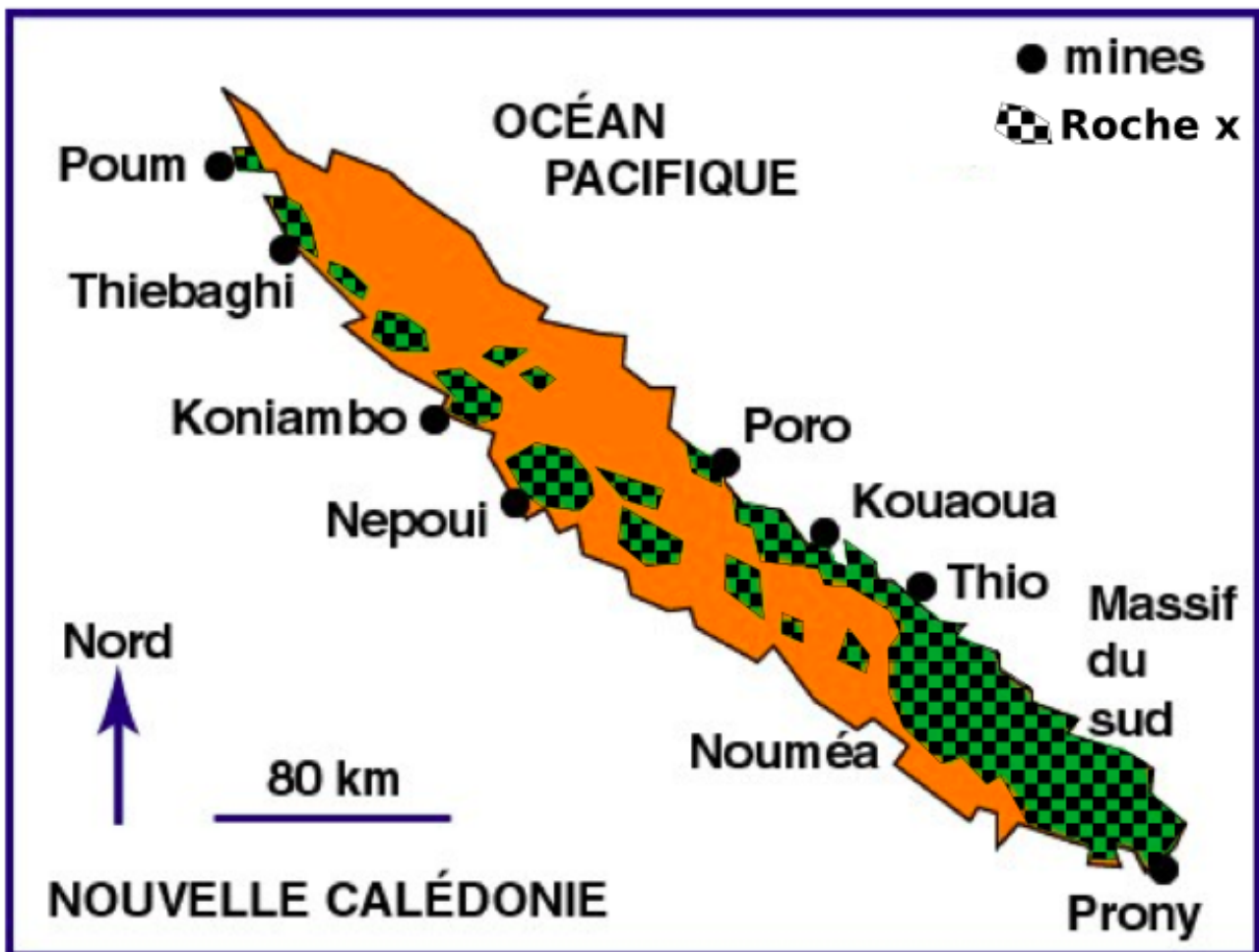
La Fontaine de Vaucluse est une résurgence karstique située dans le Vaucluse. Son débit moyen a été mesuré, et est de  $18,5\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Il s'agit à ce titre de la plus importante résurgence d'Europe.

1. La région est soumise annuellement à des précipitations à hauteur 750 mm d'eau. On estime que 25 % de cette eau est absorbée par la végétation et/ou s'évapore et que 10 % ruisselle vers le réseau de surface. Calculez la surface du bassin versant de la Fontaine de Vaucluse.
2. Proposez un moyen de vérifier sur le terrain le résultat de la question précédente.
3. Le bassin versant, constitué des monts de Vaucluse, est quasiment exclusivement composé de terrains calcaires. Proposez une manipulation simple montrant que les eaux de pluie peuvent facilement dissoudre le calcaire lorsqu'elle traversent la litière.

4. La concentration moyenne en calcaire dissout dans l'eau de la fontaine de Vaucluse est proche de  $200 \text{ mg.L}^{-1}$ . Calculez l'ablation annuelle massique des monts de Vaucluse.
5. Sachant que la densité moyenne du calcaire est de 2,5, et sachant que les monts de Vaucluse ont une altitude moyenne de 1 000 m, calculez le temps nécessaire pour dissoudre totalement ce massif.

## II. Altération des roches

La Nouvelle-Calédonie est une collectivité française d'outre-mer largement autonome, située dans le Sud-Ouest de l'océan Pacifique. Ce petit archipel, qui a la surface moyenne d'une région française, possède un quart des ressources mondiales en nickel (Ni). Ce métal a un intérêt stratégique majeur pour ses nombreuses utilisations en industrie. On cherche ici à comprendre la raison de la richesse en Ni en Nouvelle-Calédonie.



Document 6: Localisation des mines en rapport avec la lithologie sur Grande-Terre.

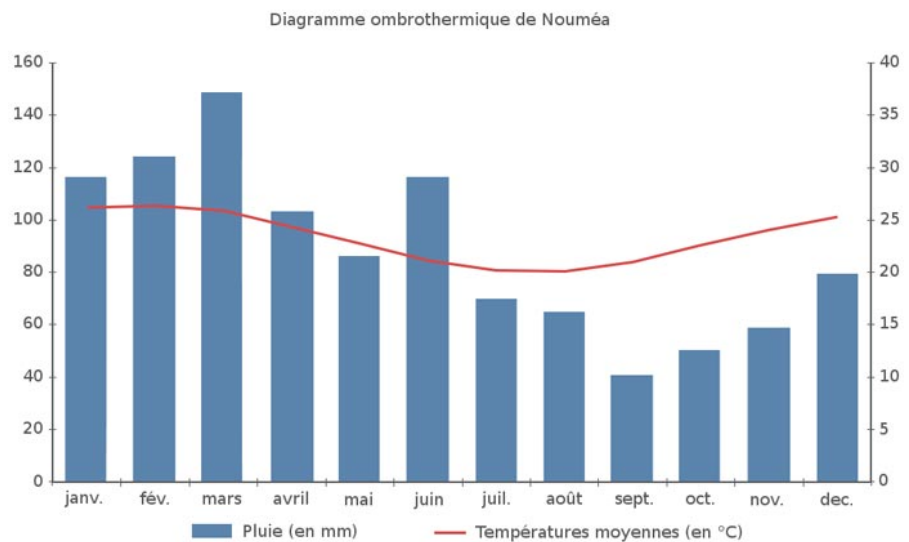
Minéral	Olivine	Pyroxène	Anorthite	Spinel	Oxydes
Pourcentage pondéral	53,2 %	32,3 %	5,2	1,2 %	6,7 %

SiO <sub>2</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	NiO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO	Perte au feu	Total
48,7 %	8,7 %	1,7 %	5,1 %	30 %	2,8 %	0,6 %	0,3 %	0,2 %	1,4 %	0,2 %	0,1 %	0,6 %	99,9 %

*Document 7: Composition chimique et minéralogique de la roche x.*

*Document 8: Diagramme ombrothermique de Nouméa (N<sup>lle</sup>-Calédonie).*



1. Nommez la roche x.
2. Proposez des hypothèses pour la présence de cette roche en Nouvelle-Calédonie.
3. Discuter le mode d'altération dans cette région en rapport avec le climat.
4. Le nickel peut exister sous deux états d'oxydation (Ni(II) et Ni(III)). Justifiez l'état d'oxydation du nickel dans la roche x ayant subi une altération.
5. Le nickel a un rayon ionique de 0,69 Å. Déterminez le comportement de chacun des deux ions vis-à-vis de l'eau. Justifiez ainsi l'enrichissement en Ni.

### III. Diversité des roches sédimentaires

#### 1. Les roches détritiques

##### a) Définition

Les roches détritiques sont des roches sédimentaires composées pour au moins 50 % de débris. Au sens strict, on ne considère que les débris non biogènes : les roches détritiques dont les éléments sont des débris de squelettes ou de tests d'êtres vivants sont en général classées parmi les roches carbonatées.

##### b) Classification

Les roches détritiques non biogènes, aussi appelées **roches détritiques terrigènes**, sont issues de l'érosion des continents. Elles sont constituées d'éléments de taille et de nature qui varient selon la nature des terrains érodés, le mode d'érosion et le mode de transport. La taille et la nature des éléments sont les principaux critères de classification.

Selon la taille, on distingue :

- Taille < 62,5 µm : **lutites** ou **pélites** ou **silts**
- 62,5 µm < Taille < 2 mm : **arénites**
- Taille > 2 mm : **rudites** ou **conglomérat**

Au sein de ces classes, on précise parfois la nature des éléments ou leurs caractéristiques :

- Une pélite dont les éléments sont majoritairement des argiles est appelée une **argilite**. L'abondance des minéraux argileux peut s'évaluer par leur capacité d'absorption de l'eau : **les argilites sèches happent la langue**.
- Une arénite dont les grains sont du quartz est un **grès**. Ce cas de figure est si courant, que « arénite » est couramment confondu avec « grès », ce qui n'est pas une grave erreur. On reconnaît les grains de quartz au fait qu'ils rayent le verre.
- Un grès dont les éléments sont majoritairement constitués de feldspaths est une **arkose**.
- Un grès qui a subi une cimentation siliceuse suffisamment importante pour que les grains ne soient plus reconnaissables est appelé une **quartzite**. Certaines quartzites ne sont pas sédimentaires (la recristallisation peut être due à un métamorphisme).
- Un conglomérat à éléments anguleux ou peu émoussés est appelé une **brèche**.
- Un conglomérat à éléments arrondis (galets) est appelé un **poudingue**.

L'ensemble de ces termes est à connaître parfaitement !

## 2. Les roches carbonatées

### a) Définition et caractérisation des roches carbonatées

Les roches carbonatées sont l'ensemble des roches dont la composition chimique est majoritairement dominée par les carbonates. Une écrasante majorité correspond aux carbonates de calcium (calcaires) et de calcium et magnésium (dolomies), qui sont les seuls au programme. Diverses classifications existent, selon la nature des éléments, leurs relations, et la nature du liant qui comble les espaces entre les éléments.

La meilleure caractérisation de la présence des carbonates est le test à l'acide. Pour les calcaires, on observe une effervescence à l'acide dilué froid. Pour les dolomies, une effervescence n'est observée que si on utilise un acide chaud (60°C) et concentré ( $[HCl] > 1 \text{ mol.L}^{-1}$ ).

- **Ecrivez la réaction de dissolution de la calcite par l'acide chlorhydrique, et expliquez l'effervescence.**

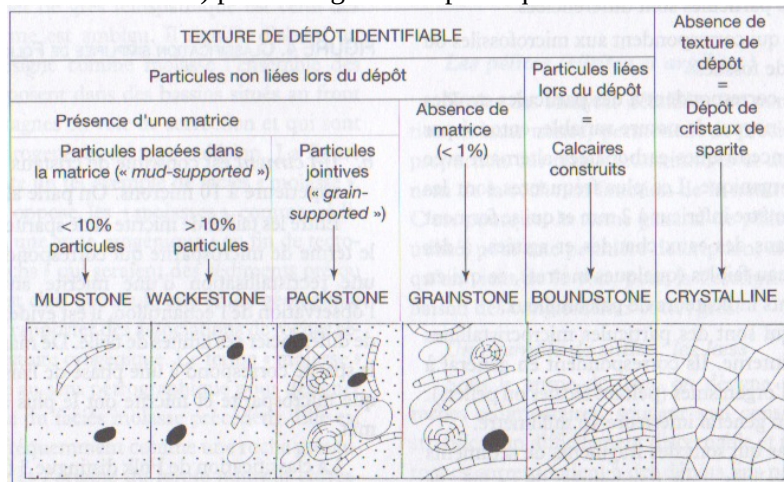
Les roches carbonatées ont de multiples utilisations :

- Elles permettent, en mélange avec de l'argile, de fabriquer le **ciment**.
- La calcination du calcaire donne lieu à la fabrication de la **chaux**
- De façon actuellement plus anecdotique, mais très importante par le passé, beaucoup de pierres calcaires ont servi de matériau de construction. Beaucoup de grandes villes françaises sont essentiellement construites en pierres calcaires (la majeure partie des bâtiments antérieurs au XX<sup>e</sup> siècle à Paris, Lyon, Marseille, Toulouse, Bordeaux...)

### b) Classification de Dunham

La **classification de Dunham** (document 10) est majoritairement basée sur la proportion d'éléments par rapport à une matrice, c'est-à-dire une boue calcaire solidifiée. Les termes qu'elle utilise n'ont pas d'équivalent francophone, et sont donc à connaître. Il existe cependant un recoupement relatif avec la classification de Folk.

Les **mudstones** et **wackestones** ne diffèrent que par la proportion relative de matrice. Avec les **packstones** et les **grainstones**, elles sont toutes les quatre des roches sédimentaires issues de particules initialement individualisées, et liées lors de la diagenèse. Les **boundstones** correspondent à des roches qui ne sont pas sédimentaires à proprement parler, mais sont tout de même classées comme telles : les **calcaires construits**, ou **calcaire récifaux**. De nombreux organismes peuvent donner lieu à la formation de calcaires récifaux. Si les **coraux** sont les plus connus, des **éponges**, les algues uni- et pluricellulaires (stromatolites), des lamellibranches (comme les rudistes) peuvent également provoquer la formation de récifs.

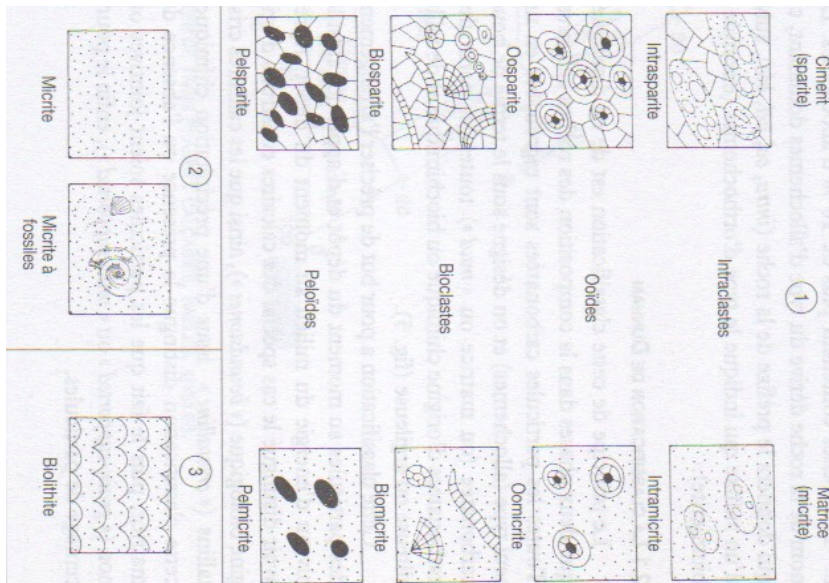


Document 9: Classification de Dunham.

### c) Classification de Folk

La **classification de Folk** (document 11) repose sur la distinction entre une **matrice** (issue de la solidification d'une boue carbonatée hétérogène) et un **ciment** (issu d'une cristallisation homogène de calcite pure), qui amène à définir deux types de roches : les **micrites** (roches à matrice) et les **sparites** (roches à ciment). Au sein de ces grandes familles, Folk fait la distinction entre les différents types d'éléments : les **débris lithiques** (ou **intraclastes**), les **oolithes**, les **bioclastes** ou les **pelotes de réjections** (*pellets* en anglais). Pour les roches ne pouvant pas être classées dans les micrites ou les sparites, notamment les calcaires construits, Folk définit le terme de **biolithite**, équivalent aux **boundstones** de la classification de Dunham.

La classification de Folk est donnée à titre indicatif, mais n'est pas explicitement au programme (contrairement à la classification de Dunham).



Document 10: Classification de Folk.

#### d) Roches carbonatées hors classification

Certaines roches ne peuvent pas entrer dans les classifications définies par Dunham et Folk, ou ont une définition plus générale. Elles sont présentées ici.

- Les **marnes** : ce sont l'ensemble des roches carbonatées contenant une quantité d'argile entre 35 % et 65 % (en dessous de 35 %, on parlera de calcaire argileux ; au delà, on parlera d'argile calcaire).
- Les **dolomies** : formées d'un minéral, la dolomie qui est un carbonate mixte de Mg et Ca. Le plus souvent, elle viennent de calcaires remaniés pendant la diagenèse. Elles correspondent à un échange d'ions  $\text{Ca}^{2+}$  par des ions  $\text{Mg}^{2+}$  en provenance en général de l'eau de mer.
- Les **marbres** : de carbonates entièrement recristallisés par métamorphisme. Diverses impuretés (oxydes, silicates) peuvent leur conférer des teintes et des figures intéressantes, qui trouvent une application en sculpture et en architecture. Ils peuvent être considérés comme des *crystallines* dans la classification de Dunham ou des *sparite* dans la classification de Folk.

De façon générale, au delà des classifications, la description d'une roche a pour finalité non pas de lui attribuer un nom ou de la ranger dans un tiroir, mais de comprendre son origine et son histoire. Cette question doit toujours rester prioritaire. Un point extrêmement important pour les carbonates consiste à rechercher la présence de fossiles, et à les identifier. Les fossiles permettent d'orienter le scientifique en terme d'âge, mais également en terme d'environnement de dépôt.

### 3. Les roches carbonées

Les roches carbonées sont inscrites au programme, mais les détails de leur classification ne sont pas à connaître. A la différence des roches carbonatées (qui sont des composés de l'ion carbonate, donc **carbone oxydé**), les roches carbonées sont constituées majoritairement de **carbone réduit**. A de très rares exceptions près, les roches carbonées sont issues de la conservation de la matière organique, qui n'a pas été dégradée par les décomposeurs pour des raisons variables. Selon les conditions de la diagenèse et la nature de la matière organique initiale, on obtient :

- Des **roches charbonneuses** (tourbe, lignite, anthracite), issues de végétaux continentaux ;
- Du **graphite** : degré maximal de transformation d'un charbon, avec recristallisation du carbone (et perte de la majeure partie des autres éléments, souvent des fluides).

- Du **pétrole**, issu de micro-organismes aquatiques
- Du **gaz naturel**, issu de diverses sources de matière organique et libéré par des processus divers, notamment pas un chauffage important.

La matière organique est habituellement dégradée par les décomposeurs. Les roches carbonées doivent donc se former dans des environnements où ils sont mis à l'abri des décomposeurs, soit par une **subsidence** importante, soit par **enfouissement**.

Le diamant est un minéral composé de carbone pur ayant cristallisé à ultra-haute pression. Il ne constitue jamais une roche, mais se rencontre dans des gisements rares, qui dépassent amplement le cadre de notre programme.

Les roches carbonées sont la première ressource énergétique mondiale, avec notamment le charbon, qui est la première ressource d'électricité, et le pétrole la première ressource énergétique pour les transports.

#### 4. Les évaporites

Les **évaporites** sont des roches issues de la précipitation chimique (non biologique) d'ions dissouts dans une saumure (eau de mer notamment). Les évaporites se rencontrent dans des environnements relativement chauds et secs ; l'alimentation en eau peut être diverse :

- Bassins endoréiques : ce sont des lacs ou mers (les définitions des géographes varient selon les pays) qui ne sont pas reliés à l'océan mondial. Exemple : mer Caspienne, mer d'Aral, mer Morte, lac Tchad. L'eau qui s'y écoule s'évapore en totalité.
- Lagunes : environnements reliés à la mer par intermittence (marées, tempêtes) ou de façon permanente, mais avec un débit faible par rapport à la surface du lac (chenal étroit par exemple). Exemple : lac Assal (Djibouti), alimenté depuis la mer Rouge, distante de 2 km, par des fissures.

La précipitation des différentes roches évaporitiques suit la loi des équilibres de précipitation : la seule concentration des solutés détermine (à une température donnée) la précipitation. Le document 12 présente les principaux ions présents dans l'eau de mer. L'ordre de précipitation suit donc l'ordre croissant des constantes de solubilité  $K_s$ . On observe, dans l'ordre d'augmentation de la concentration ionique :

- précipitation de **carbonate de calcium** (si elle est purement chimique, cette précipitation est considérée comme évaporitique)
- précipitation de **dolomite**, lorsque la concentration de Mg est trop importante
- précipitation des sulfate de calcium (**gypse**)
- précipitation du chlorure de sodium (**halite**)
- précipitation du chlorure de potassium (**sylvite**)

Les évaporites sont faciles à caractériser :

- Le **gypse** est **un des minéraux les plus tendres** (dureté de 2 sur l'échelle de Mohs, qui compte 10 niveaux). Il est **rayable à l'ongle**. Il se présente sous des formes très variables, mais est habituellement de couleur blanche plus ou moins teintée d'orangé.
- La **halite** se présente souvent sous la forme de cristaux cubiques blancs à transparents. Elle est constituée de sel pur, et est donc **très salée**.
- La **sylvite** est rarement aussi bien cristallisée que la halite. Elle est blanche, avec souvent des impuretés lui donnant une couleur orange. Elle est **particulièrement salée**, et donne un goût qui peut être décrit comme à mi chemin entre « amer » et « métallique ». Il est conseillé de goûter ces roches, en veillant à en laisser un peu pour les années suivantes (et en essuyant après après avoir goûté pour ne pas transmettre la grippe au voisin).

Le gypse et la sylvite sont des roches d'intérêt économique majeur :

- le **gypse** est la matière première du **plâtre**. De nombreux gisements existent en France, qui datent

d'époques où le climat était plus chaud, notamment à l'éocène (dans la région : carrière de Leforest (62)).

- La **sylvite** est la première ressource mondiale en potassium, utilisée comme engrais en agriculture (en France, gisement remarquable dans la région de Mulhouse (67)).

ion	Concentration dans l'eau de mer	Evaporite formée
Cl <sup>-</sup>	19 g.L <sup>-1</sup>	halite, sylvite
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3 g.L <sup>-1</sup>	gypse
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,1 g.L <sup>-1</sup>	calcite, dolomite
Na <sup>+</sup>	11 g.L <sup>-1</sup>	halite
Ca <sup>2+</sup>	0,5 g.L <sup>-1</sup>	calcite, gypse, dolomite
Mg <sup>2+</sup>	1,2 g.L <sup>-1</sup>	sels de Mg, dolomite
K <sup>+</sup>	0,4 g.L <sup>-1</sup>	sylvite

*Document 11: Composition de l'eau de mer et nature des évaporites formées pour chaque ion*

#### IV. Figures sédimentaire et environnement de dépôt

Les deux photos des documents 13 et 14 ont été prises sur l'estran à marée basse, dans la baie de Somme (80). Leur localisation est donnée sur le document 17 sur la carte géologique.

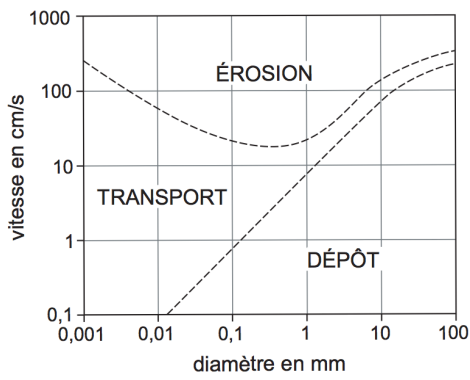
1. Identifiez les structures sédimentaires visibles sur les deux photographies.
2. A l'aide des diagrammes des documents 15 et 16, proposez une explication des mécanismes à l'origine des structures photographiées ainsi que les conditions physiques de leur formation.
3. Proposez une évaluation de la vitesse maximale des courants dans cette zone.



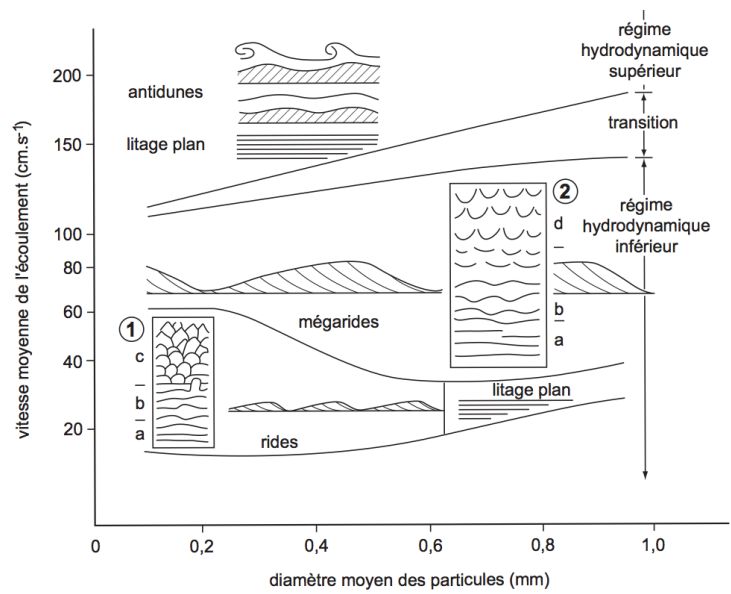
Document 12



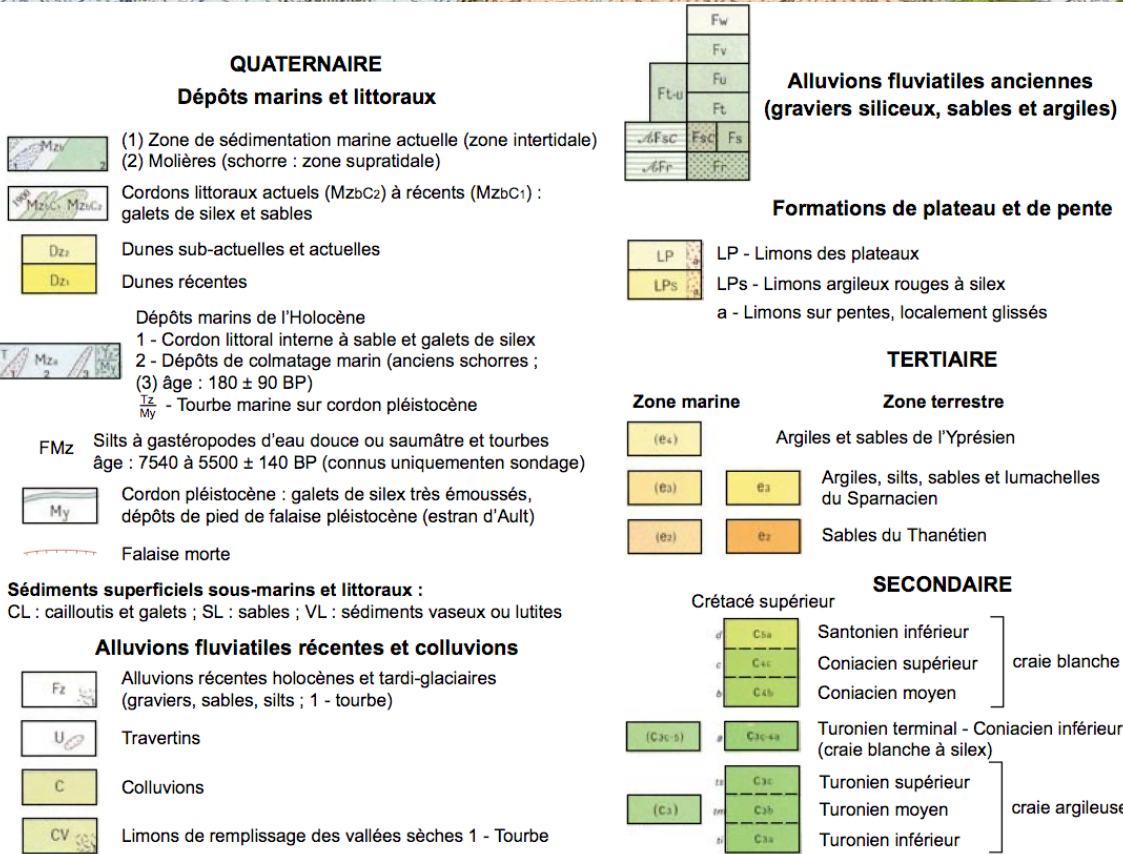
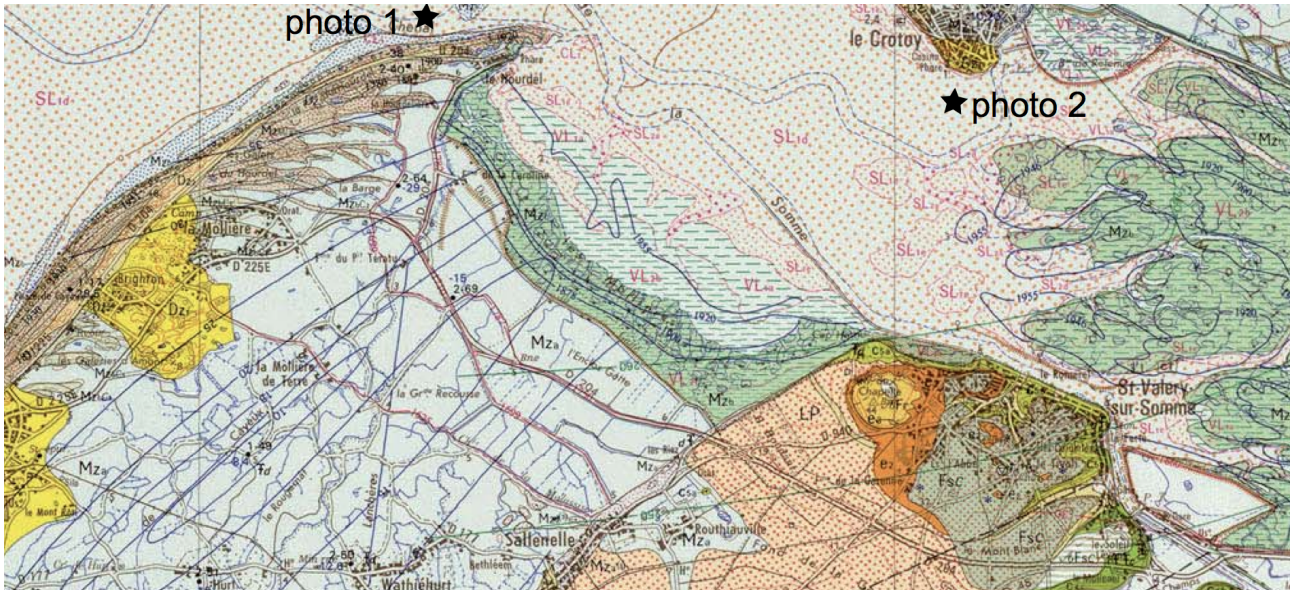
Document 13



Document 14: Diagramme de Hjulström



Document 15: Diagramme de Allen



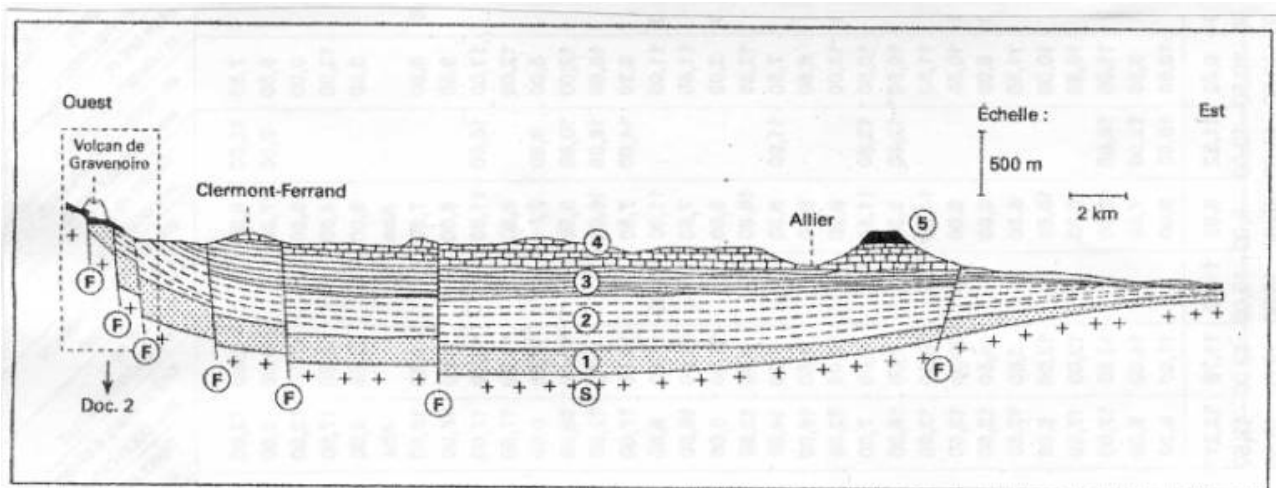
S

Document 16: Extrait de la carte géologique au 50 000e de St-Valéry-sur-Somme

## V. Analyser et modéliser la subsidence d'un bassin

La Limagne de Clermont-Ferrand est un bassin sédimentaire de petite dimension (quelques dizaines de km de large pour une longueur d'une centaine de km). Sa faible altitude tranche avec les sommets de la chaîne des Puys et des monts du Forez qui la bordent. On cherche ici à comprendre les conditions de formation de ce bassin sédimentaire.

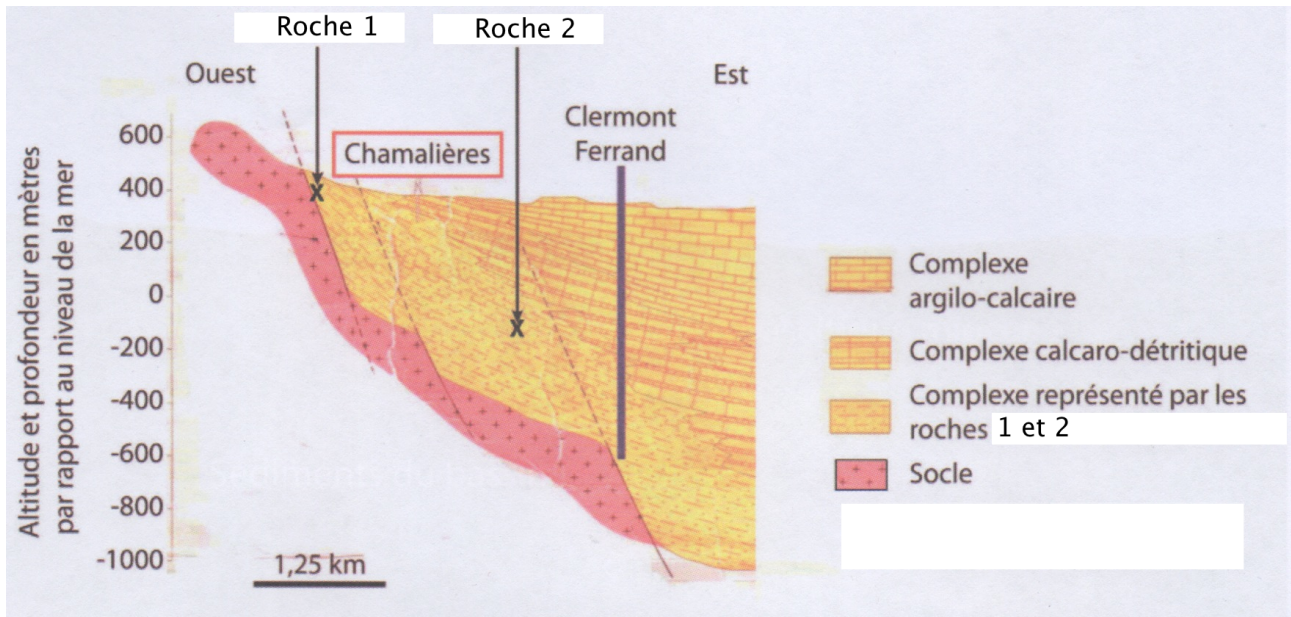
- On considère que la croûte continentale granitique, les sédiments et la péridotite mantellique ont une densité respectivement de 2,7, 2,2 et 3,35.
  - Donnez l'expression de la subsidence sédimentaire  $s_s$  en fonction de l'épaisseur  $e_s$  de sédiment déposée dans le bassin et des densités des roches considérées.
  - A l'aide des documents 18 et 19, déterminez la valeur de la subsidence totale du bassin au cours du temps en m par Ma. Déduisez-en la subsidence sédimentaire en fonction du temps.
  - Déduisez-en la subsidence tectonique.
- On a prélevé deux roches dans le bassin. Leur localisation est donnée sur le document 20. Mettez en relation leur localisation et leur nature.
- Décrivez l'évolution temporelle de la sédimentation sur une verticale située au droit de Clermont-Ferrand (trait vertical épais sur le document 20) puis proposez une hypothèse expliquant cette évolution.



Document 17: Coupe simplifiée (Est-Ouest) de la Limagne au niveau de Clermont-Ferrand. F : failles. S : socle. 1 : arkoses du Sannoisien. 2 : marnes à gypse du Stampien inférieur. 3 : marnes du stampien supérieur. 4 : calcaires lacustres du Chattien. 5 : coulée basaltique du Miocène.

Subdivision	Durée
Sannoisien	1,5 Ma
Stampien inf	2,5 Ma
Stampien sup	2 Ma
Chattien	4,5 Ma
Miocène	18 Ma

Document 18: Durées de quelques étages et sous-étages du cénozoïque

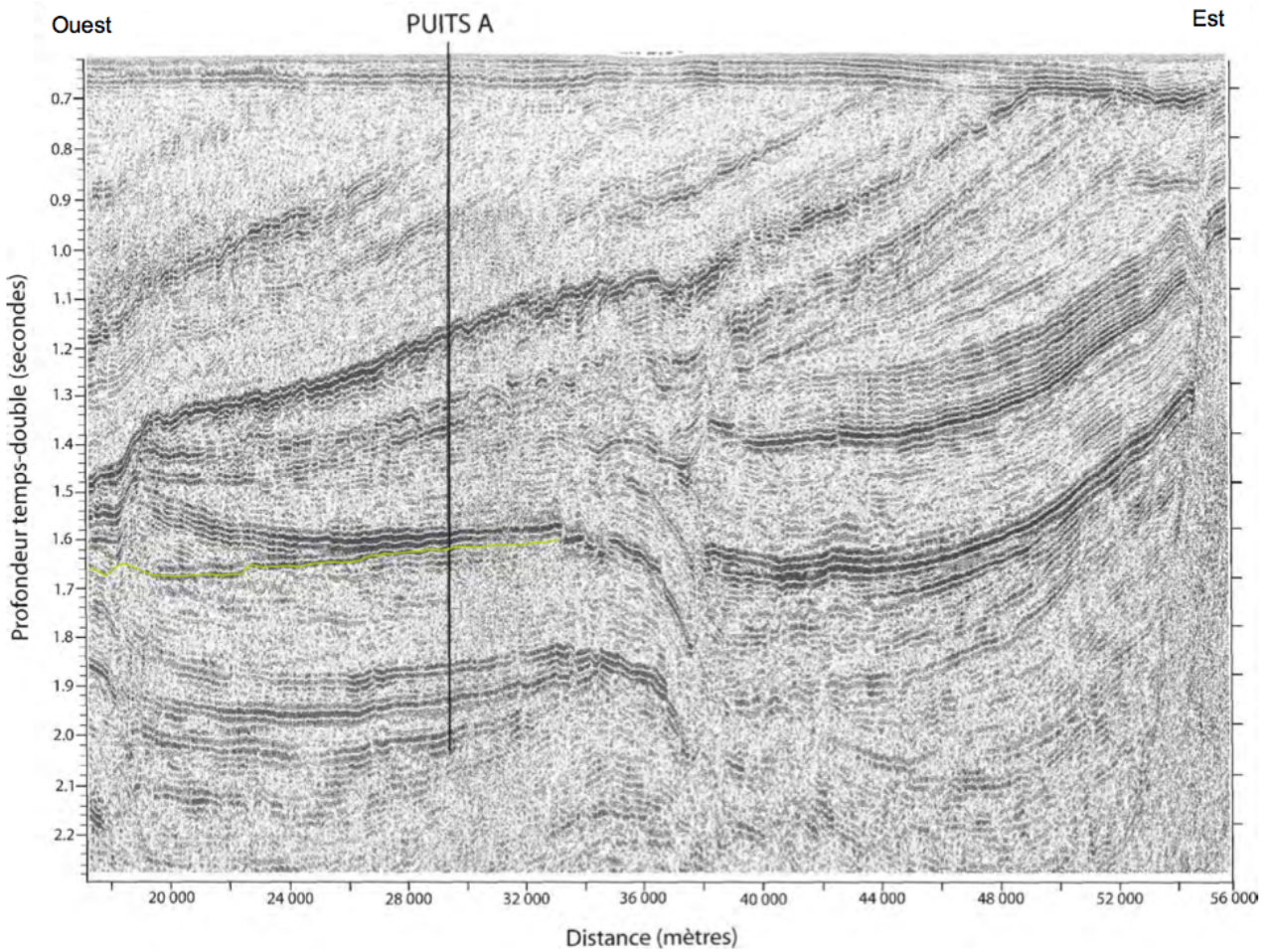


Document 19: Coupe de la Limagne au niveau de Clermont-Ferrand au niveau de sa bordure Ouest. Modifié d'après l'épreuve de SVT

## VI. Etude d'un bassin sédimentaire : la mer du Nord

Dans le cadre de prospections pétrolières, on cherche à connaître la structure du bassin sédimentaire situé au large de la Norvège en mer du Nord.

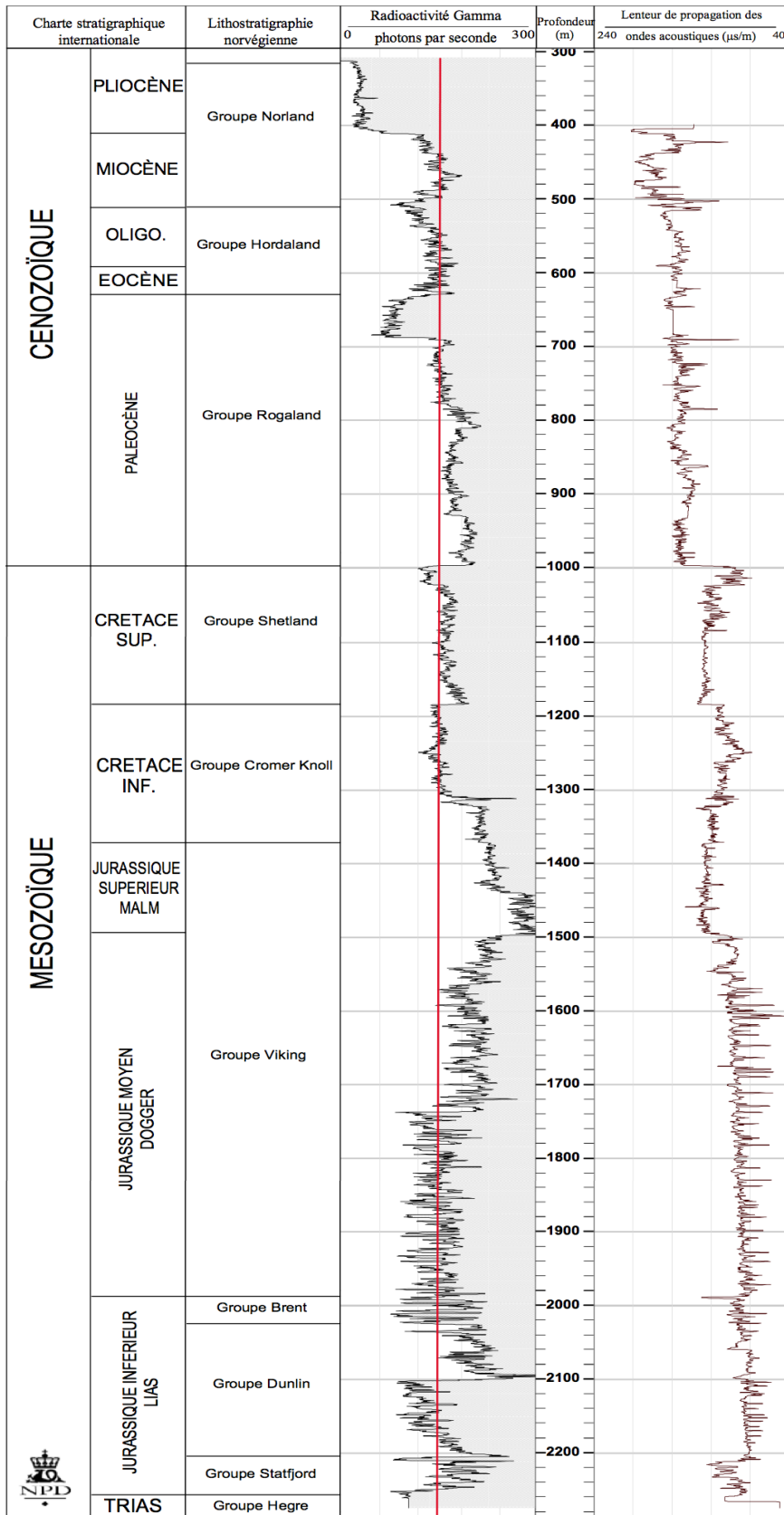
1. Sur le profil sismique (document 21) tracez les différentes failles et indiquez leur mouvement relatif.
2. Expliquez en quoi la diagraphie *sonic* (document 23) peut permettre de repérer les horizons les plus réfléchissants en sismique réflexion.
3. En vous basant sur le  $\gamma$ -ray, attribuez des noms de roches aux différentes parties du forage.
4. Durant leur enfouissement, les roches sont compactées de façon différente en fonction de leur nature (document 22). 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 de l'annexe. Calculez le taux moyen de compaction dans ces roches.



Document 20: Profil sismique obtenu dans la mer du Nord au large de la Norvège.

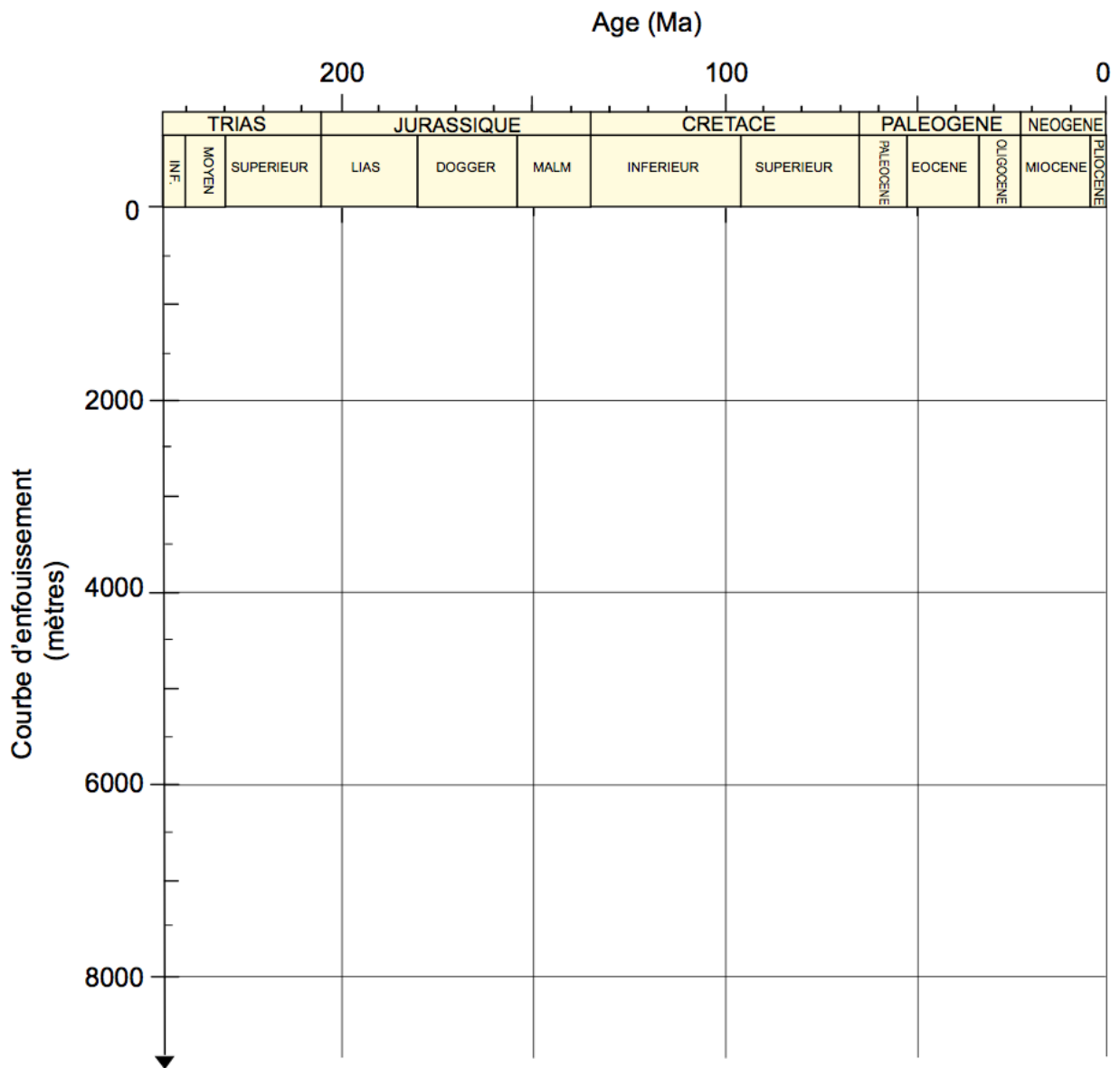
Roche	Densité	Radioactivité naturelle (cps)	Taux de compaction
Calcaire	2,71	40-80	2
Grès	2,65	70-150	2
Argile	2,50	> 150	4
Halite	2,05	~ 0	1
Granite	2,75	> 150	1
Basalte	2,90	~ 0	1

Document 21: Quelques caractéristiques de certaines roches.



Document 22: Diagraphie  $\gamma$ -ray et sonic selon le puits A (document 21).

**Annexe**



Largement inspiré d'un sujet du concours G2E (2013)