

**SESSION 2011**

**Académies d'Amiens,  
Caen, Lille, Rennes,  
Rouen et  
Versailles.**

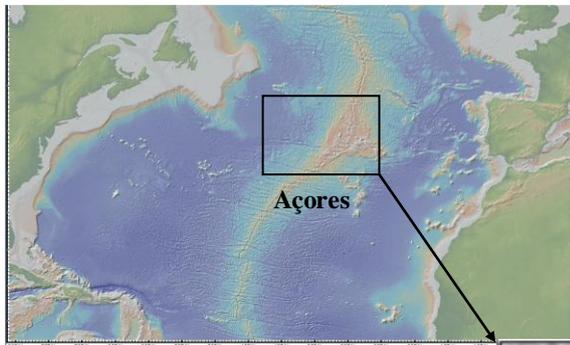
**Durée de l'épreuve : 4h.**

*Le sujet se compose de quatre exercices notés sur dix points chacun. Il comporte de nombreux documents, mais leur exploitation et les réponses attendues sont courtes. Les pages 9, 10 et 11 sont à rendre avec la copie.*

# EXERCICE 1

## La caldeira de Furnas

L'archipel des Açores est situé au milieu de l'océan Atlantique et est constitué de 9 îles. Une chaîne de montagnes volcaniques donne à São Miguel, île orientale des Açores, un relief très accidenté. Dans le massif oriental de l'île se trouve le cratère appelé Caldeira das Furnas de 35 km<sup>2</sup> et de 300 m de profondeur au fond de laquelle se situe le lac de Furnas.

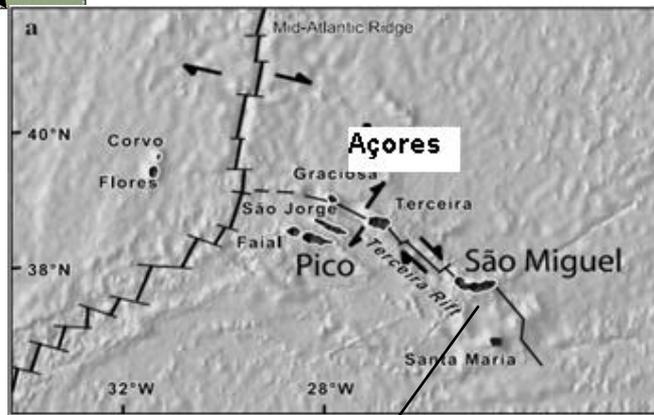


▲ Document 1 a : Archipel des Açores « GéoMapApp »



Où sont les Açores Bidulz ?

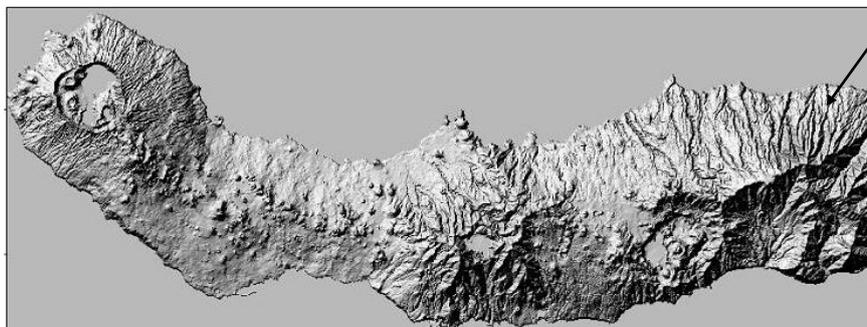
Document 1b ▼ : Les 9 îles des Açores. D'après Elliott. L'origine du manteau enrichi sous Sao Miguel, Açores



Eh bien du côté de l'anticyclone, Nath !



↔ Mouvements relatifs de plaques



◀ Doc 2a

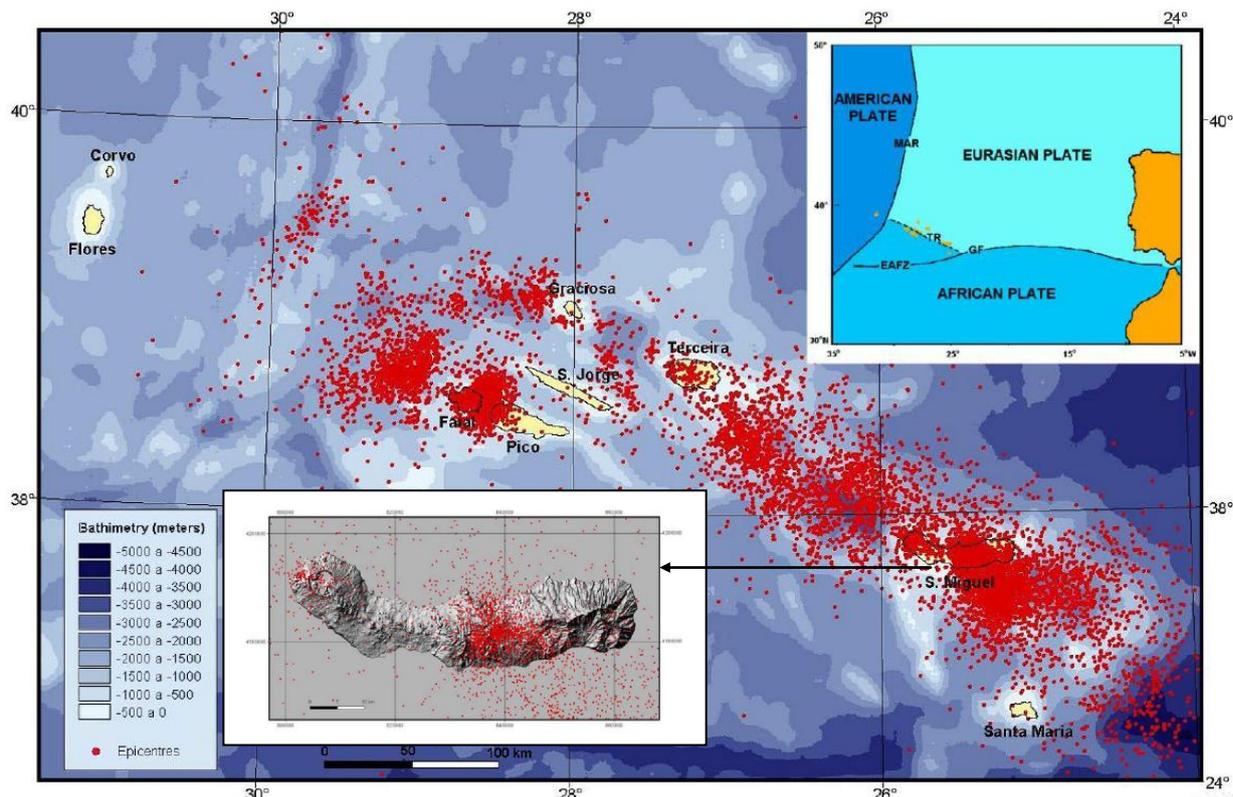
Un conseil, les questions auxquelles tu répondras sont en fin d'énoncé. Lis-les avec attention !



On va essayer d'en savoir plus sur cette Caldeira



▲ Document 2 b : São Miguel, Açores (Portugal) – D'après Rowland-Smith, A.1630 après JC : Eruption volcanique de Furnas, thèse, Miami 2007



**Document 3** : Situation géographique, milieu tectonique et sismicité (1980-2001) des Açores (données sismiques à partir de SIVISA 2001).  
 Bathymétrie de Lourenc, O et al. (1998).  
 Les épacentres sont figurés en rouge.  
 Légende du cartouche en haut à droite : MAR - Dorsale médio-atlantique ; EAFZ - Açores-Orient zone de fracture ; TR - Rift Terceira; GF – faille Gloria ; Plate : plaque lithosphérique



Année	Volcan	Début - Fin de l'éruption	Durée en jour	île
1630	Pico da Areia (Furnas)	3 septembre 1630 au 2 novembre 1630	61 j	São Miguel
1720	éruption sous-marine entre Terceira et São Miguel	10 octobre 1720 au 7 décembre 1720 ?	58 j ?	apparition d'une île
1811	éruption sous-marine au large de São Miguel, île de Sabrina	1 février 1811 au 9 février 1811 et 14 juin 1811 au 4 juillet 1811	8 et 20 j	île éphémère de Sabrina
1907	éruption sous-marine au large de São Miguel	1er avril 1907 au ?	?	Banc de Monaco
1911	éruption sous-marine au large de São Miguel	7 mars 1911	quelques heures	Banc de Monaco
1957	Capelinhos	27 septembre 1957 au 24 octobre 1958	393 j	Faial
1958	Caldeira	14 mai 1958	1 j	Faial
1981	éruption sous-marine au large de São Miguel	2 juillet 1981	1 j	Banc de Monaco
1998-1999	éruption sous-marine au large de Terceira (9 à 14 km)	23 décembre 1998 à fin février 1999	65 j	Serrata

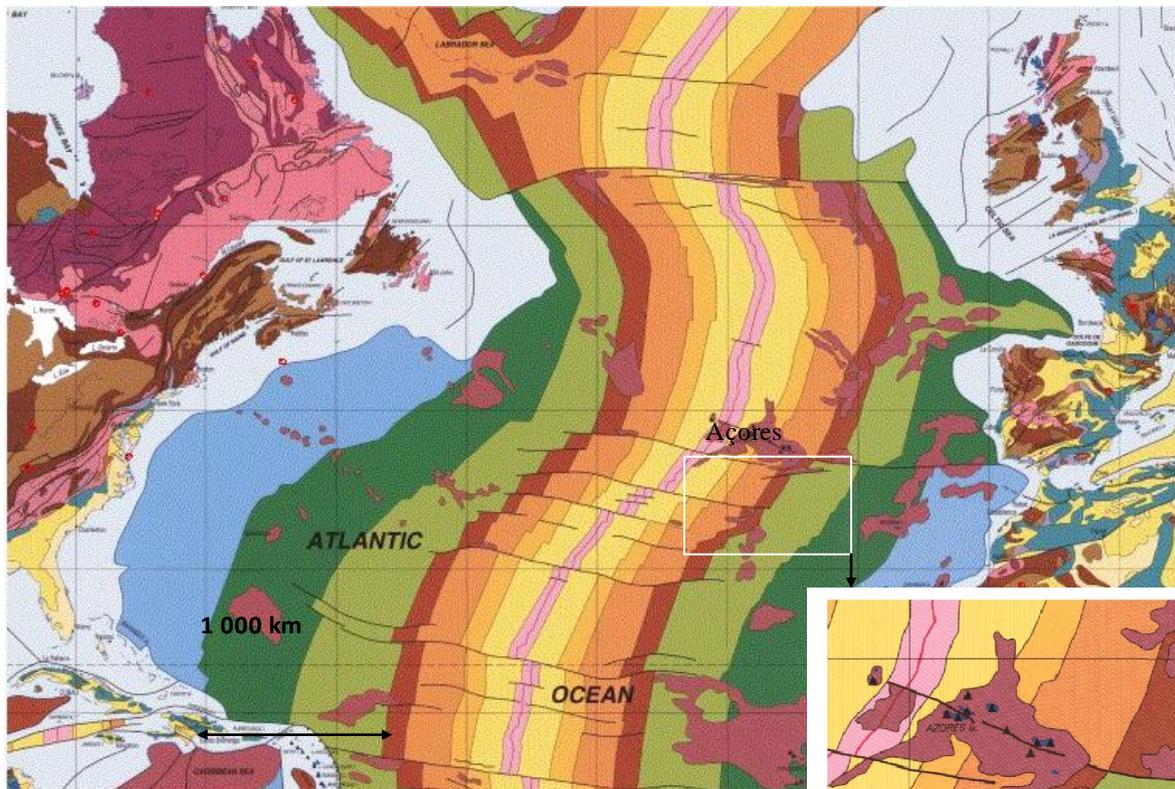
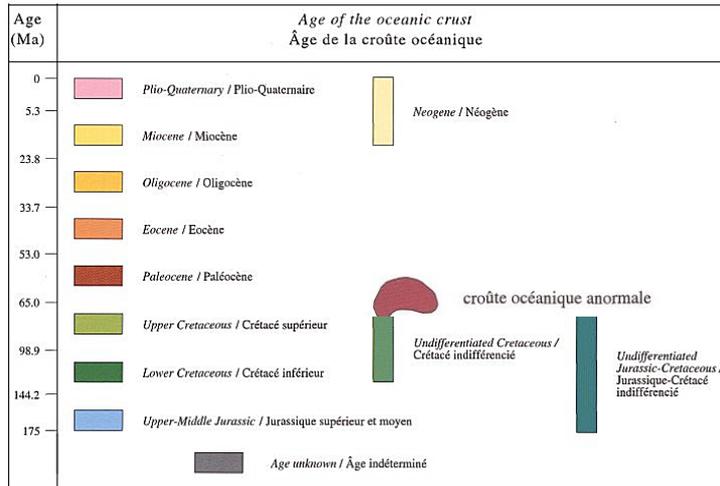


**Document 4** : Eruptions historiques de l'archipel des Açores depuis 1630.

Volcanique le petit Bidulz!



Document 5



▲ Volcans

● îles



Pour t'aider, tu as ci-dessus les différentes plaques lithosphériques au niveau des Açores et la carte des âges des roches océaniques avec sa légende.  
D'après La carte géologique du monde, UNESCO - CCGM.

La région de Furnas est une Caldeira (du portugais *caldera* qui signifie *chaudron*). C'est une large dépression générée par l'effondrement d'un édifice volcanique suite à une éruption explosive majeure qui vide partiellement ou complètement la chambre magmatique. Cette chambre magmatique était située à quelques kilomètres de profondeur. Lors de la grande éruption de 1630 elle s'est vidée partiellement par un épisode explosif résultant de la rencontre du magma et de l'eau : c'est ce qu'on appelle un *phénomène phréatomagmatique*. Le toit rigide de la chambre magmatique s'est effondré, formant cette vaste dépression à fond plat. L'effondrement se produit après la formation d'une faille en anneau.



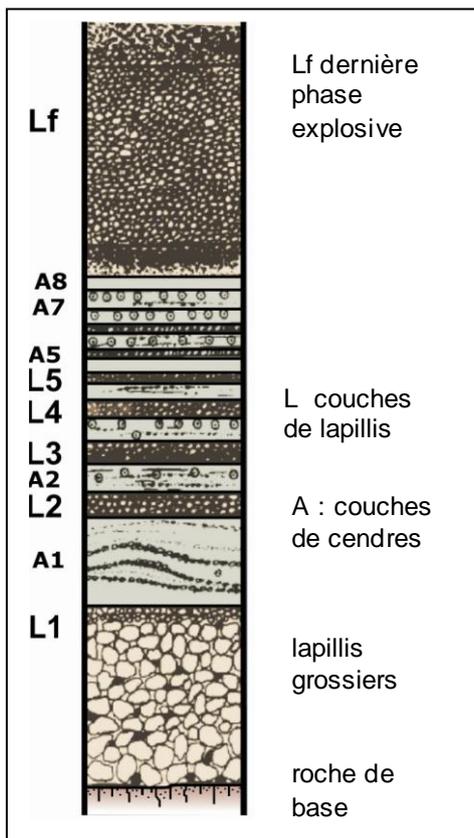
**Document 6 : la Caldeira de Furnas et schéma d'interprétation – D'après Rowland-Smith, A. (2007)**



Superbe ! mais terriblement dangereux au moment de sa formation à cause des coulées pyroclastiques émises lors de l'explosion du volcan. Elles correspondent à un mélange de cendres et lapillis à haute température ayant une grande vitesse (300 à 600 km.h<sup>-1</sup>). Les trachytes, laves visqueuses, forment souvent des dômes. Les roches trachytiques sont généralement de couleur gris très clair.



Document 7



Voilà à gauche la colonne stratigraphique du dépôt du Furnas (1630 après JC). Quelques précisions : **L1-A8** : couches de pierre ponce et de cendres représentant l'activité magmatique en alternance avec l'activité phréatomagmatique. **Lf** : phase finale d'explosion, purement magmatique avant la formation du dôme.  
- D'après Rowland-Smith, A. 2007 -.



Je te rappelle qu'un **lapilli** est un fragment de lave éjecté par les volcans. La taille d'un lapilli est comprise entre 2 et 64 mm. La roche formée par compaction des lapillis se nomme le tuf.



Document 8



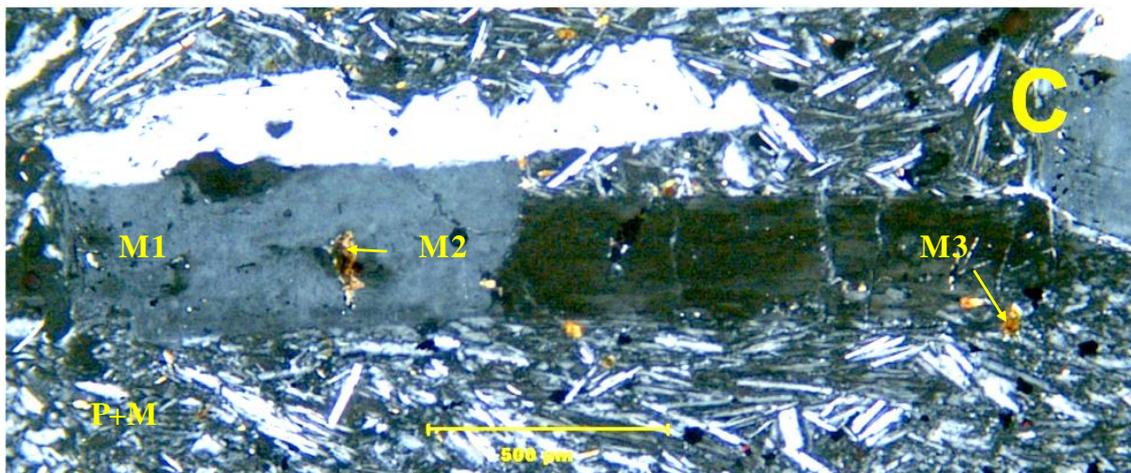
Euh, j'ai fait une bêtise. J'ai mélangé les étapes de la reconstitution de la formation de la caldeira de Furnas établi par Cole et al, 1995. Peux-tu m'aider, s'il te plait ?

1		Début de l'activité magmatique	2		Formation du dôme
3		Couche de cendres	4		Alternance d'activités magmatiques et phréatomagmatiques
		Couche de lapillis grossiers			Activités pyroclastiques
5			Tremblements de terre précurseurs		

**Document 9**



Et maintenant, passons à une observation au microscope !



**Qu'est ce que c'est beau cette lame mince !**

**C** : microphotographie pétrographique caractéristique d'un échantillon de basalte des Furnas.

**M1** : un grand minéral de sanidine (feldspath potassique)

**P+M** : microlithes **M** inclus dans une « pâte » non cristallisée **P**,

**M2** : inclusions de biotite dans la sanidine,

**M3** biotite dans la pâte.

D'après Rowland-Smith, A. (2007).



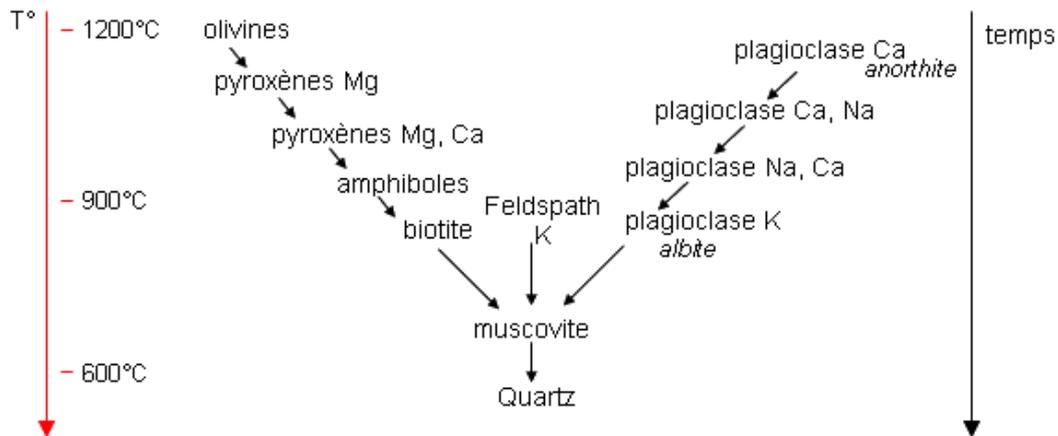
Savais-tu que la cristallisation des minéraux s'effectuait suivant une séquence appelée suite réactionnelle de Bowen ?



Bien sûr, la voici ci-dessous

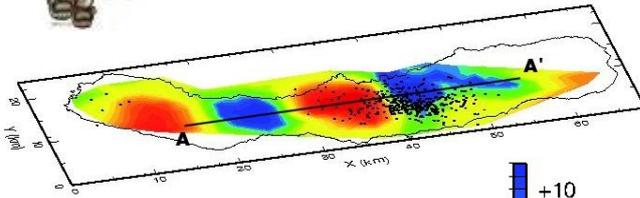
**Document 10 : Suite réactionnelle de Bowen**

Cristallisation fractionnée = cristallisation dans un ordre défini des silicates d'un magma, produisant des assemblages minéralogiques différents.





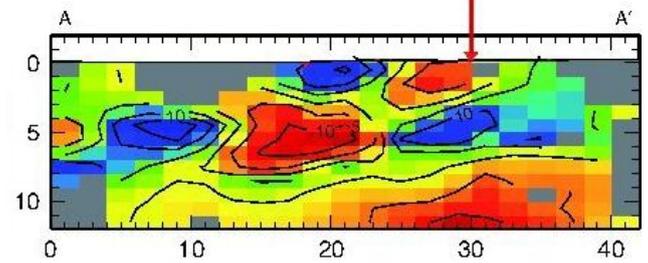
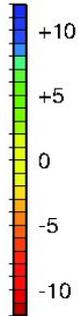
Allez, un dernier effort ! On va utiliser tes connaissances sur les ondes sismiques P et S et les anomalies de vitesse de propagation permettant de définir des zones en relation avec la température de ces couches.



Perturbation de vitesse en %

Anomalie négative = plus chaud

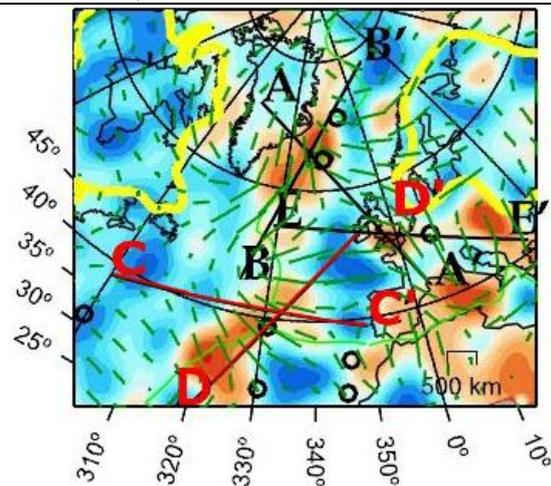
Anomalie positive = plus froid



▼ Profondeur en km

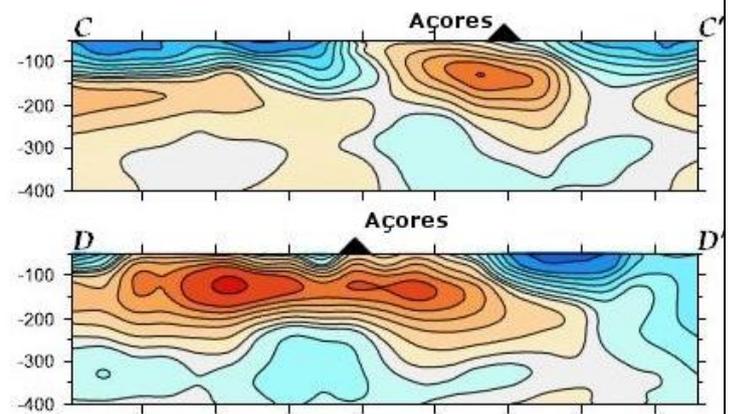
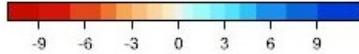
► Distance en km

**Document 11** : Tomographie sismique locale en 3 dimensions de l'île de São Miguel / Açores. D'après Riedel, C., Tryggvason, A., Silveira, D., Escuer, M., Wallenstein N. VP et VS, Geophysical Journal International, 2009.



Anomalie de vitesse des ondes S

% Sv perturbation



▼ Profondeur en km

Distance en km

**Document 12** : Tomographie sismique par anomalie de vitesse des ondes sismiques S. D'après Montelli, Raffaella. Finite-Frequency Tomography Reveals a Variety of Plumes in the Mantle.



Il faut déjà se quitter... A bientôt sur le terrain...

C'est trop dur, on s'amusait si bien !



**Questions : Répondre directement dans les cases appropriées en cochant la ou les réponse(s) exacte(s) et la ou le justifiant éventuellement.**

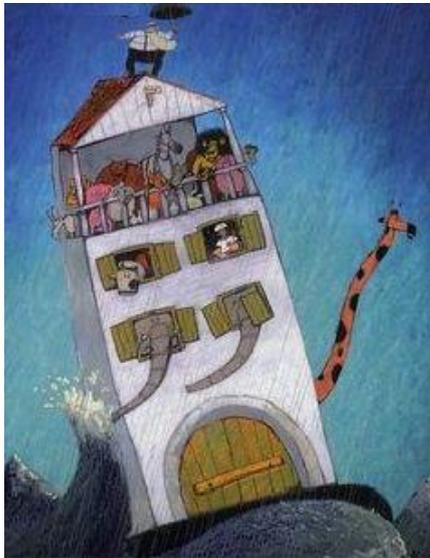
	Propositions	Cocher la case de la ou des réponse(s) exacte(s)	Documents utilisés, arguments, ou calculs
<b>Q1 :</b> Comment peut-on qualifier le type de frontière entre les plaques africaines et eurasiennes ?	Convergente Divergente Coulissante Active Passive	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<b>Documents utilisés</b>
<b>Q2 :</b> En utilisant les données du document 5 quel est l'ordre de grandeur de la vitesse d'expansion de l'océan atlantique ?	Quelques mm.an <sup>-1</sup> . cm.an <sup>-1</sup> dizaines de cm.an <sup>-1</sup>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<b>Justifier</b>
<b>Q3 :</b> La formation des Açores est :	antérieure au Jurassique Jurassique à Miocène Paléocène à l'actuel	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<b>Documents utilisés</b>
<b>Q4 :</b> Quelle(s) hypothèse(s) peut-on formuler sur l'origine des Açores ?	Volcanique Tectonique Sédimentaire	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<b>Documents utilisés</b>

<p><b>Q5 :</b> D'après le doc 8, l'ordre des étapes de l'éruption de 1630 après JC est :</p>	<p>1, 2, 3, 4, 5 5, 4, 3, 2, 1 5, 3, 4, 1, 2 5, 1, 3, 4, 2 5, 1, 4, 3, 2</p>	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>	
<p><b>Q6 :</b> Quels sont, parmi ces différents critères, ceux qui permettent d'identifier les minéraux d'une lame mince en microscopie polarisante ?</p>	<p>La taille La forme La couleur La composition Le clivage Les macles</p>	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>	
<p><b>Q7 :</b> Quel est l'ordre de cristallisation des minéraux M1, M2, M3, des microlithes et de la pâte ?</p>	<p>M1, M2, M3 Microlithes, pâte M3, M2, M1 Microlithes, pâte M2, M1, M3, Microlithes, pâte M3, M2, M1 Microlithes, pâte Microlithes, pâte M2, M1, M3</p>	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>	

<p><b>Q8 :</b> D'après les documents 9 et 10, à quelles températures peuvent se produire les cristallisations de la biotite (B) et de la sanidine (S) ?</p>	<p>1100 à 1200 ° C</p> <p>900 à 1000 ° C</p> <p>850 à 900 ° C</p> <p>600 ° C</p>	<p>B</p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p>	<p>S</p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p>	
<p><b>Q9 :</b> Les températures de cristallisation de la biotite et de la sanidine sont-elles compatibles avec la réponse 7 ?</p>	<p>Oui</p> <p>Non</p>	<p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p>	<b>Justifier:</b>	
<p><b>Q 10 :</b> D'après les données tomographiques les Açores sont issues :</p>	<p>du fonctionnement d'un point chaud</p> <p>du fonctionnement du rift de Terceira</p> <p>du fonctionnement d'une zone de subduction</p> <p>du fonctionnement d'un point chaud associé à un rifting</p>	<p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p>	<b>Documents utilisés</b>	

## EXERCICE 2

### UN PHENOMENE GEOLOGIQUE A L'ORIGINE D'UN MYTHE ?



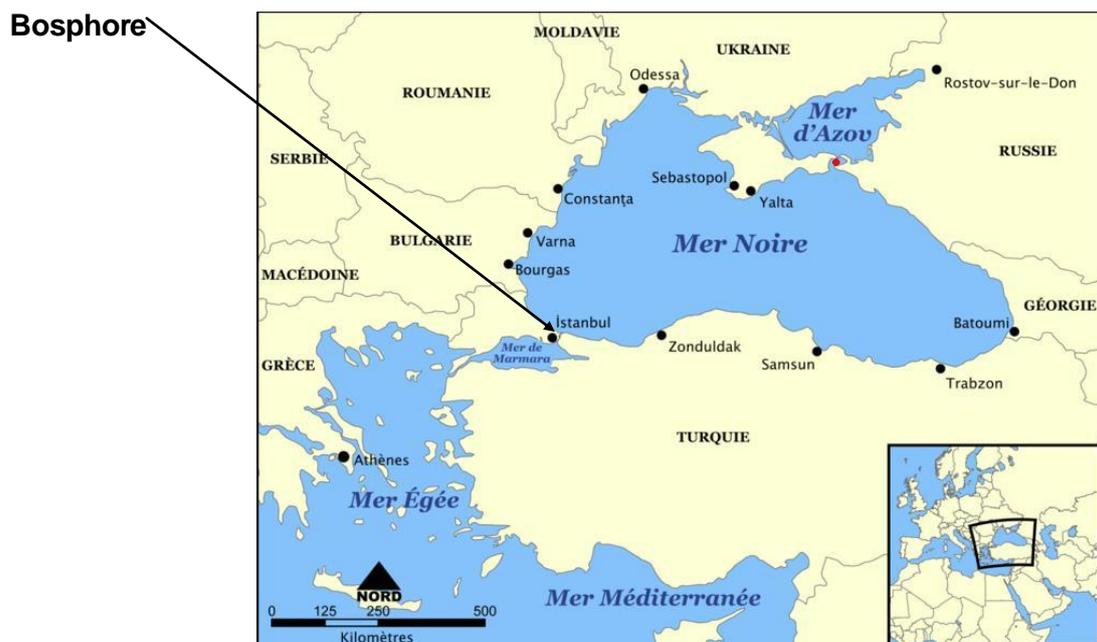
La prophétie des grenouilles.

Le **Déluge** est un des mythes les plus anciens, répandu en particulier dans de nombreuses cultures du Moyen-Orient et d'Europe orientale : mésopotamienne, grecque, hébraïque, coranique, médique, ...

Il relate des pluies catastrophiques provoquant des inondations qui exterminent hommes et animaux, à l'exception de quelques individus de diverses espèces.

Lors de la dernière période glaciaire, le niveau des mers et océans était plus bas que le niveau actuel.

Selon la théorie de W. Ryan et W. Pittman, il y a 9 000 ans la mer Noire, alors isolée de la Méditerranée, était un lac d'eau douce dont le niveau était inférieur à l'actuel de près de 150 mètres. A partir de cette période, la poursuite de la fonte des glaces provoque notamment la remontée du niveau de la mer Méditerranée mais pas celui de la mer Noire isolée par le seuil du Bosphore. Celui-ci atteint, les eaux auraient envahi brutalement le lac "mer Noire". Ce phénomène naturel pourrait être à l'origine du déluge.

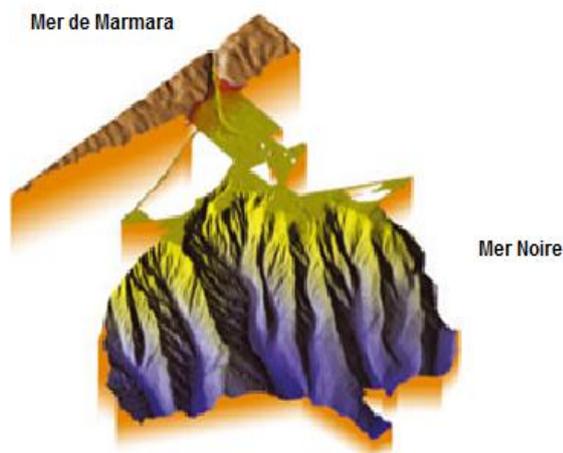
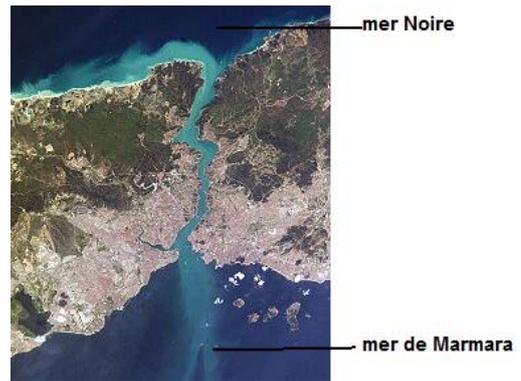


Document de référence : carte situant la mer Noire, la mer Méditerranée, le détroit du Bosphore

### Document 1 : détroit du Bosphore

Il relie la mer Noire et la mer de Marmara. Il est long de 32 km pour une largeur de 698 à 3 000 m et une profondeur de 35 à 85 m.

D'après <http://fr.wikipedia.org/>



### Document 2 : relevé cartographique du débouché du Bosphore en mer Noire

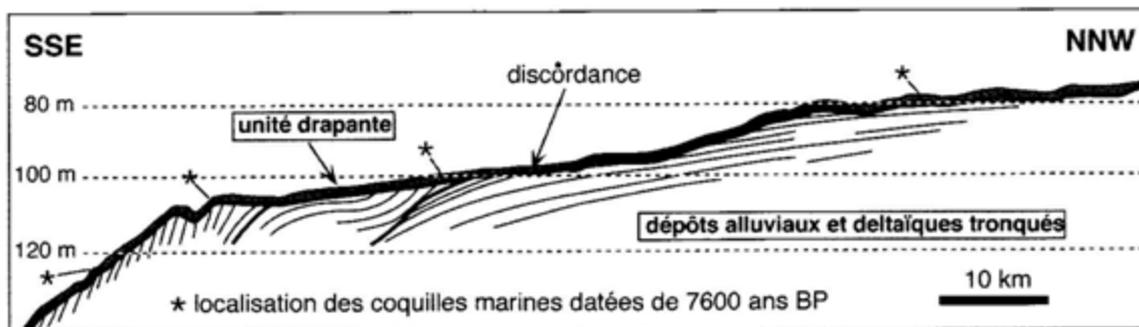
En août 2002, le *Suroît*, un navire océanographique de l'Ifremer, a effectué ce relevé. Sur l'image obtenue par sondages multifaisceaux, des canyons orientés est-ouest entaillent la plate-forme.

D'après leur morphologie, il apparaît que celles-ci sont relativement récentes, sans doute formées il y a moins de 18 000 ans.

Canyon : vallée étroite souvent creusée par des cours d'eau ou par des courants de turbidités (c.-à-d. des courants de sédiments présents en masse).

D'après :

[http://www.ifremer.fr/drogm\\_uk/Perso/lericolais/larecherche04-2003.pdf](http://www.ifremer.fr/drogm_uk/Perso/lericolais/larecherche04-2003.pdf)



### Document 3 : coupe sismique interprétée du plateau continental de la mer Noire

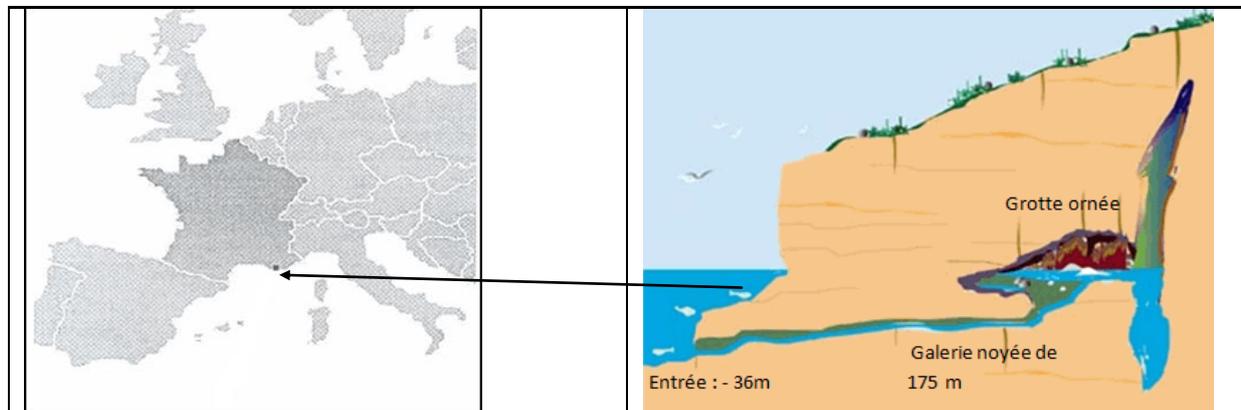
L'ensemble des fonds du plateau continental sont recouverts de sédiments discordants (unité drapante) - d'après Ryan et al, 1997.

**Document 4 : synthèse de l'analyse des 38 carottes prélevées entre 2 200 et 15 mètres de profondeur au-dessous du niveau de la mer.**

Nature	Fossiles		Âges
Sédiments	<i>Mytilaster lineatus</i> <i>Cardium edule</i> <i>Mytilus galloprovincialis</i>	Mollusques d'eau de mer	0 année 7 150 ans (±) 100 ans
Sédiments	<i>Dreissenia rostriformis</i> <i>Viviparus viviparus</i>	Mollusques d'eau douce	10 400 ans (±) 55 ans 14 700 ans (±) 65 ans

D'après Schneider, J.L. *Les traumatismes de la Terre*, Vuibert (2010).

**Document 5 : la grotte Cosquer**



La grotte Cosquer est située dans les Calanques de Marseille, au cap Morgiou. Elle est accessible par un tunnel long de 175 mètres, dont l'entrée est à -36 mètres de profondeur. Cette grotte sous-marine abrite plusieurs dizaines d'œuvres peintes et gravées. Des datations montrent qu'elle a connu plusieurs phases d'occupation humaine. La dernière phase d'occupation (-20 000 ans à -7 000 ans) est riche en peintures et gravures d'animaux.

D'après <http://www.culture.gouv.fr/fr/archeosm/fr/fr-medit-prehist.htm>

**Document 6 : découverte dans une douzaine de sites d'Europe centrale et du Moyen-Orient**

On observe dans les accumulations de débris domestiques datées de -7 500 ans (±) 200 ans, l'apparition soudaine de fragments de poteries aux "céramiques linéaires". Une population disparue usant de ces pratiques semble avoir migré brutalement et s'être répandue depuis le Sud de l'Ukraine.

<http://www.larecherche.fr/>

**Questions :**

**1 – Retrouver, dans les documents fournis, les données qui ont permis à W. Ryan et W. Pittman de proposer leur théorie.**

**2 - Proposer une date à cet événement. Argumenter.**

## Exercice 3 : les mystères du « verre libyque »

Le verre libyque est une roche de collection, qui, du fait de sa rareté, se négocie actuellement aux alentours de 2 000 € le kilogramme. Sa ressemblance avec le verre classique est frappante et son nom lui vient de la contrée où on le trouve actuellement, le désert de Libye. Ce désert aux rigueurs climatiques extrêmes recouvre également une partie de l'Égypte. L'origine du verre libyque demeure à ce jour encore assez énigmatique et la centaine de publications scientifiques écrites sur le sujet n'a pas encore permis d'élucider totalement ce mystère.

**Saurez-vous retrouver, au moins en partie, l'origine du verre libyque ?**

### Carte d'identité du verre libyque

**Document 1 : fragment de verre libyque dans le désert libyque**



Photo A. Cariou

**Document 2 : composition partielle et caractéristiques du verre libyque**

<b>couleur</b>	clair ou transparent, jaune à vert voire blanc laiteux				
<b>densité</b>	2,2				
<b>Age mesuré</b>	28,5 millions d'années (Ma)				
<b>Composition en % d'oxyde</b>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
	98,42	1,02	0,18	0,14	0,13
<b>Teneur en iridium</b>	5 nanogrammes par gramme ng.g <sup>-1</sup>				
<b>Minéraux remarquables</b>	Présence de stishovite		Présence de baddeleyite		

Source : [www.geopolis-fr.com](http://www.geopolis-fr.com) (article de E. Diemer)

Source : [www.geopolis-fr.com](http://www.geopolis-fr.com) (article de E. Diemer)

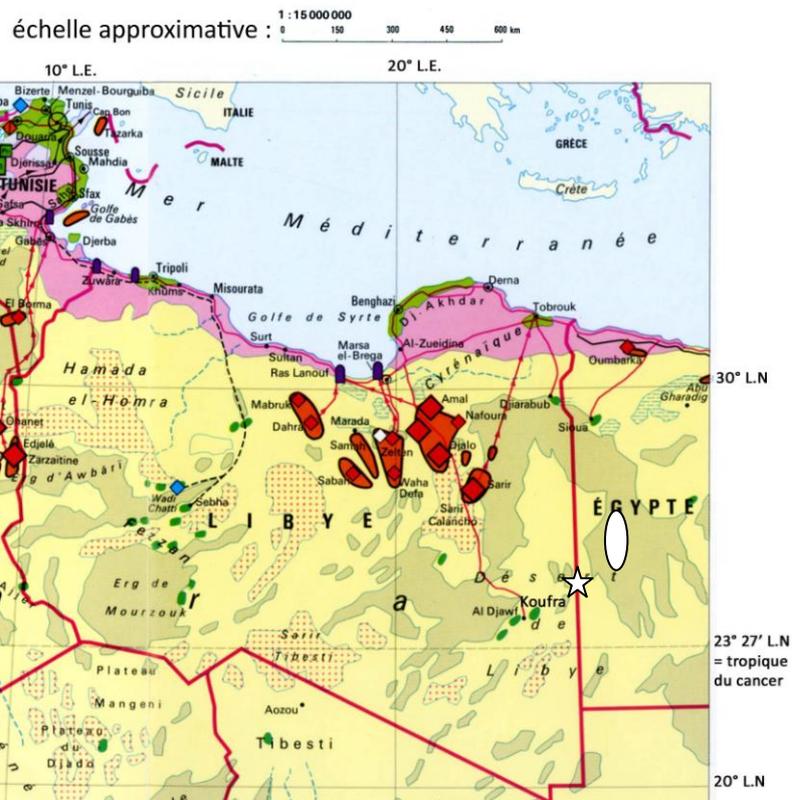
**Document 3 : localisation et environnement des gisements actuels de verre libyque :**

Le gisement se situe à 350 km à l'est - nord - est de l'oasis de Koufra (voir ovale blanc cerclé de noir)

Extrait des légendes utiles :

- Zone désertique**
- Grand ensemble de dunes de sable (erg)
  - Grand plateau pierreux (hamada / reg)
  - Grand bassin de sel (sebkha)
  - Désert de sable et de pierres
  - Oasis (palmier-dattier, élevage de dromadaires)
  - agglomération

Source : Atlas 2000, La France et le Monde, Nathan 1998.



## Partie I : l'hypothèse d'une origine humaine

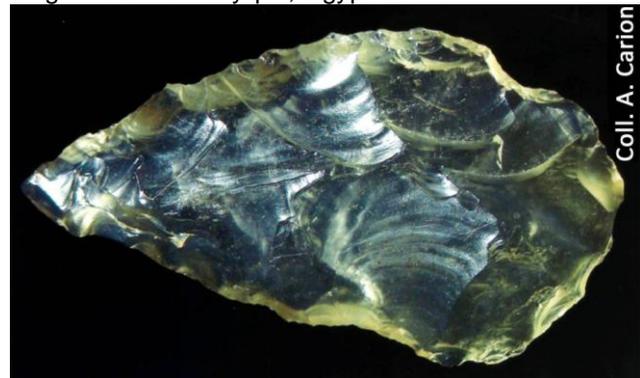
De façon générale, on appelle « verre » un matériau composé principalement d'oxydes de silicium et de quelques autres oxydes dans une moindre proportion. Le verre de silice est obtenu par fusion d'un sable riche en quartz ( $\text{SiO}_2$ ) chauffé à  $2000^\circ\text{C}$ . En y ajoutant des « fondants » comme la fluorine ou le natron on peut le fabriquer à  $1000^\circ\text{C}$ . On sait que les mésopotamiens et les égyptiens fabriquaient du verre en 2700 av. J-C, mais on ne sait pas précisément quand il a été inventé. Vraisemblablement vers 4000 av. J-C selon certains auteurs.

**Document 4a : bouteille en verre irisé d'origine romaine. Liban.**



**Document 4b : outil en verre libyque taillé âgé de 200000 ans.**

Origine : Désert libyque, Egypte.



Source : guide de l'exposition « Fulgurites et verre naturels » à l'université Pierre & Marie Curie (par A. Carion et al., 2007)

## Partie II : l'hypothèse d'une origine volcanique

Les obsidiennes sont des roches magmatiques constituées uniquement de verre. Elles sont d'ailleurs, comme le verre libyque, utilisées notamment pour la confection de bijoux, mais possèdent une valeur moindre. L'absence de cristaux s'explique par la viscosité très forte du magma à partir duquel elles se forment (les atomes ne pouvant pas se déplacer et s'organiser en cristaux). D'origine volcanique, ces roches sont classées dans la catégorie des rhyolites qui sont les roches volcaniques les plus riches en silice ( $\text{SiO}_2$ ).

**Document 5a : rhyolite de type obsidienne (Volcan Lipari, Italie)**



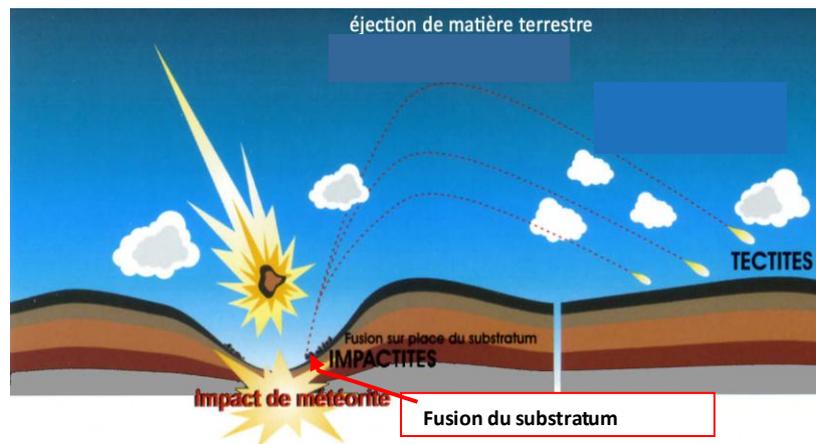
**Document 5b : composition moyenne des rhyolites**

Composition (en % d'oxyde)	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$
	70,41	14,38	2,97	0.13

## Partie III : l'hypothèse de l'impact météoritique

### Document 6 :

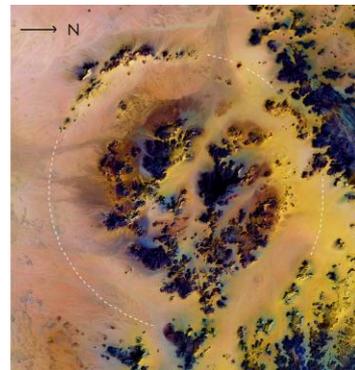
Chaque année des tonnes de météorites s'écrasent sur Terre. Les plus grosses d'entre-elles sont pulvérisées par la violence de l'impact, si bien qu'on n'en retrouve pas de fragments. Leur teneur en iridium est d'environ  $500\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ .



Source : guide de l'exposition « Fulgurites et verres naturels » à l'université Pierre & Marie Curie (par A. Carion et al., 2007)

### Document 7 : image satellite d'un cratère météoritique présent dans le désert de Libye.

En mars 2006 le satellite Landsat a pu prendre cette image présentant une zone de forme circulaire d'environ 31 km de diamètre (cercle en pointillés blancs). Le cratère compte deux anneaux et selon Eman Ghoneim « Les lits de deux anciennes rivières traversaient ses portions ouest et est ».



La localisation du cratère est figurée par une étoile sur le document 3

Source : image Landsat en couleurs recomposées sur <http://en.wikipedia.org>

Dans le désert de Libye, la couche géologique la plus représentée est constituée des grès de Nubie. Ils sont âgés de -500 à -80 millions d'années. Comme le montre la photo du document 8b, les lits de ces grès sont formés à 99,6 % de grains de quartz ( $\text{SiO}_2$ ) et ses teneurs en germanium et en gallium (minéraux rares) sont les mêmes que celles du verre libyque.

### Document 8a : paysage typique du désert libyen

Au 1<sup>er</sup> plan, dune de sable et au fond falaises de grès nubien

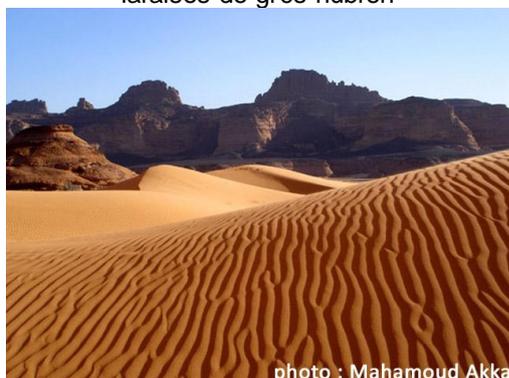


photo : Mahamoud Akka  
Source : <http://www.twjp.org>

### Document 8b : grès de Nubie (la taille des grains est d'environ 0,5 mm)

Microscope optique en Lumière polarisée analysée (observé à Gx5).

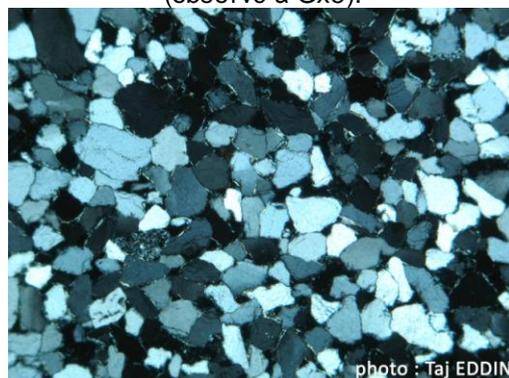


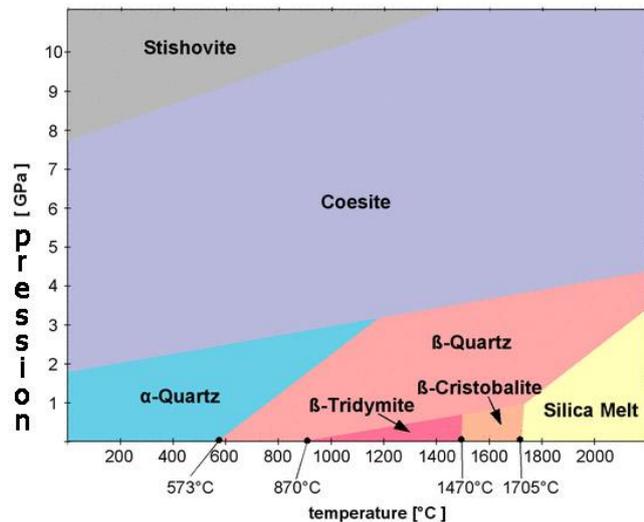
photo : Taj EDDIN  
Source : <http://www.rgeology.com.ly>

## Des données minéralogiques :

La silice est un minéral composé d'atomes de silicium (Si) et d'oxygène (O). Elle peut exister sous différentes formes en fonction de la pression et de la température à laquelle elle se trouve. Ces différentes formes, appelées polymorphes, sont souvent utilisées pour retrouver les conditions de formation d'une roche. Seule la structure tridimensionnelle du cristal change ; la composition chimique, elle, reste la même. Les noms et les domaines de stabilité des différentes formes de la silice sont donnés dans le diagramme ci-dessous.

### Document 9 : diagramme pression-température présentant les domaines de stabilité des différentes formes de la silice (SiO<sub>2</sub>):

Source : <http://www.quartzpage.de>



### Document 10 :

Des minéraux particuliers et très résistants ont été retrouvés dans certains échantillons de verre libyque : des zircons (ZrSiO<sub>4</sub>). Ces minéraux se présentent ici sous une forme très altérée. En effet, une partie des zircons trouvés a subi une décomposition partielle in place. Ils contiennent un nouveau minéral appelé baddeleyite (= dioxyde de Zirconium : ZrO<sub>2</sub>). La formation de baddeleyite nécessite que ces zircons aient été portés à très haute température (supérieure à environ 1700 °C). La présence de ce minéral est excessivement rare à la surface de la Terre.

### Questions :

**Question 1 :** En 1929, un géologue classa le verre libyque comme un fragment de poterie en verre. Discuter cette hypothèse en vous appuyant sur les données fournies par les documents 4a et 4b.

**Question 2 :** En comparant les caractéristiques du verre libyque (doc.1 et 2) aux données des documents 5a et 5b discuter l'hypothèse d'une origine volcanique.

**Question 3 :** En comparant les caractéristiques du verre libyque (doc.1 et 2) aux données fournies par les documents 6, 7, 8a et 8b, argumenter la possibilité d'une origine météoritique.

**Question 4 :** Exploiter les données minéralogiques de documents 9 et 10 pour réfuter ou confirmer l'hypothèse d'une origine météoritique évoquée dans la question 3.

**Question 5 :** Discuter, en vous appuyant sur le document 3, la compatibilité de la localisation du cratère observé dans le document 7 par rapport au gisement de verre libyque.

## Exercice 4

# L'effondrement d'une falaise sur la côte picarde

La ville d'AULT en Picardie (Somme), est en partie construite sur la falaise vive (falaise en contact avec la mer), dans le prolongement des falaises de Haute Normandie. Au nord de la commune, en direction de la Baie de Somme, la falaise se poursuit dans les terres (falaise morte) avec, à son pied la plaine alluviale picarde.

L'histoire et la géographie d'AULT sont liées à l'action de la mer sur la côte. AULT était un port de pêche du 12<sup>e</sup> au 18<sup>e</sup> siècle avant la destruction du site par les assauts de la mer. A la fin du 19<sup>e</sup> siècle, la mode des bains de mer offre un regain d'activité à la ville mais les tempêtes de 1926 modifient encore une fois le site.

**Les habitants luttent sans cesse contre la mer. On se propose d'en comprendre les raisons.**

### Document 1 : risques naturels à Ault

«La mer ronge perpétuellement le bourg d'AULT. Il y a cent-cinquante ans, c'était un bien plus grand village qui avait sa partie basse abritée par une falaise au bord de la mer. Mais un jour la colonne de flots qui descend de la Manche s'est appuyée si violemment sur cette falaise qu'elle l'a fait ployer. La falaise s'est rompue et le village a été englouti. Il n'était resté debout dans l'inondation qu'une ancienne halle et une vieille église dont on voyait encore le clocher battu des marées quelques années avant la Révolution... »

**Victor Hugo** *récits de voyage* - 8 septembre 1837



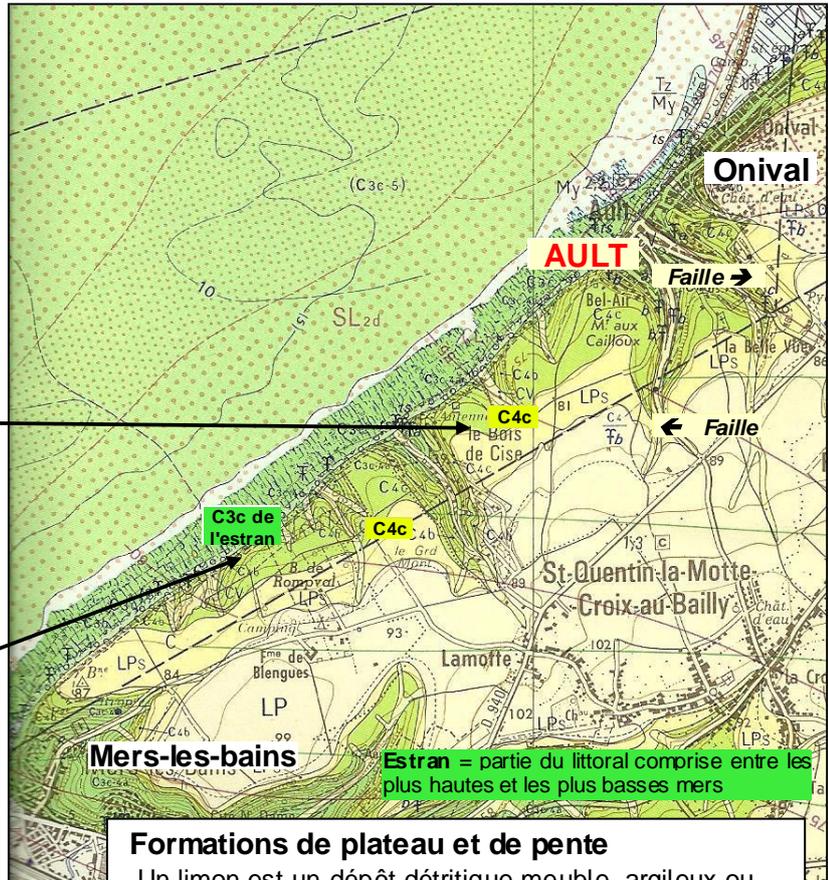
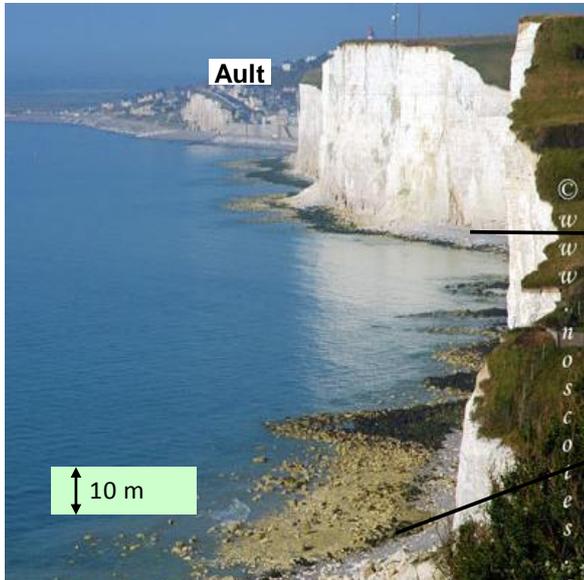
Ault se prépare pour mieux affronter les grandes marées. Les bateaux de la compagnie finlandaise Sillanpää, en une semaine, ont déposé les 6.500 tonnes de roches nécessaires aux travaux de consolidation de l'esplanade d'Ault et de la promenade d'Onival.

Cette action a été engagée suite aux dégâts causés sur le site au mois de mars dernier, lors d'une tempête. L'escalier d'accès à la mer avait été emporté par les eaux. Les lames avaient fendu la promenade sur plus de dix mètres.

D'après « **Le Courrier picard** » *Vendredi 16 Juillet 2010*

Document 2 : extrait de la carte géologique au 1/50 000 BRGM -N° 31-32 St Valéry/Somme

Photographie des falaises picardes au sud-ouest d'Ault



Lits de silex noirs dans la falaise aultoise

Turonien: -91 à -88 millions d'années (Ma) ;  
 Coniacien : -88 à -87 Ma ; Santonien : -87 à -83 Ma

**Formations de plateau et de pente**

Un limon est un dépôt détritique meuble, argileux ou sableux, à grain très fin

<b>LP</b>	Limons des plateaux
<b>LPs</b>	Limons argileux rouges à silex

**Quelques étages du Crétacé supérieur (Ere secondaire) et nature des roches**

<b>C5</b>	Santonien inférieur	} Craie blanche à silex noirs noduleux ou plats
<b>C4c</b>	Coniacien supérieur	
<b>C4b</b>	Coniacien moyen	
<b>C3c-4a</b>	Turonien terminal Coniacien inférieur	} Craie blanche à silex à patine rose
<b>C3c</b>	Turonien supérieur	} Craie argileuse
<b>C3b</b>	Turonien moyen	
<b>C3a</b>	Turonien inférieur	

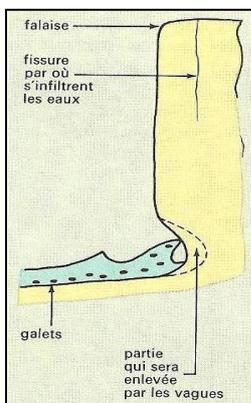
### Document 3 : extrait du site officiel de la mairie d'Ault

<http://www.annuaire-mairie.fr/mairie-ault.html>

<b>Risque sismique sur la commune</b>	Sismicité négligeable mais non nulle
<b>Catastrophes naturelles, passés, sur la commune</b>	Du <b>25 décembre</b> au <b>29 décembre 1999</b> :
	Inondation, coulées de boue et mouvements de terrain
	Le <b>11 juin 1997</b> :
	Inondation et coulées de boue
	Du <b>26 février</b> au <b>1<sup>er</sup> mars 1990</b> :
Inondation et chocs mécaniques liés à l'action des vagues	
Du <b>25 août</b> au <b>26 août 1987</b> :	
Inondation et coulées de boue	
Du <b>22 novembre</b> au <b>24 novembre 1984</b> :	
Inondation, coulées de boue et glissements de terrain	

### Document 4 : causes de l'érosion des falaises crayeuses d'après : <http://www.u-picardie.fr/>

#### 4a : propriétés de la craie



#### Un aspect de la falaise d'Ault ⇨

Des mesures de température ont montré qu'il gèle plus fort au pied des falaises qu'au sommet.

En période de gel, l'eau se transforme en glace et augmente de volume.



← D'après Bordas /  
Collections Désiré et Tavernier  
1972/1978



La craie se dissout suivant la réaction suivante :



#### 4b : recul de la falaise

Les silex de la falaise, roulés par les vagues, sont usés et forment des galets arrondis. Le courant marin les entraîne vers le Nord-Est. Ces falaises renferment de 5 à 10 % de silex.

La vitesse du recul des falaises a été diversement quantifiée : les valeurs proposées varient de 0,26 à 0,70 m.an<sup>-1</sup> de 1835 à 1935 et de 0,25 à 0,30 m.an<sup>-1</sup> pour les années récentes.

Entre Mers et Ault, la falaise de craie s'allonge sur 6 km pour une hauteur moyenne de 50 m. En prenant une vitesse moyenne de recul de 0,30 m.an<sup>-1</sup>, c'est un volume total annuel de **90.000 m<sup>3</sup> de falaise**, correspondant à 200 000 tonnes, qui est érodé, soit environ **4.500 m<sup>3</sup> de silex** (environ 7.300 tonnes). En 1994, on a proposé une estimation moindre de 2.800 m<sup>3</sup> de silex.

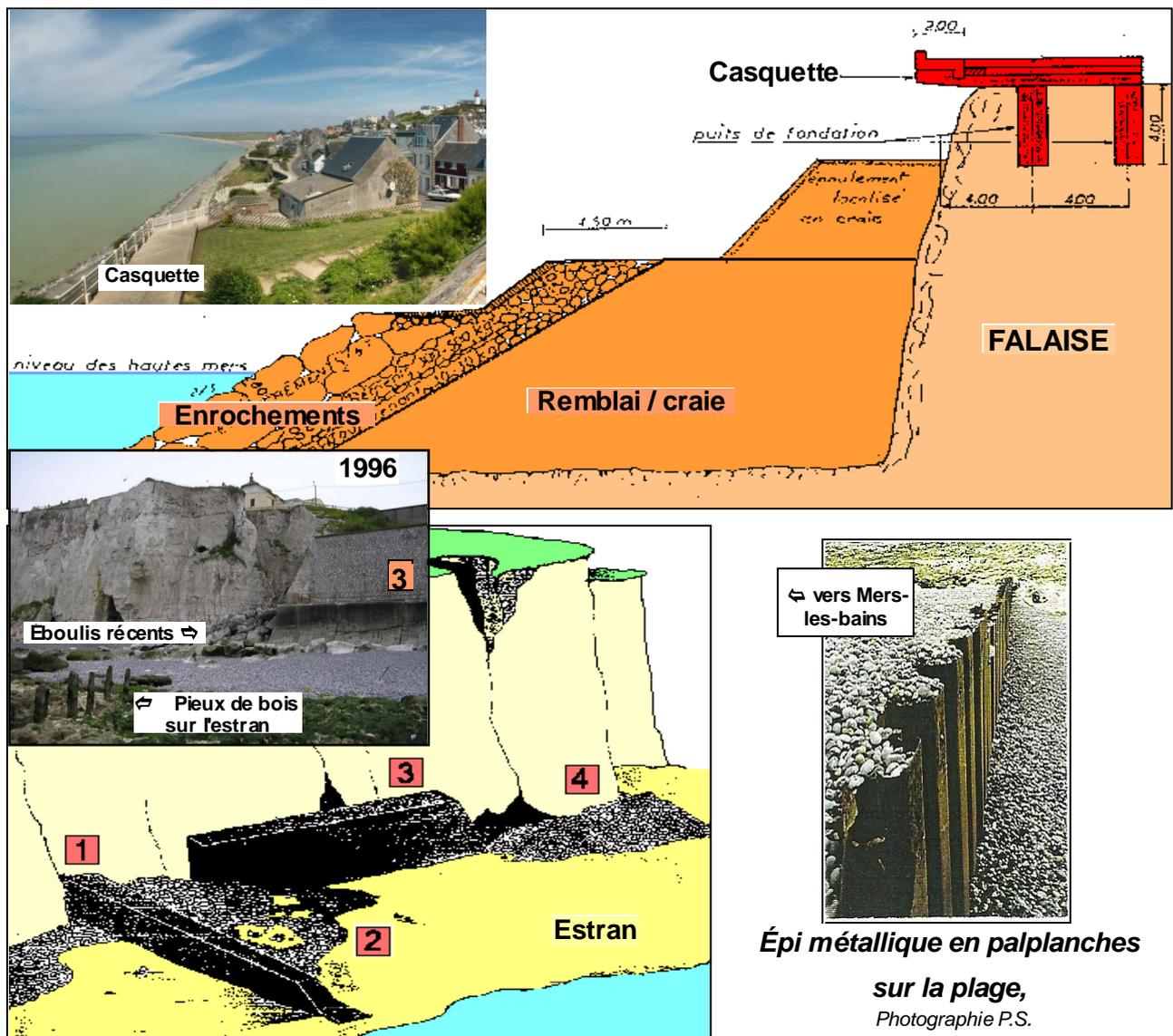
## Document 5 : travaux de protection de la falaise d'AULT

d'après <http://www.u-picardie.fr/~beaucham/bds/inter-2.htm>

+ <http://www.u-picardie.fr/~beaucham/littoral/GRENOBLE-4.html>

L'accumulation des galets au pied des falaises joue un rôle protecteur. La lutte contre le recul a consisté d'abord à protéger la base des falaises de l'action de la mer. Les **perrés** et les digues parallèles au rivage, construits dans ce but, ont eu une durée de vie limitée et un résultat nul. On a songé ensuite à retenir les galets en ralentissant leur transit vers le nord, à cause du courant marin. Pour cela, plusieurs séries d'**épîs** perpendiculaires au rivage ont été édifiés à partir du siècle dernier, en pieux de bois, puis en palplanches (= *plaques métalliques dont la section particulière permet un emboîtement les unes dans les autres*) et en béton. L'efficacité de ces ouvrages s'est avérée assez faible et la vitesse de destruction de la falaise n'a pas été notablement diminuée, bien au contraire, puisqu'entre 1974 et 1978 un recul de  $1 \text{ m.an}^{-1}$  a été mesuré ( *Dolique, 1991 ; Regrain, 1992* ).

De grands travaux furent entrepris en 1983. Un remblaiement, recouvert par des enrochements, a été construit en avant de la falaise. Sa bordure supérieure a été protégée par une dalle de béton ("**casquette**"). Plus de 5.480.000 € ont été investis pour protéger moins de 1 km de falaise ! Le recul de la falaise a été stoppé sur cette portion.



**Travaux de protection d'une falaise de craie** (d'après documents D.D.E.):

- 1: épi 2: stock de galets retenus par l'épi 3: perré  
4: galets mobiles, pouvant être déplacés par le courant marin

## QUESTIONS

- 1) D'après les documents 1 et 3, répertorier les risques naturels affectant la ville.
- 2) Document 2 : indiquer la nature, l'étage et l'âge des roches qui forment la falaise d'Ault
- 3) Expliquer, d'après le document 4a, comment l'action conjuguée de la mer et de l'eau d'infiltration est à l'origine de l'érosion de la falaise d'AULT.
- 4) Indiquer comment les volumes écrits en caractères gras dans le document 4b ont été calculés. En déduire le volume de craie érodé chaque année.
- 5) Quels sont les moyens mis en œuvre pour protéger la ville d'AULT (document 5) ? Indiquer le rôle et l'efficacité de chacun de ces moyens.