

SESSION 2011

**Académies Besançon,  
Dijon, Nancy-Metz,  
Nantes, Reims,  
Strasbourg.**

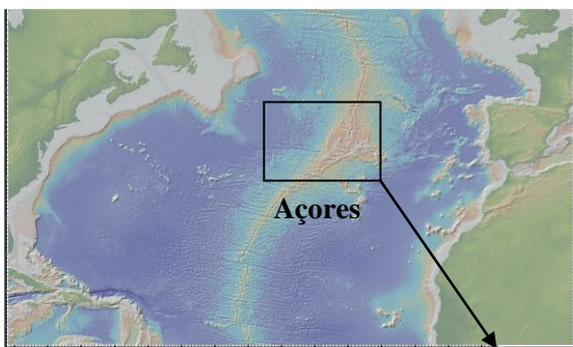
Durée de l'épreuve : 4h.

*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, 11, 19 et 20 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.

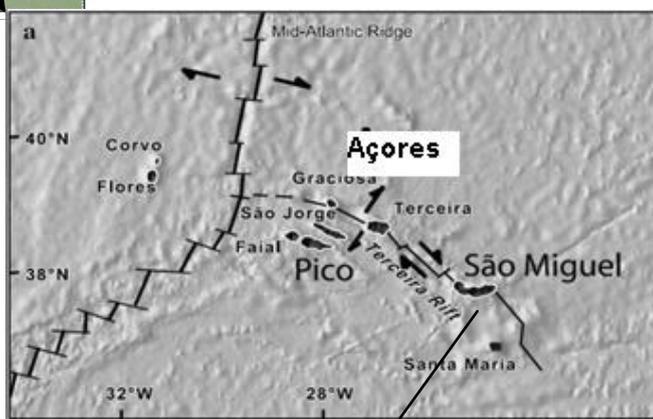


▲ Document 1 a : Archipel des Açores « GéoMapApp »



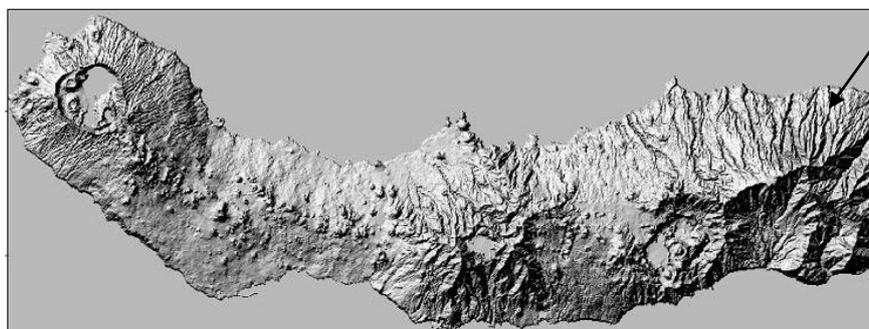
Où sont les Açores Bidulz ?

Document 1 b ▼ : 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 !

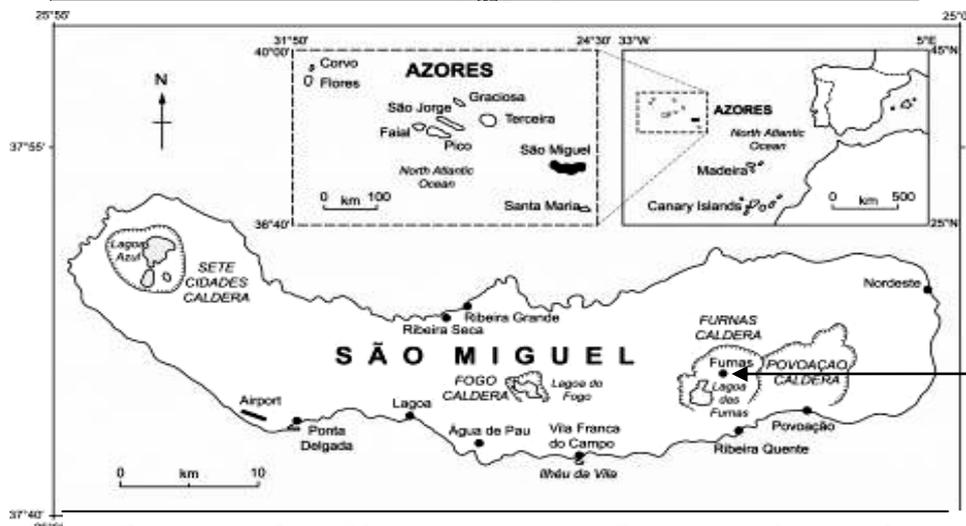
↔ Mouvements relatifs de plaques



◀ Doc 2a



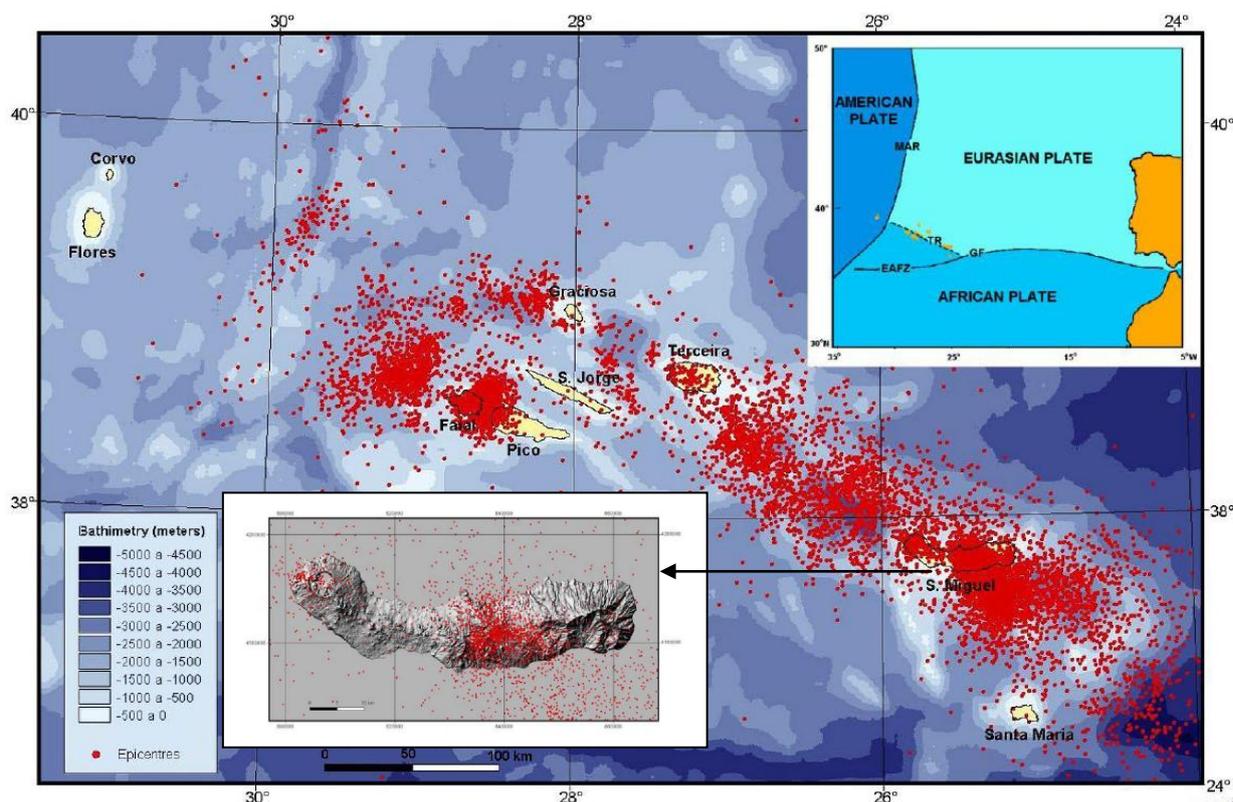
Un conseil, les questions auxquelles tu répondras sont en fin d'énoncé. Lis-les avec attention !



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 épïcêtres 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



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

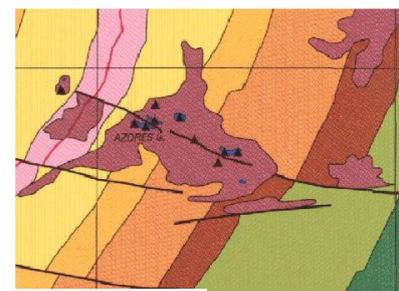
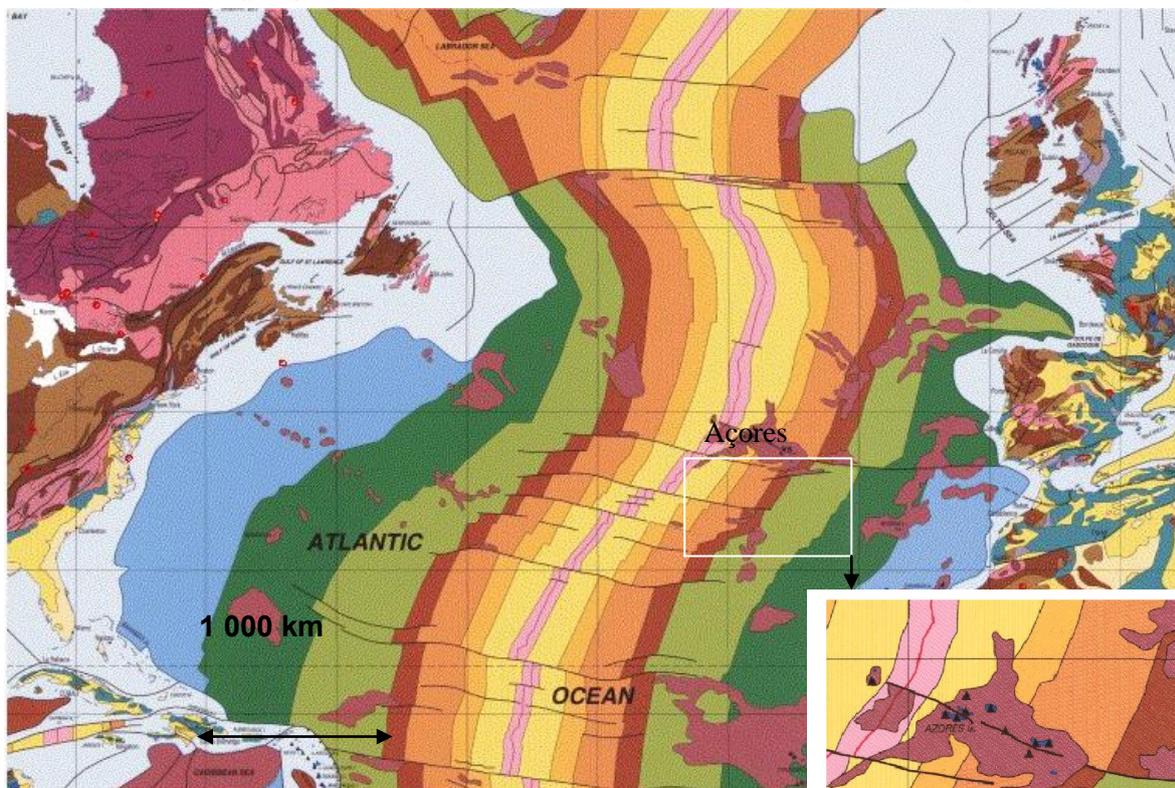
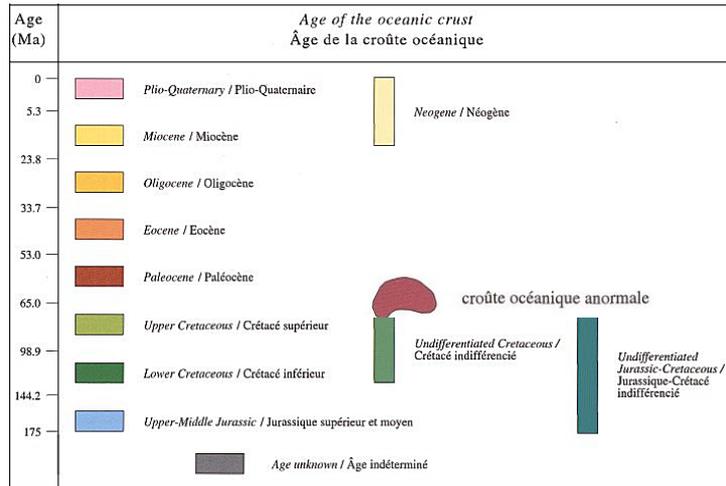
**Document 4 :** Eruptions historiques de l'archipel des Açores depuis 1630.



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.

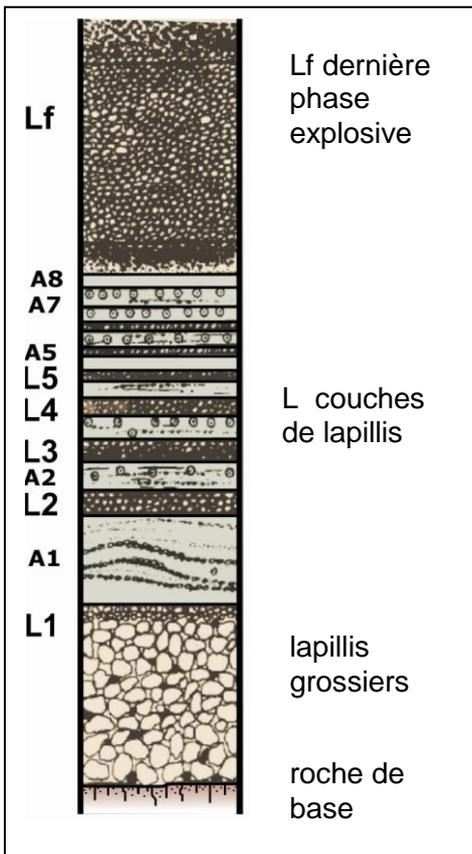


**Document 6** : la Caldeira de Furnas et schéma d'interprétation – D'après Rowland-Smith, A. (2007)

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  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Les trachytes, laves visqueuses, forment souvent des dômes. Les roches trachytiques sont généralement de couleur blanchâtre.



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



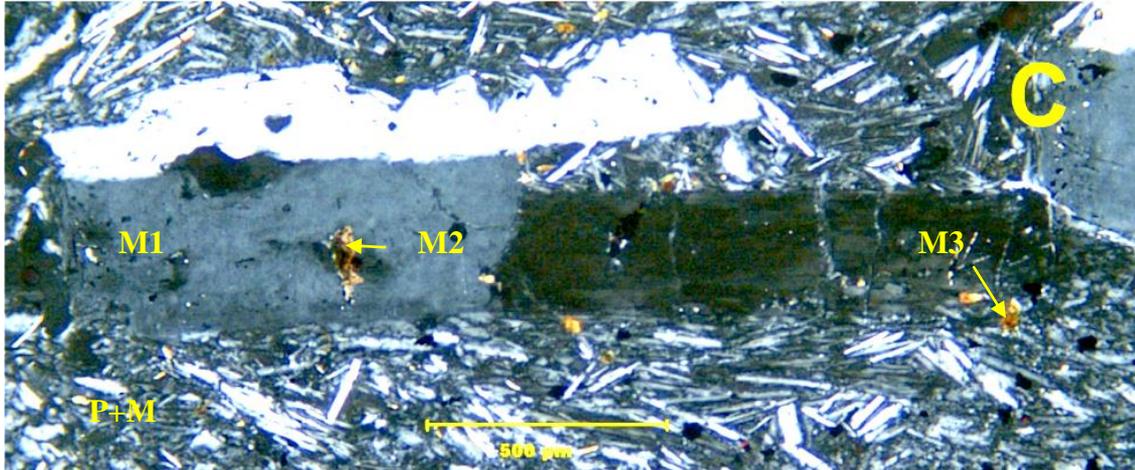
Euh, j'ai fait une bêtise. J'ai mélangé les étapes de la reconstitution de la formation de la caldeira de Furnas établi par Cole et al, 1995. Peux-tu m'aider, s'il te plait ?

1		Début de l'activité magmatique	2		Formation du dôme
3		Couche de cendres	4		Couche de lapillis grossiers
					Alternance d'activités magmatiques et phréatomagmatiques
				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.



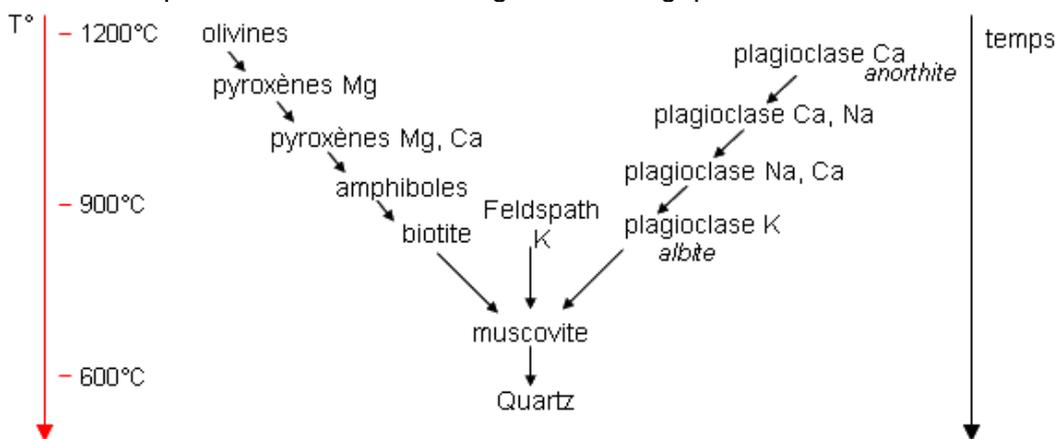
Savais-tu que la cristallisation des minéraux s'effectuait suivant une séquence appelée suite réactionnelle de



Bien sûr, la voici ci-dessous

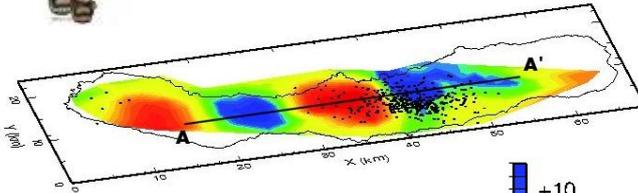
**Document 10 : Suite réactionnelle de Bowen**

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





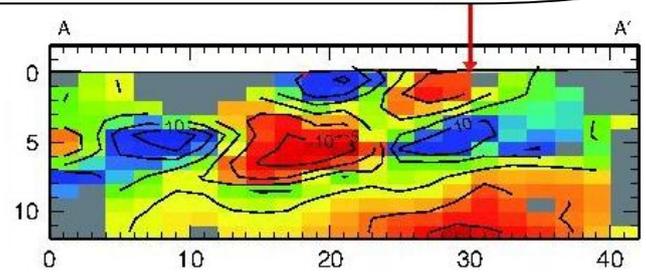
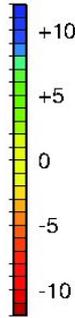
Allez, un dernier effort ! On va utiliser tes connaissances sur les ondes sismiques P et S et les anomalies de vitesse de propagation permettant de définir des zones en relation avec la température de ces couches.



Perturbation de vitesse en %

Anomalie négative = plus chaud

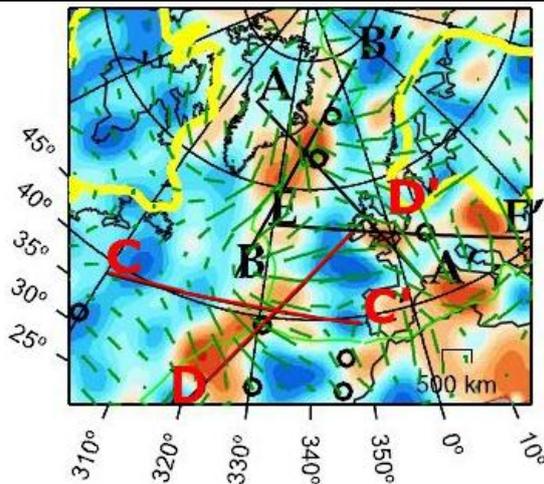
Anomalie positive = plus froid



▼ Profondeur en km

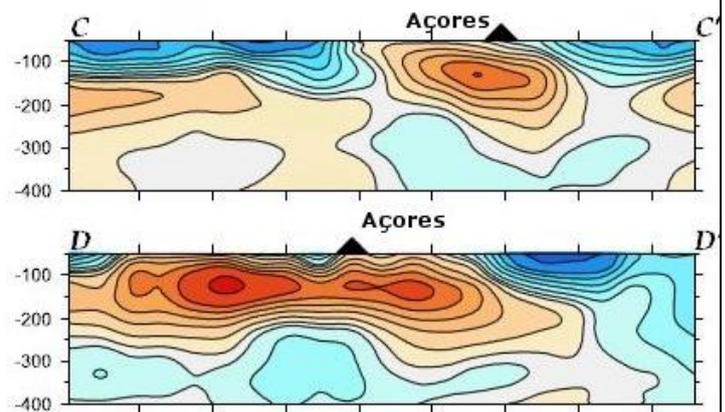
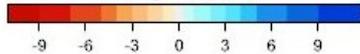
► Distance en km

**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'amuserait si bien !



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

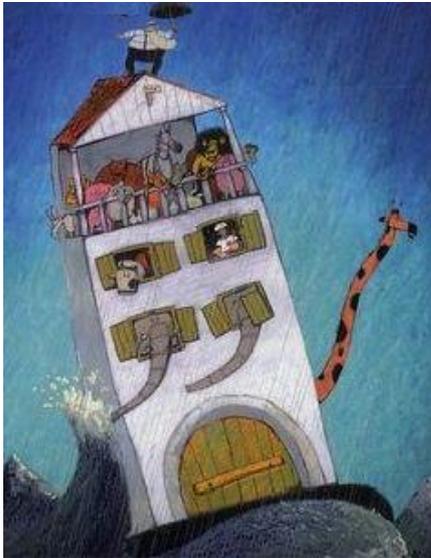
	Propositions	Cocher la(les) réponse(s) exacte(s)	Documents utilisés, arguments, ou calculs
<b>Q1</b> : Comment peut-on qualifier le type de frontière entre les plaques africaines et eurasiennes ?	Convergente Divergente Couissante Active Passive	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input 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>B</b></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p>	<p><b>S</b></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 ?



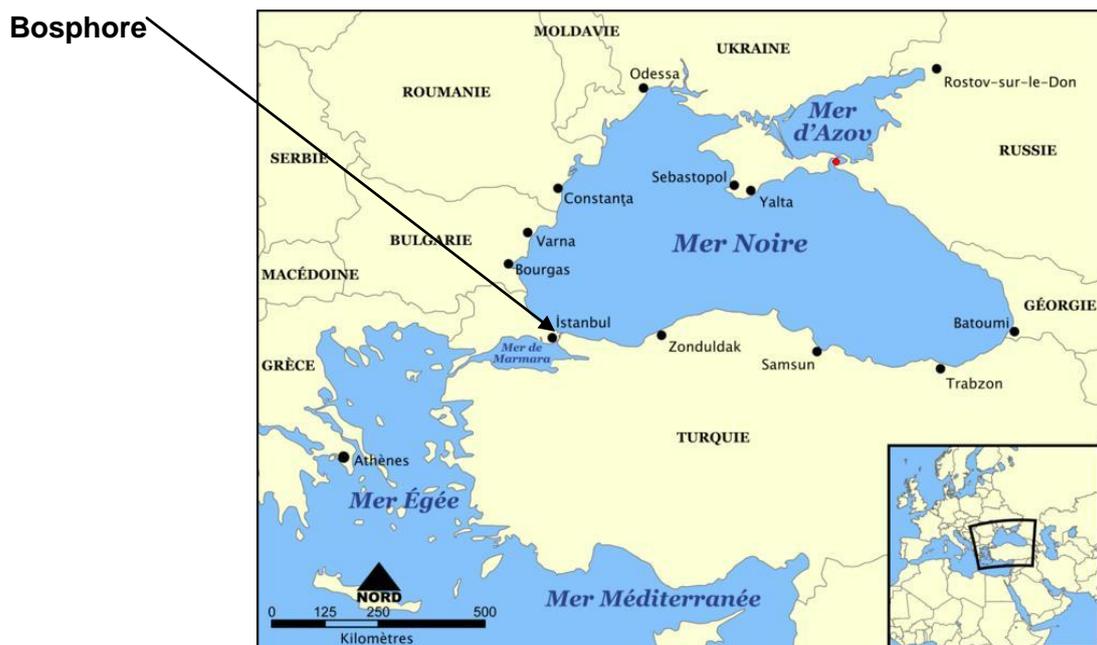
La prophétie des grenouilles.

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.

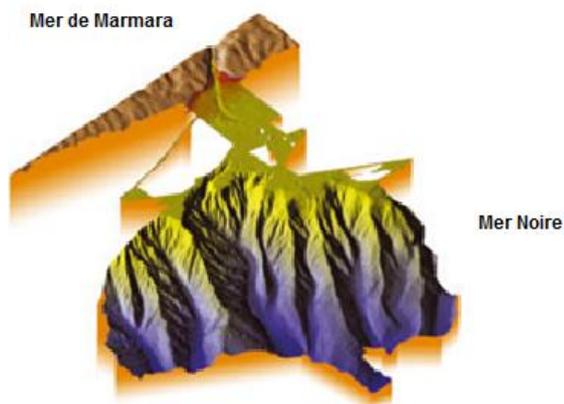
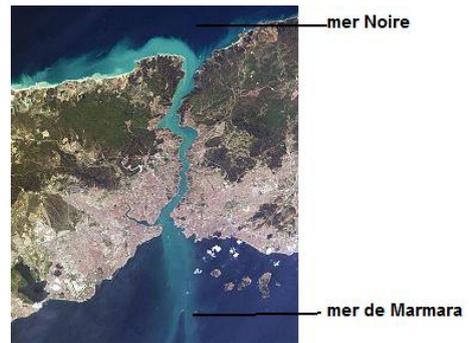


Document de référence : carte situant la mer Noire, la mer Méditerranée, le détroit du Bosphore

### 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

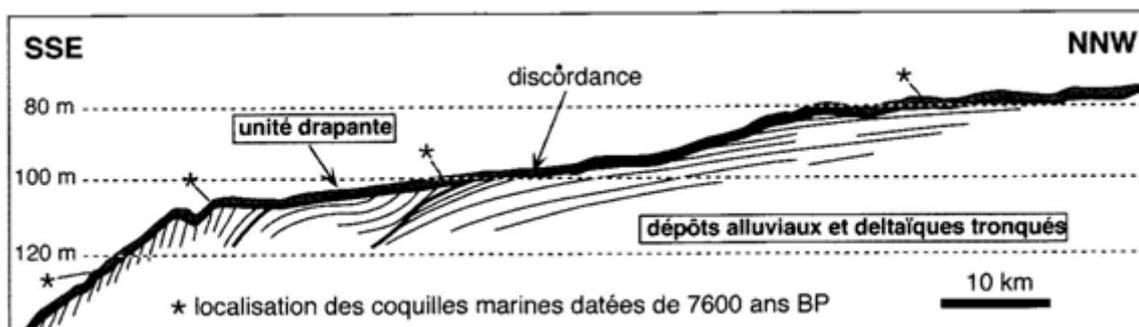
En août 2002, le *Suroît*, un navire océanographique de l'Ifremer, a effectué ce relevé. Sur l'image obtenue par sondages multifaisceaux, des canyons orientés est-ouest entaillent la plate-forme.

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

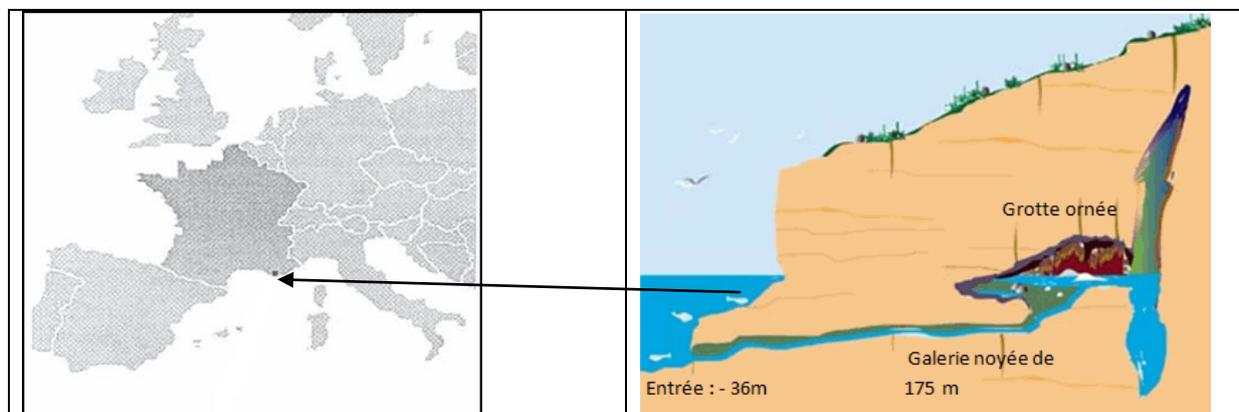
L'ensemble des fonds du plateau continental sont recouverts de sédiments discordants (unité drapante) - d'après Ryan et al, 1997.

**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

couleur	clair ou transparent, jaune à vert voire blanc laiteux				
densité	2,2				
Age mesuré	28,5 millions d'années (Ma)				
Composition en % d'oxyde	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
Teneur en iridium	5 nanogrammes par gramme (ng.g <sup>-1</sup> )				
Minéraux remarquables	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)

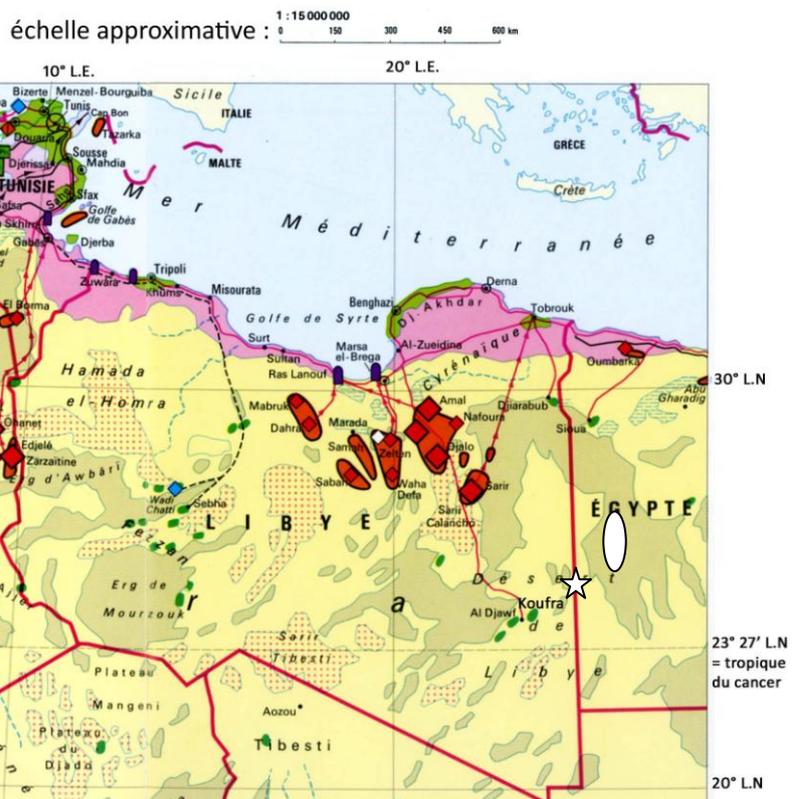
Document 3 : localisation et environnement des gisements actuels de verre libyque :

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

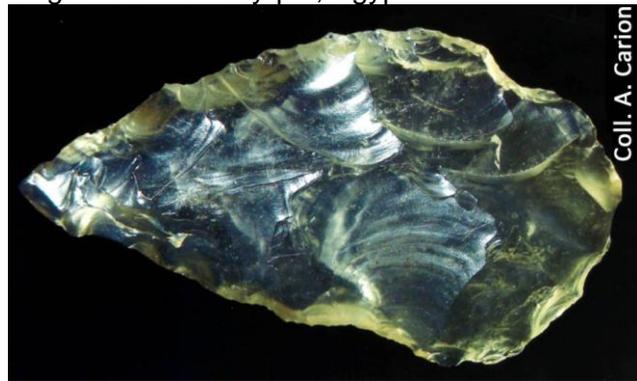
De façon générale, on appelle « verre » un matériau composé principalement d'oxydes de silicium et de quelques autres oxydes dans une moindre proportion. Le verre de silice est obtenu par fusion d'un sable riche en quartz ( $\text{SiO}_2$ ) chauffé à  $2000^\circ\text{C}$ . En y ajoutant des « fondants » 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)



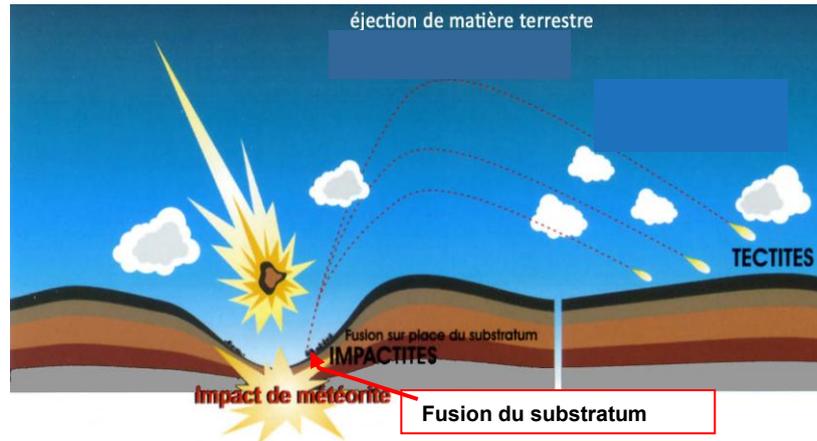
**Document 5b : composition moyenne des rhyolites**

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  $500\text{ng.g}^{-1}$ .



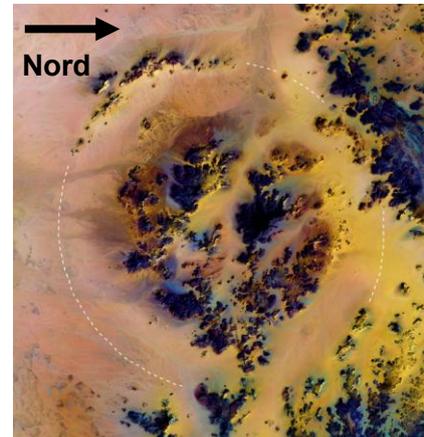
Source : Guide de l'exposition « Fulgurites et verres naturels » à l'université Pierre & Marie Curie (par A. Carion et al., 2007)

### 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.twip.org>

**Document 8b : grès de Nubie** (la taille des grains est d'environ 0,5 mm) en MO lumière polarisée analysée (observation à Gx5)

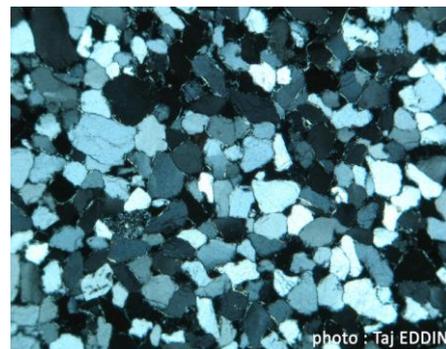


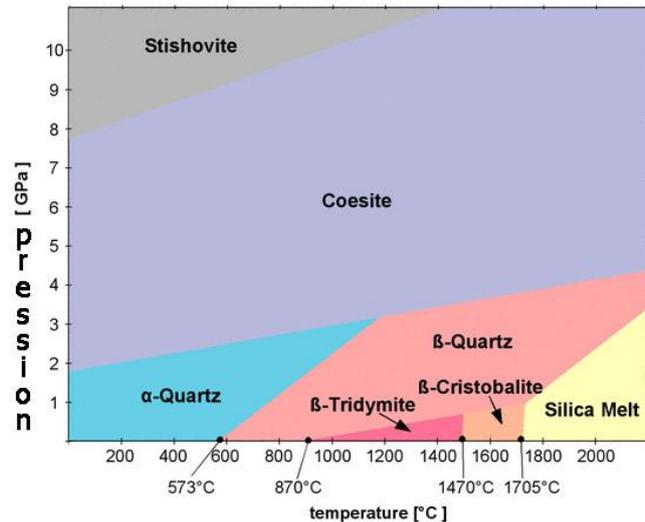
photo : Taj EDDIN  
Source : <http://www.rgeology.com.ly>

### 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 lybique : 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 en 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 lybique 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 lybique (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 lybique (doc. 1 et 2) aux données fournies par les documents 6, 7, 8a et 8b, argumenter la possibilité d'une origine météoritique.

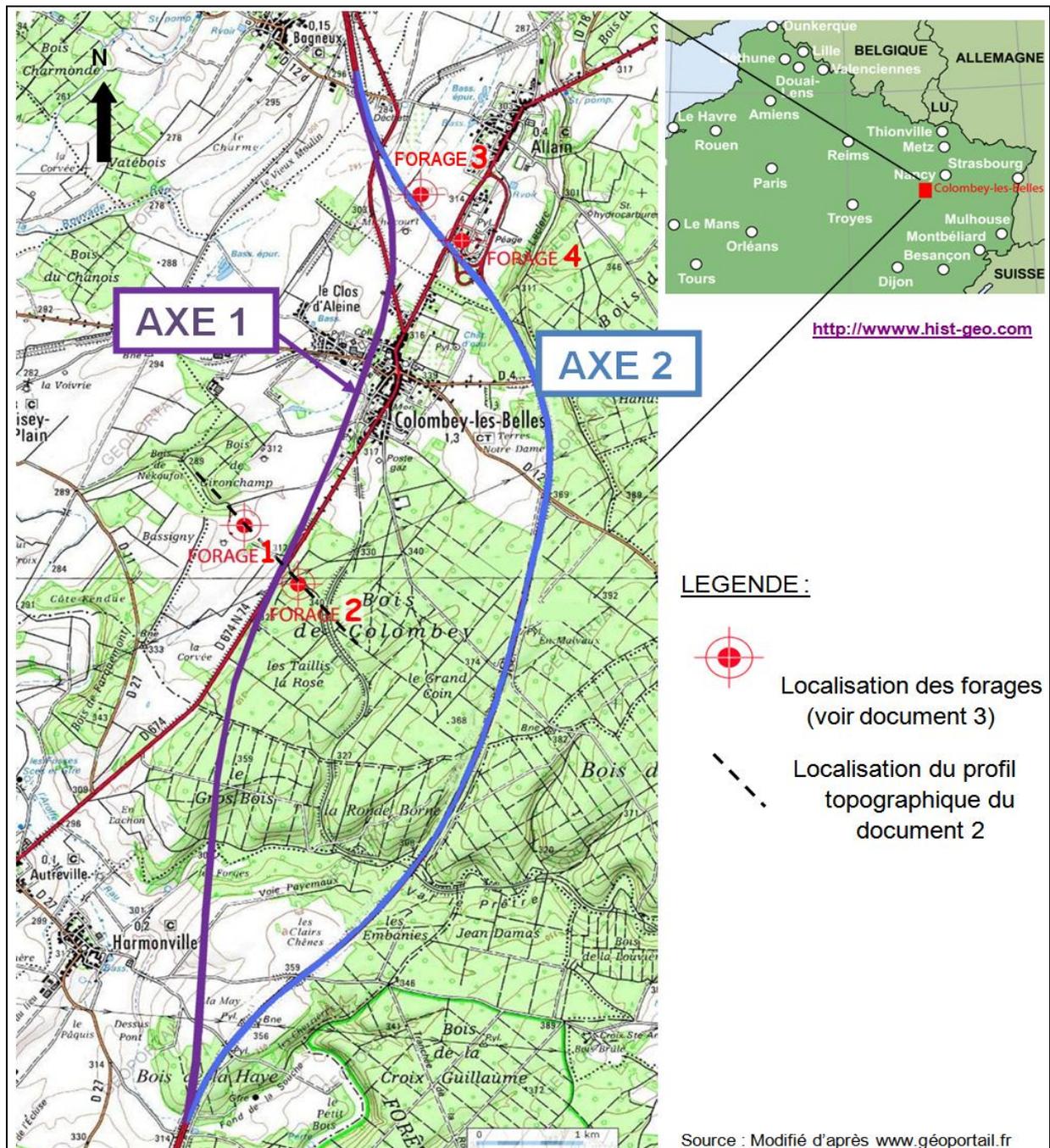
**Question 4 :** Exploiter les données minéralogiques de documents 9 et 10 pour réfuter ou confirmer l'hypothèse d'une origine météoritique évoquée dans la question 3.

**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 lybique.

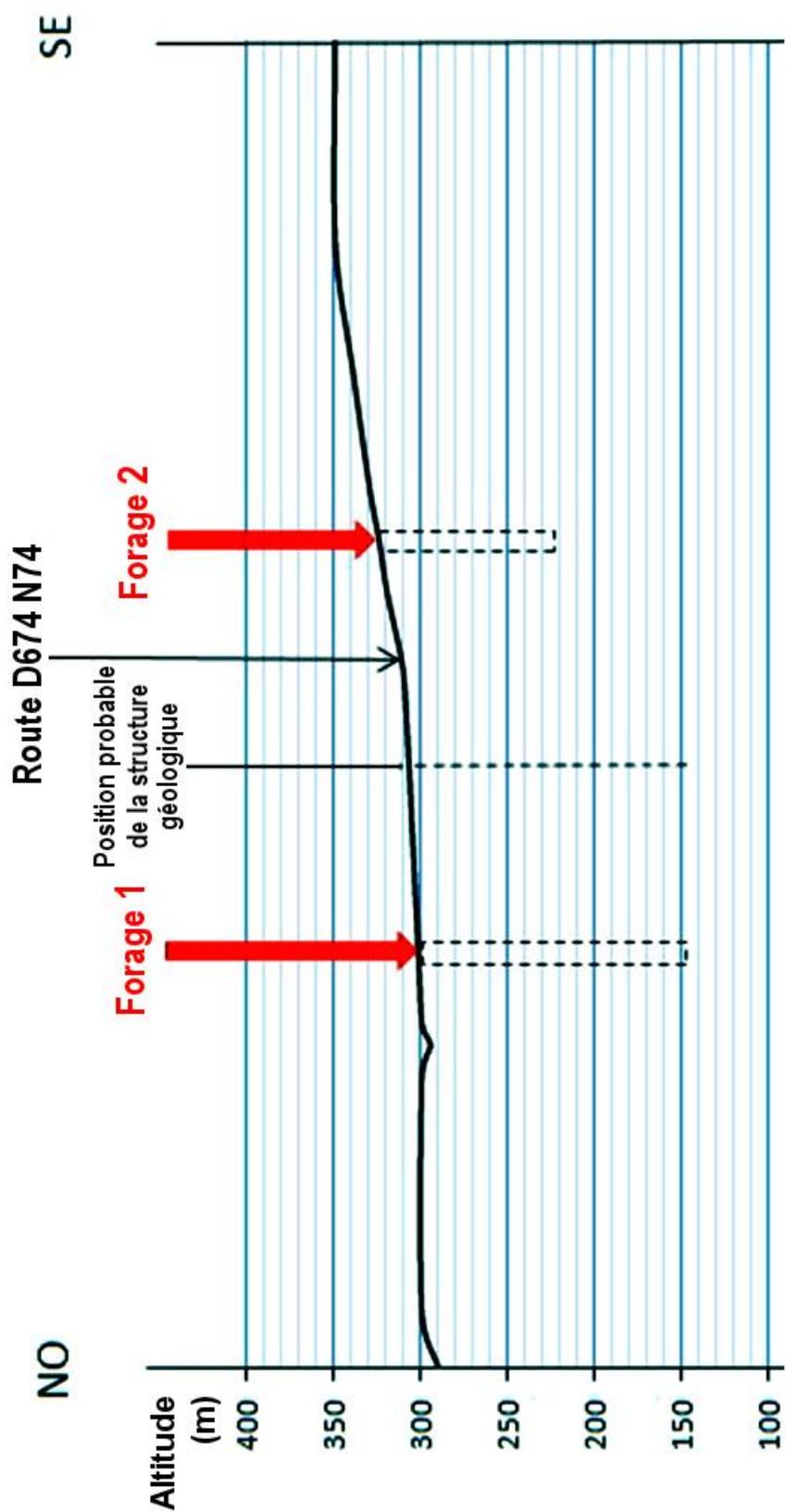
## EXERCICE 4 - Optimiser le tracé d'une autoroute pour limiter les risques de pollution

Les documents 1 et 2 sont à rendre avec la copie.

Un groupe d'élèves est allé faire un stage au sein d'une équipe d'ingénieurs géologues travaillant pour une société de travaux publics. Le problème qui se pose à eux est de trouver le tracé le plus approprié afin de limiter les risques de pollutions environnementales dans la région de Colombey-les-Belles.



DOCUMENT 1 : carte topographique des environs de Colombey-les-Belles au 1/25 000<sup>ème</sup> présentant deux tracés possibles d'autoroute (axe 1 et 2) et localisation de la zone étudiée en France



DOCUMENT 2 : profil topographique NO-SE passant par les forages 1 et 2 (localisés sur le document 1)

	Age et <i>nature</i> des terrain	Profondeur du toit des couches			
		FORAGE N°1	FORAGE N°2	FORAGE N°3	FORAGE N°4
Terrain les plus récents  Terrains les plus anciens	Bathonien supérieur et moyen <i>calcaires</i>			Niveau du sol $Z_0 = 300\text{m}$	
	Bathonien inférieur <i>marnes</i>	Niveau du sol $Z_0 = 300\text{m}$		20 m	
	Bajocien supérieur <i>calcaires</i>	9 m	Niveau du sol $Z_0 = 320\text{m}$	28 m	Niveau du sol $Z_0 = 300\text{m}$
	Bajocien moyen et inférieur <i>calcaires</i>	74 m	30 m	93 m	45 m
	Aalénien <i>calcaires riche en fer</i>	134 m	90 m	153 m	105 m
	Toarcien <i>marnes et bancs de calcaires</i>	143 m	99 m	162 m	112 m
	Profondeur de la fin du forage	150 m	104 m	165 m	114 m

**DOCUMENT 3a : profondeurs du toit des couches géologiques obtenues à partir des forages localisés sur le document 1**

$Z_0$  = altitude (m), qui est appelée **niveau du sol** dans le tableau

➤ **DEFINITION** : Une coupe géologique est une construction graphique rigoureuse de la disposition des couches géologiques en profondeur. Les forages permettent d'avoir une bonne vision ponctuelle de la disposition des couches géologiques. Ils permettent notamment d'accéder à la profondeur du toit\* des couches géologiques. Il suffit ensuite de prolonger ces limites de couche en appliquant des règles de construction rigoureuses énoncées ci après.

\* Le toit d'une couche géologique correspond à sa limite supérieure.

➤ **REGLES DE CONSTRUCTIONS DE LA COUPE :**

- L'épaisseur d'une couche géologique donnée est considérée comme **constante** sur toute une région.
- Vous considérerez que les terrains géologiques sont **horizontaux** et **non plissés** dans la région de Colombey-les-Belles.
- Si les terrains ne peuvent pas être reliés, s'il existe un décalage, cela indique la présence d'un accident tectonique.

**DOCUMENT 3b : principe de réalisation d'une coupe géologique**

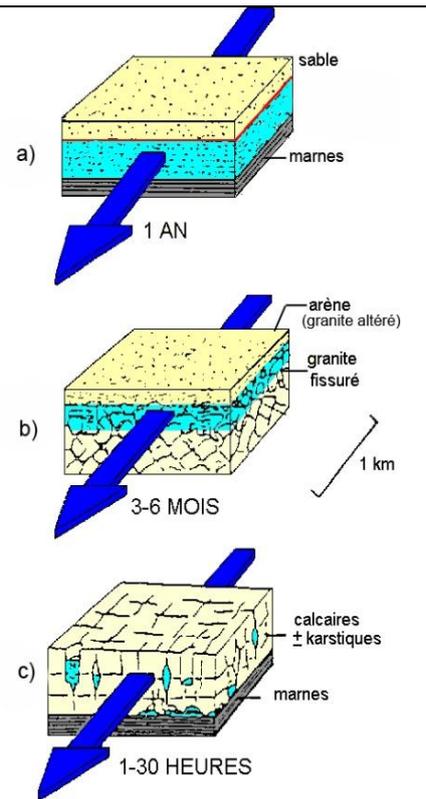
L'eau est consommée pour satisfaire les besoins domestiques, agricoles ou industriels. Cette eau est prélevée dans les cours d'eau, mais, pour la rendre potable, les traitements sont très coûteux, aussi, exploite-t-on, chaque fois que cela est possible, les gisements d'eau souterraine.

Les eaux souterraines sont localisées dans certaines couches géologiques appelées aquifères. L'eau occupe les espaces existant dans ces roches-réservoirs sous forme de pores ou de fissures.

On distingue deux principales catégories d'aquifères :

— Les aquifères à perméabilité d'interstices (a), constitués de sables, graviers, grès... L'eau circule lentement dans les pores de la roche. Une pollution ne s'y propagera donc que lentement.

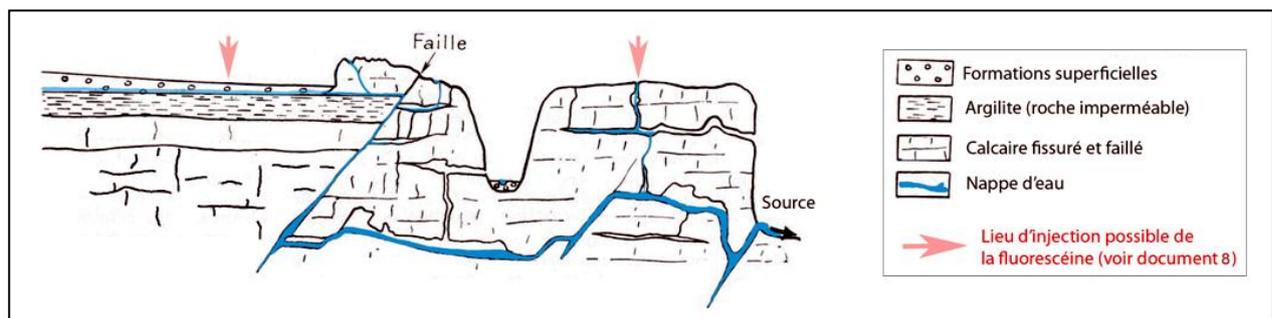
— Les aquifères hétérogènes, à perméabilité de fissures ou de fractures (b) et (c) sont surtout constitués de calcaires mais également de roches volcaniques, granitiques ou gréseuses. Dans les massifs calcaires (c), les fissures sont souvent ouvertes (aquifère de type karstique) et constituent de véritables conduits souterrains dans lesquels l'eau ainsi que les pollutions éventuelles peuvent se propager rapidement.



**Légende :** ■ Eau ➔ Ecoulement de l'eau  
 « 1-30 heures, 3-6 mois, 1 an » : temps nécessaires à l'eau pour parcourir 1 km dans les différents types d'aquifères

**DOCUMENT 4 : les deux principales catégories de réservoirs d'eau souterraine**

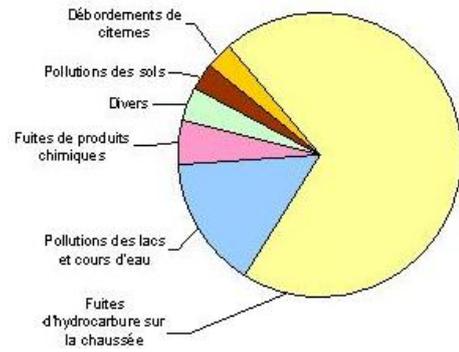
Texte modifié d'après Ouvrage Scolaire Bordas, Science de la vie et de la Terre 2<sup>de</sup>, R. Tavernier, C. Lizeaux.  
 Schéma modifié d'après <http://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.gge/du-7.htm>



**DOCUMENT 5 : coupe transversale schématique des circulations d'eau possibles dans une région calcaire karstique** Schéma d'après Précis de géomorphologie, M. Derruau, Masson.

**a - Accident d'un camion citerne à Tavannes**  
(dépêche publiée le 31/05/2010 dans le Quotidien Jurassien) :

« Suite à un problème technique, du gasoil s'est échappé d'un camion de chantier qui circulait de Tavannes en direction du Fuet. Prévenus hier matin vers 9h30, les sapeurs pompiers de La Birse ont appelé en renfort leurs collègues du CRISM à Moutier. Longue de près d'un kilomètre et demi, la mince bande de gasoil répandue sur le bas côté de la chaussée a contraint les pompiers à fermer la route pendant trois heures. »



**b - Statistiques des causes des pollutions des eaux** (Etude réalisée en 2006 sur 486 cas de pollution dans un canton suisse)

**DOCUMENT 6 : exemple de pollutions des eaux**

D'après <http://www.vd.ch/fr/themes/environnement/eau/eaux-usees/pollution-par-les-hydrocarbures/>

**a - Principe de coloration à la fluorescéine**

La méthode mise en œuvre consiste à « marquer » l'eau souterraine et à suivre ses déplacements par l'injection d'un colorant (la fluorescéine) à des endroits variés (voir document 5). La quantité de colorant est ainsi mesurée à l'œil nu ou grâce à des appareils de mesure au point de sortie de l'eau (source ou puits). La fluorescéine est utilisée car elle ne se fixe pas sur les roches et possède un très grand pouvoir colorant même à de très faibles concentrations dans l'eau. Elle émet une lumière vert-jaune.

Les mesures ainsi obtenues permettent d'accéder à de nombreuses informations : organisation du réseau souterrain, temps du trajet de l'eau entre le point d'injection et le point de sortie, la durée totale de la vague « polluante »... ainsi cela donne accès de manière directe au mécanisme de pollution.

*Texte modifié d'après « Fonctionnement des aquifères calcaires Lorrains déduit des expériences de traçage colorimétriques », J. LEROUX et J. SALADO, (1980).*

**b - Résultats simplifiés**

Dans la région de Colombey-les-Belles, la nature des roches est essentiellement calcaire. L'existence de deux aquifères de type karstique a été mise en évidence : l'aquifère du Bathonien et l'aquifère du Bajocien. Ces aquifères forment des réseaux souterrains dans lesquels l'eau peut circuler rapidement.

Les expériences de coloration à la fluorescéine montrent qu'une faille serait reliée à ces réseaux souterrains karstiques. Elle draine ce réseau et accélère le transit du colorant dans le réseau souterrain. La faille constitue un point d'entrée potentiel dans le réseau souterrain. Des traces de colorants sont retrouvées plus au Nord : le réseau souterrain rejoint une rivière importante dans la région (la Moselle).

Les eaux mises en évidence par la coloration sont des eaux captées en de multiples endroits pour l'alimentation en eau potable de la population. Plus de 15 000 habitants sont concernés par cette alimentation en eau pour leurs besoins domestiques.

**DOCUMENT 7 : principe et résultats des expériences de colorimétrie dans la région de Colombey-les-Belles.**

**Question 1 :**

**a)** À partir des données des seuls forages 1 et 2 (document 3a), réaliser sur le profil topographique du document 2 une coupe géologique. Identifier la structure géologique mise en évidence sur la coupe. **Rendre le document 2 avec la copie.**

**b)** Placer la structure géologique identifiée à la question précédente sur la carte du document 1.

À l'aide des données des deux autres forages (forages 3 et 4) du document 3a, est-il possible de prolonger la structure géologique identifiée sur le document 1 vers les forages 3 et 4 ? Justifier la réponse. **Rendre le document 1 avec la copie.**

**Question 2 :**

**a)** Expliquer de façon argumentée, à partir des documents 4, 5, 6 et 7, le type de données que les ingénieurs doivent prendre en compte pour construire un réseau routier dans la région de Colombey-les-Belles.

**b)** Localiser par un coloriage visible les zones à risque sur chaque axe routier proposé. Légendez votre travail sur le document 1 que vous rendez avec la copie.

**c)** En déduire quel axe routier est le plus sûr vis-à-vis de la pollution.