

Académies métropolitaines et AEFE

Durée de l'épreuve : 4h

Le sujet se compose de trois exercices notés sur dix points chacun. Il comporte de nombreux documents, mais leur exploitation et les réponses attendues sont courtes.

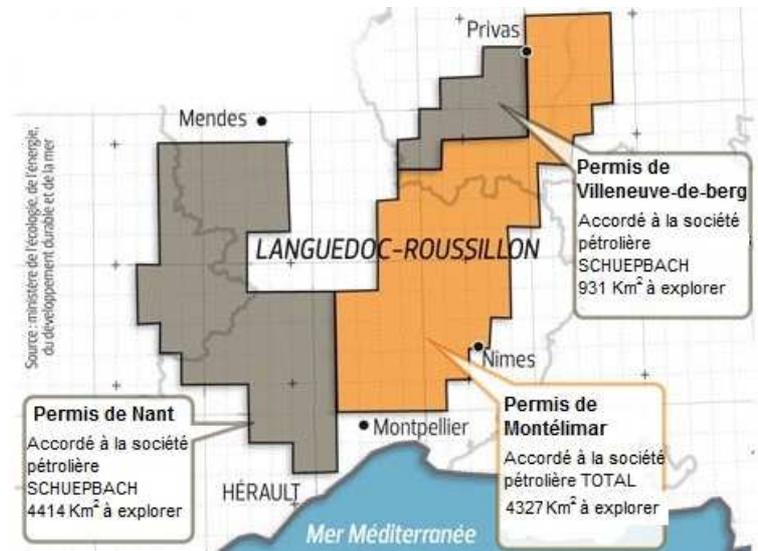
La calculatrice est autorisée.

Les pages 11 et 13 sont à rendre avec la copie.

Exercice 1 - LES GAZ DE SCHISTE EN FRANCE

L'exploitation de nouvelles ressources énergétiques comme les gaz de schiste pourrait constituer une réponse possible à l'augmentation de la consommation énergétique mondiale et à la raréfaction des ressources en énergies fossiles conventionnelles. En 2010, trois permis de recherche de gaz de schiste dans le sous-sol ont été accordés dans le sud de la France. A l'époque, l'éventualité d'une exploitation de ces sites a été à l'origine d'une vive polémique.

Carte des permis de recherche en gaz de schiste accordés en 2010 dans le sud de la France

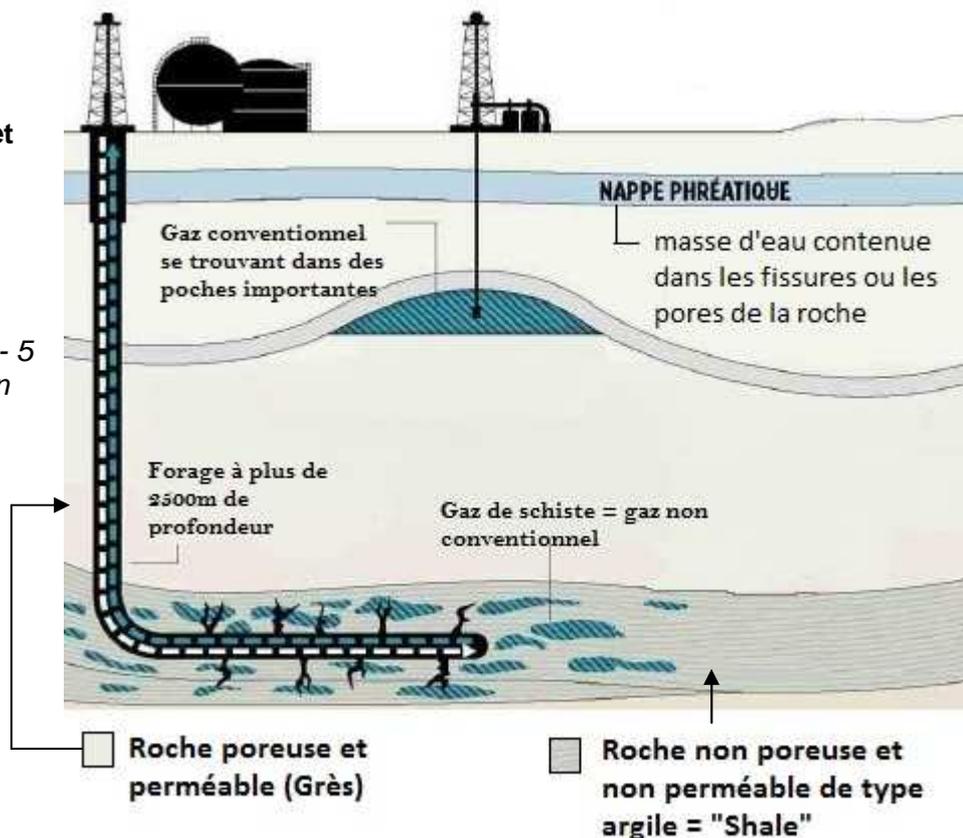


D'après <http://lefigaro.fr>

Pour la semaine du développement durable, vous êtes chargé(e) d'écrire un article dans le journal de votre lycée sur les gaz de schiste. Dans cet article, vous dégagerez les avantages et les inconvénients de la mise en exploitation des gaz de schiste ; votre argumentaire s'appuiera sur les documents du dossier.

Document 1 : hydrocarbures conventionnels et non-conventionnels

Source : Le Point - 5 août 2010 : « Plein gaz dans les schistes »

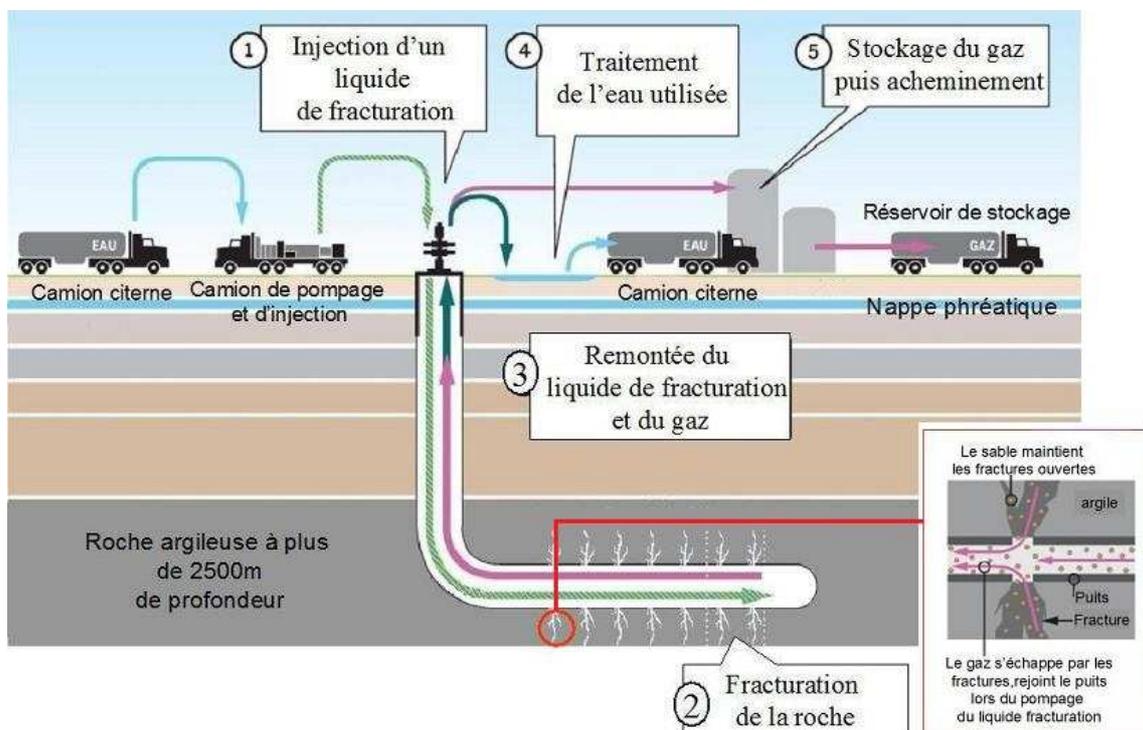


Le gaz concerné est principalement du méthane (CH₄). Il s'agit d'un **hydrocarbure non conventionnel**, c'est à dire qu'il est dispersé dans une roche-mère non poreuse et imperméable de type argile, qu'il faut fissurer pour extraire le gaz qui s'y trouve. Au contraire les **hydrocarbures conventionnels** s'accumulent dans une roche réservoir poreuse et perméable après avoir quitté leur roche-mère.

Le terme « gaz de schiste » vient donc de la traduction approximative de l'anglais « *shale gas* », puisqu'en français, le mot « schiste » désigne toute roche présentant un aspect feuilleté : il peut s'agir d'une roche sédimentaire argileuse, comme en anglais, ou d'une roche d'une autre nature mais qui ne contient pas de gaz. Ce qui rend l'appellation « gaz de schiste » imprécise.

Document 2a : technique d'exploitation, le modèle américain

Pour récupérer les gaz de schiste dispersés et prisonniers de la roche mère imperméable, il est nécessaire de réaliser des **forages horizontaux** suivis d'une fracturation de la roche qui les contient grâce à la technique de la **fracturation hydraulique**.



<http://legazdeschiste.wordpress.com>

1 et 2. Un liquide est envoyé au fond du puits de forage à une pression supérieure à la pression des roches situées au dessus de la roche exploitée. Ce liquide s'insinue dans les moindres fractures de la roche, ce qui les propage horizontalement et verticalement. On ajoute du sable au liquide de forage sur-comprimé, celui-ci s'insinue dans les fractures, et empêche qu'elles ne se referment une fois la surpression arrêtée. Des additifs sont mêlés à l'eau pour rendre la fracturation hydraulique plus efficace.

3. Une fois la roche fracturée, le gaz est libéré, il s'échappe des fractures et remonte à la surface lors du pompage du liquide de fracturation.

4. L'eau pompée est recueillie, stockée dans des bassins de surface en attente d'être traitée soit sur place, soit jusqu'à un centre de traitement spécialisé après transport car elle contient les additifs mais aussi du sel, parfois des métaux lourds toxiques et des éléments radioactifs arrachés à la roche fracturée.

5. Le gaz capté est stocké puis emporté et livré sur son lieu de consommation.

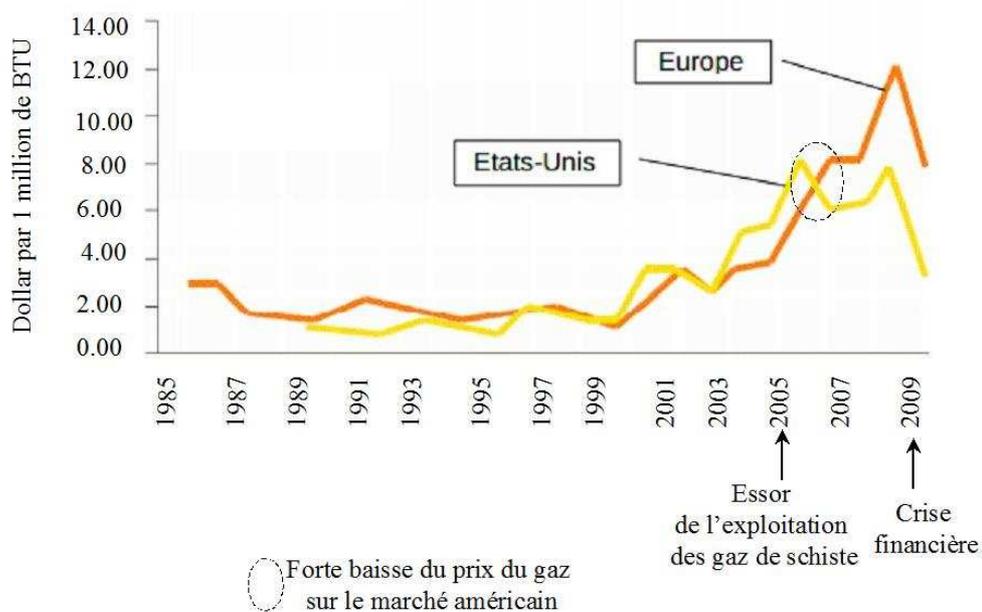
Document 2 b : les additifs mêlés à l'eau de fracturation hydraulique

Additifs	Intérêts
Acide chlorhydrique	Dissoudre les ciments minéraux dans les fractures
Polyacrylamide	Réduire les frottements
Glutaraldehyde, éthanol et méthanol	Éliminer les bactéries pouvant produire des composés acides s'attaquant aux puits
Ethylène glycol, alcool, hydroxyde de sodium	Agent de dégivrage, empêche les dépôts dans les tuyaux

<http://legazdeschiste.wordpress.com>

Document 3 : prix global du gaz (conventionnel et non conventionnel) entre 1985 et 2009 exprimé en dollar par 1 million de BTU (British Thermal Unit qui indique le contenu énergétique du gaz)

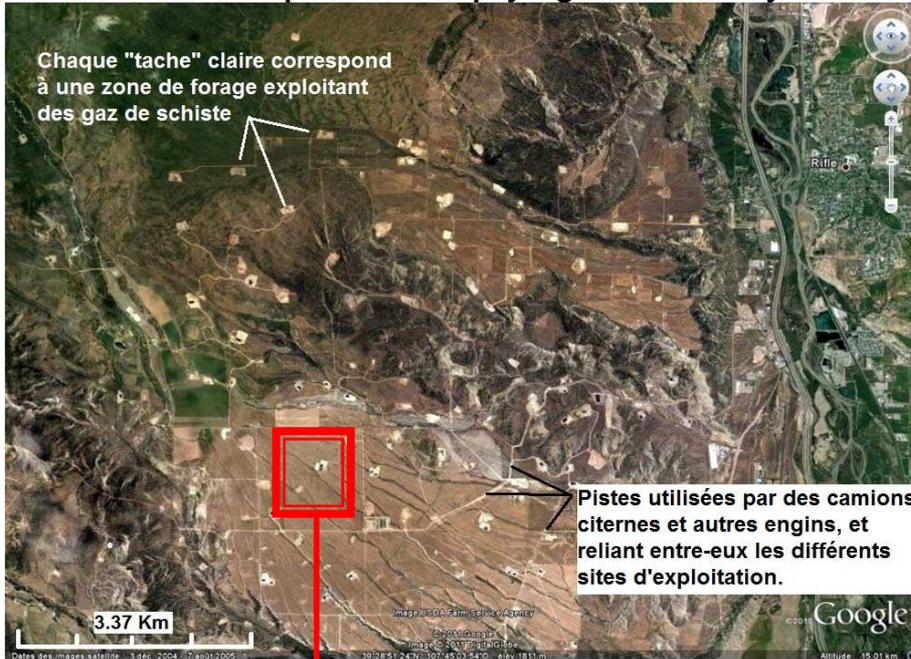
Source :
rapport initial
« Les hydrocarbures de roche-mère en France »,
Février 2012



À partir de 2005, les États-Unis se mettent à exploiter leur gaz de schiste. D'importateurs ils deviennent exportateurs de gaz. Par ailleurs, l'exploitation des gaz de schiste aux USA a permis la création de 600 000 emplois en 2010.

En France, le gaz (15% de la consommation énergétique totale) a vu sa part doubler entre 1973 et 2011. 98% de la consommation de gaz naturel provient de l'importation soit plus de 9 milliards d'euros dépensés en 2009 pour l'importation de gaz naturel. Les réserves en gaz de schiste sont estimées en France à 5 097 milliards de mètres cubes et pourraient correspondre à plus d'un siècle d'autonomie gazière. Actuellement aucune donnée ne permet de vérifier cette estimation.

Document 4 : les impacts sur les paysages et les écosystèmes



Vue Google Earth (de 2005) montrant un secteur du Colorado (USA) où sont exploités des gaz de schiste.

L'espacement moyen entre les puits est de 600 m

D'après <http://planetterre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-gaz-schiste.xml>

Zoom sur la région encadrée



L'échelle montre une emprise au sol de la zone d'exploitation d'environ 200 m de diamètre, soit près de 4 hectares.

Le rayon d'action d'un puits, même après une fracturation hydraulique, reste faible (quelques dizaines à quelques centaines de mètres). Afin de produire des quantités importantes de gaz, il est donc nécessaire de réaliser un grand nombre de puits : il faut un puits tous les 0,5 à 4 km environ pour exploiter complètement une couche horizontale.

En phase de production : si le gaz est évacué par gazoduc, c'est tout un réseau de gazoducs qu'il faut construire pour relier tous les puits entre eux, puis à un centre d'évacuation sur le réseau national.

Document 5 : la gestion de l'eau pour le forage et la fracturation

La gestion de la ressource en eau dans les opérations de forage horizontal et de fracturation doit intégrer trois aspects majeurs :

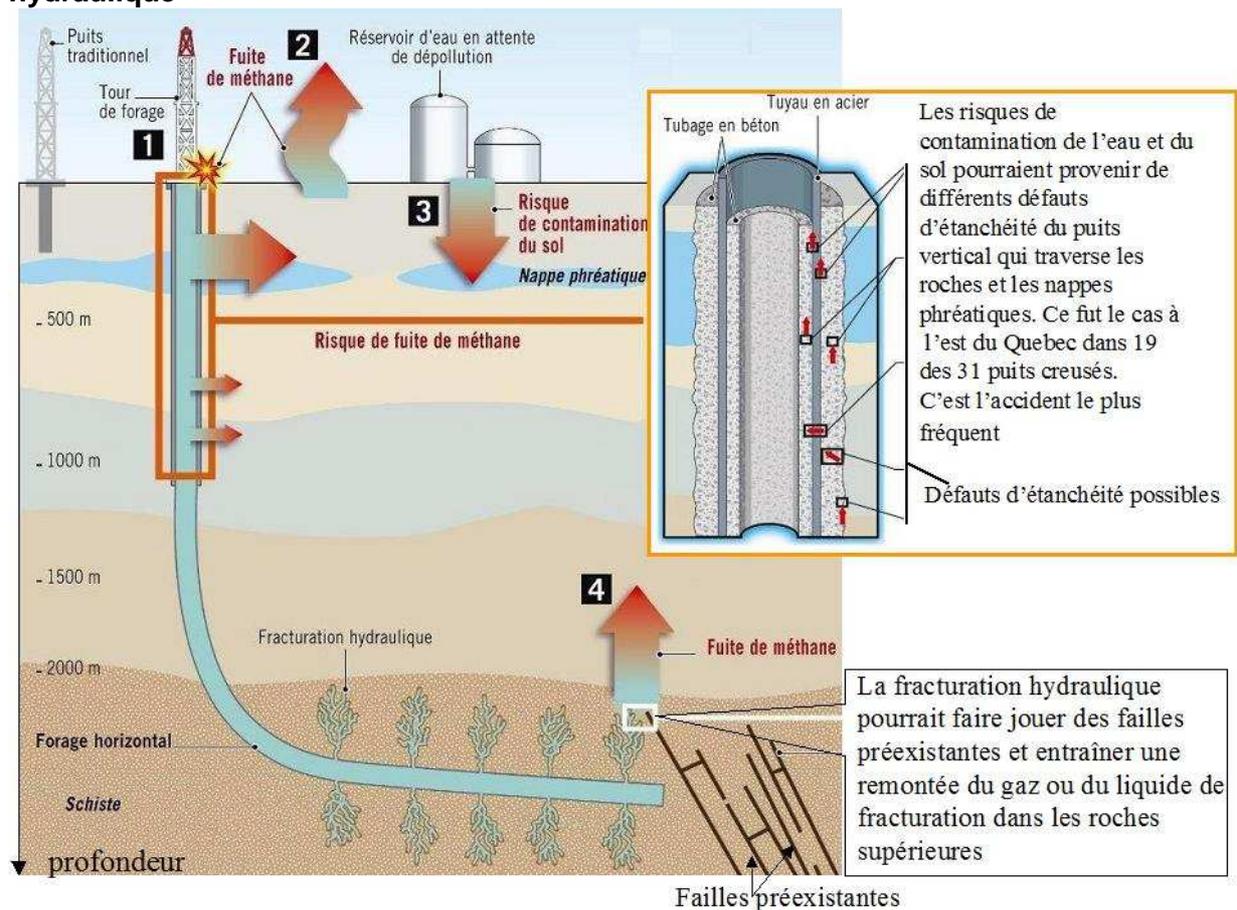
- la disponibilité de la quantité d'eau nécessaire au forage et à la fracturation,
- le recyclage et le traitement de l'eau utilisée pour un usage ultérieur,
- la prévention d'éventuelles contaminations d'autres aquifères par les fluides de forage.

Document 5 a : ordre de grandeur du volume d'eau et de produits chimiques nécessaires à la réalisation d'un forage et sa fracturation hydraulique

	Volume en mètres cubes	Volume en piscine olympique	Volume en camion citerne
Eau	10.000 à 20.000	4 à 8	500 à 1000
Produits chimiques	100 à 200	0,04 à 0,08	5 à 10

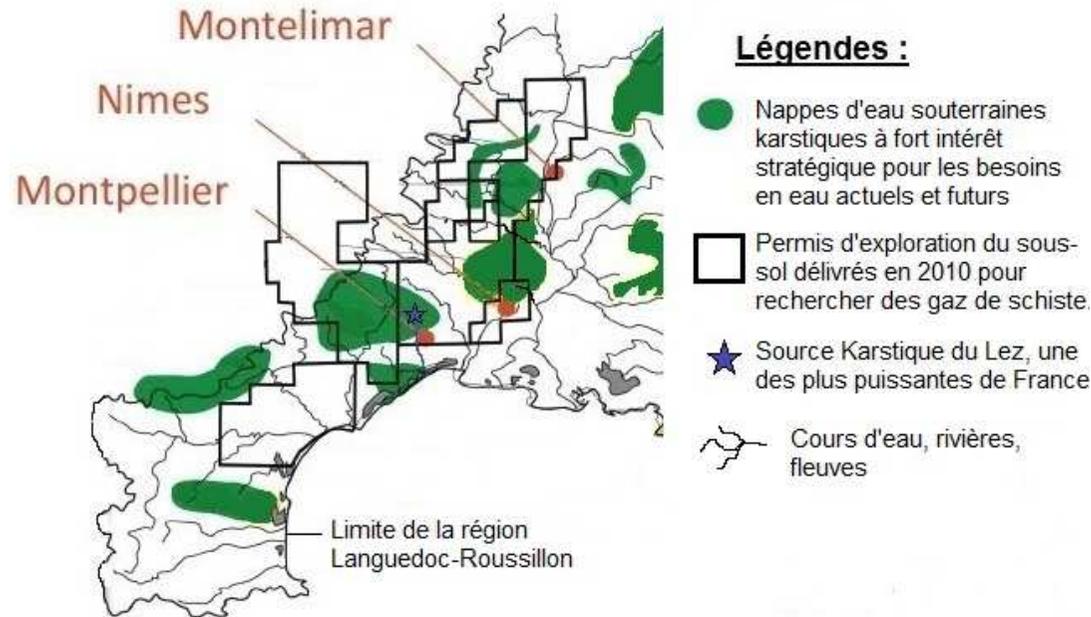
D'après <http://www.gm.univ-montp2.fr/spip/spip.php?article1312>

Document 5 b : les risques liés à la technique de forage horizontal et de fracturation hydraulique



D'après <http://sciencesetavenir.nouvelobs.com>

Document 6a : gaz de schiste et nappe d'eau souterraine de type karstique dans la région du Languedoc-Roussillon

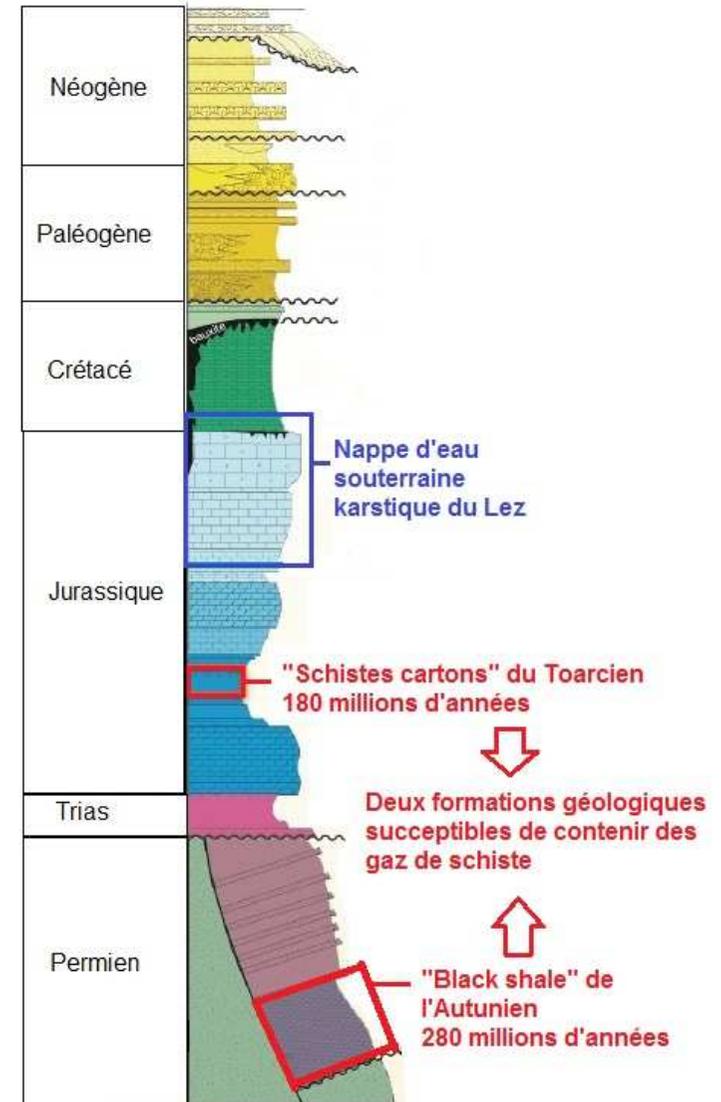


Un karst est un massif calcaire dans lequel l'eau a creusé de nombreuses cavités, y circule et forme des réserves importantes. Les karsts constituent la première ressource en eau régionale pour l'alimentation en eau potable. Cette ressource est déjà largement exploitée pour l'alimentation de 50% de la population du territoire concerné (dont Montpellier, Nîmes, Millau..) et représente un potentiel de premier ordre pour les prochaines décennies.

Les réservoirs d'eau souterrains de types karstiques sont particulièrement sensibles aux polluants car l'eau y circule beaucoup plus rapidement que dans les autres types de réservoirs d'eau. D'autre part, la région compte de nombreuses failles profondes qui relient ces réservoirs à des couches géologiques plus profondes.

D'après <http://www.gm.univ-montp2.fr/spip/spip.php?article1312>

Document 6 b : colonne stratigraphique de la région de Montpellier

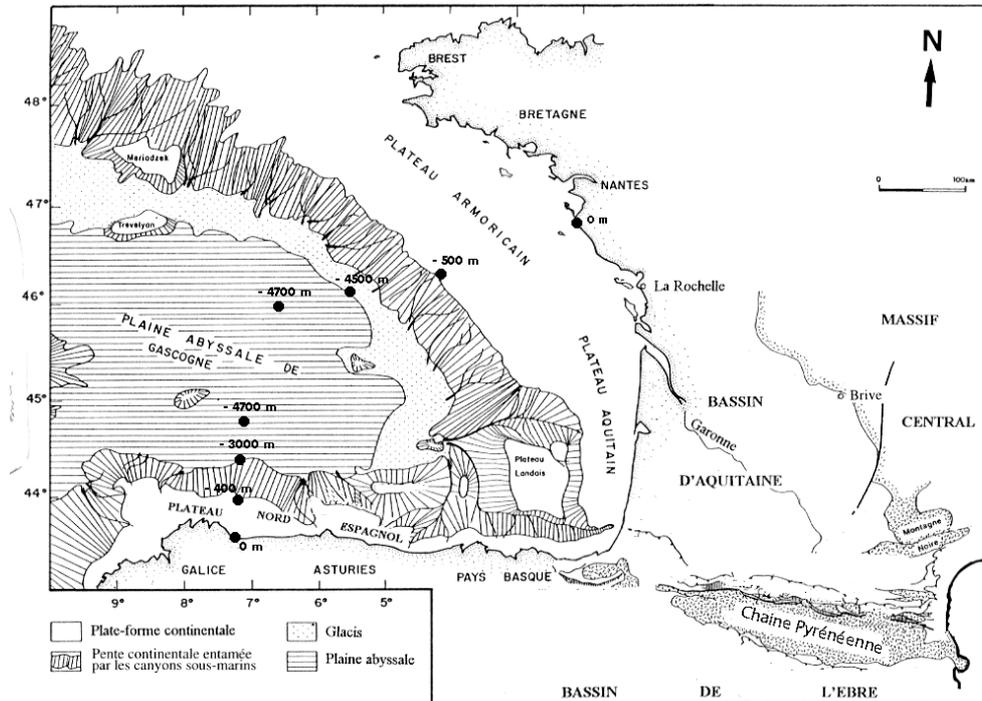


Exercice 2 - LE GOLFE DE GASCOGNE : DIVORCE GÉOLOGIQUE ENTRE L'ESPAGNE ET L'ARMORIQUE

Le Golfe de Gascogne est la partie de l'Océan Atlantique qui s'enfonce entre l'Espagne et l'Armorique. Il est connu pour ses vents puissants, ses fortes marées, ses ressources en poissons et ses stations balnéaires.

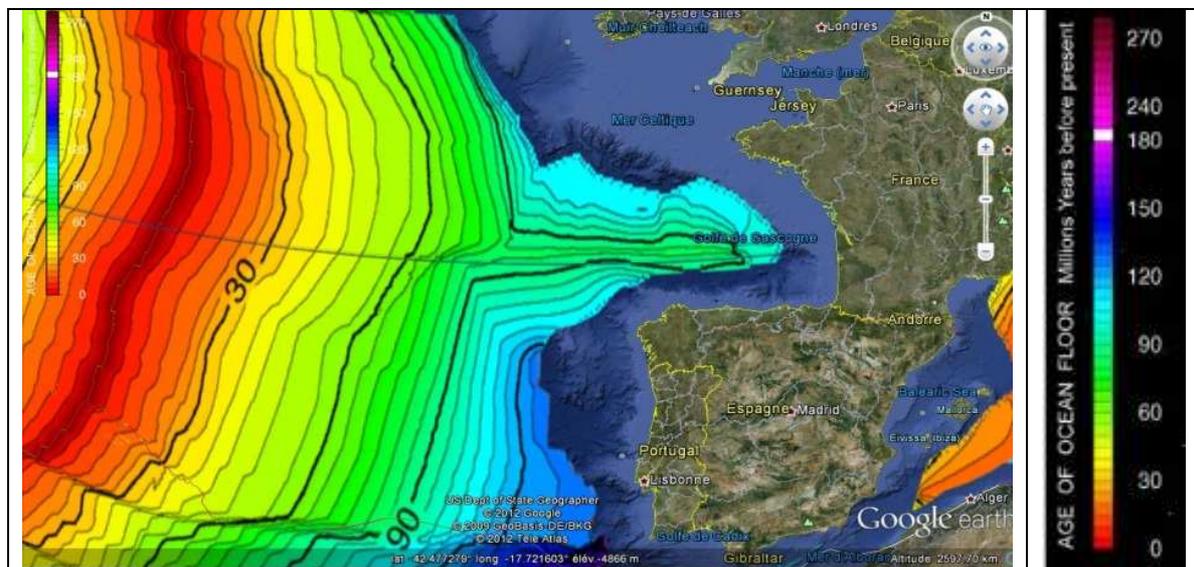
On vous propose de reconstituer sa longue histoire géologique.

Document 1 : carte morphologique du Golfe de Gascogne avec indication de quelques profondeurs. (modifiée, d'après Boillot et al., 1984, Masson)



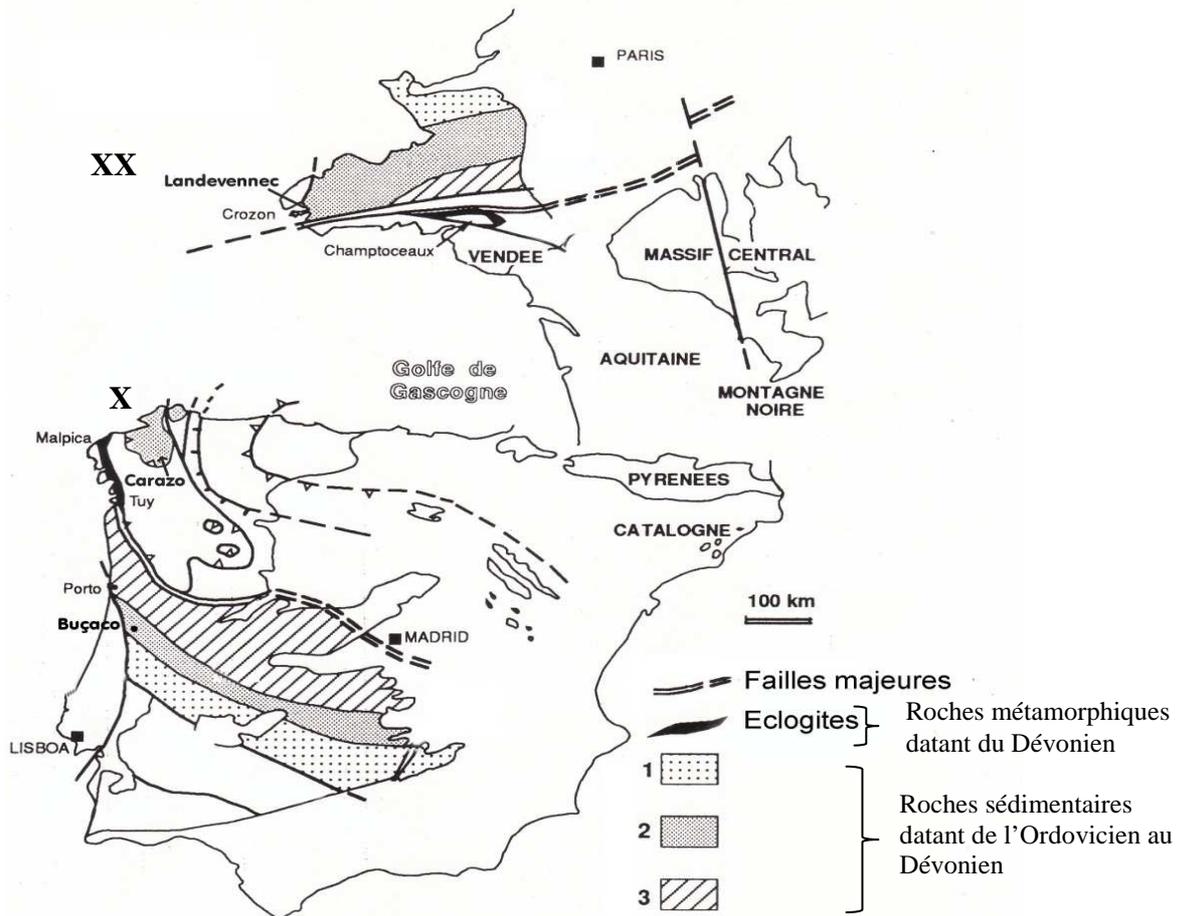
Document 2 : datation du plancher océanique à partir des anomalies magnétiques sur la bordure Est de la dorsale océanique atlantique actuelle.

(<http://nachon.free.fr/GE/Welcome.html> - Google Earth)

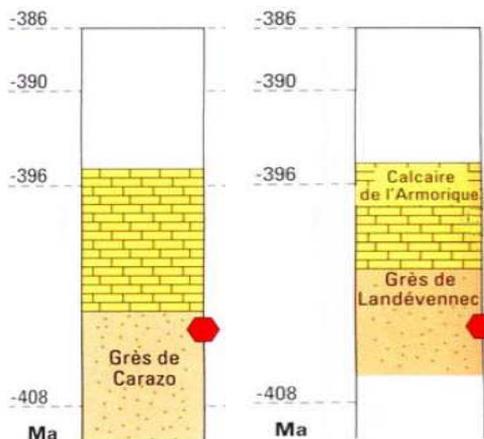


Document 3a : disposition actuelle des structures géologiques appartenant à la Chaîne Hercynienne. (Ballèvre et all (1992). *Corrélations ibéro-armoricaines au Paléozoïque*)

La chaîne hercynienne d'Europe était une grande chaîne de montagnes aux dimensions himalayennes, qui parcourait l'Europe de l'ouest, du Cap Lizard (Sud de l'Angleterre) à la République Tchèque, en passant par la Bretagne, le Massif Central, les Monts Cantabriques (Nord-ouest de l'Espagne). Elle s'est érigée entre - 370 et - 250 Ma.



Document 3b : résultats de forages et étude paléontologique dans les roches de Carazo (X) et de Landevennec (XX) : localisation et morphologie de *Cleistopora geometrica*, groupe des coraux. (Source : manuel Belin TS . ed.2002)



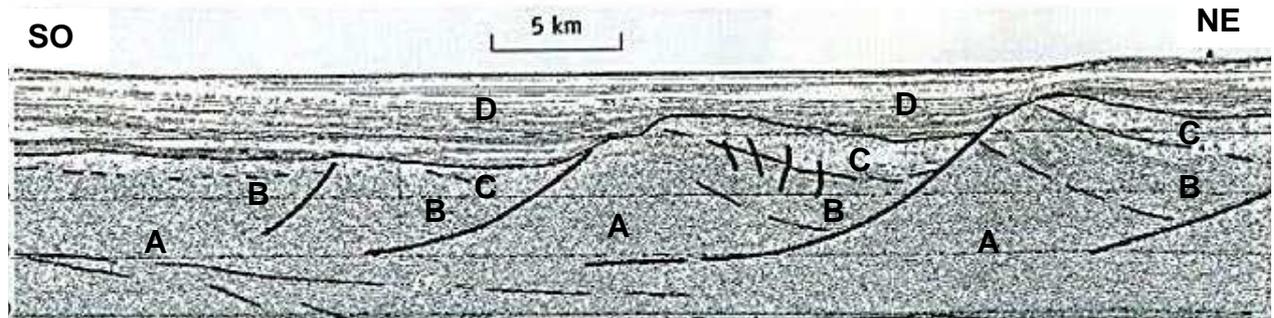
Présence de *Cleistopora geometrica* : ●

Document 4 : profils sismiques de la marge bretonne du Crétacé moyen à l'actuel et schémas interprétatifs de la marge espagnole au Crétacé moyen et à l'actuel. (modifiés d'après Boillot. et al. - Les marges continentales actuelles et fossiles autour de la France. Masson 1984)

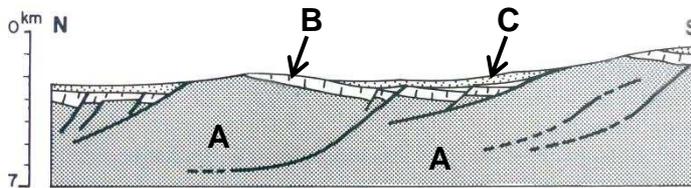
Age des formations géologiques :

A : Paléozoïque (socle) ; **B** : Jurassique ; **C** : Crétacé – Paléocène ; **D** : Éocène à actuel

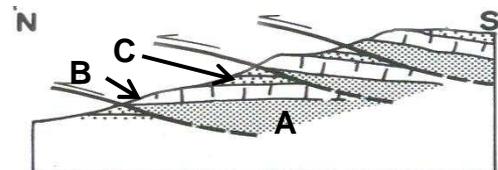
Marge bretonne : du Crétacé moyen à l'actuel



Marge espagnole :
au Crétacé moyen



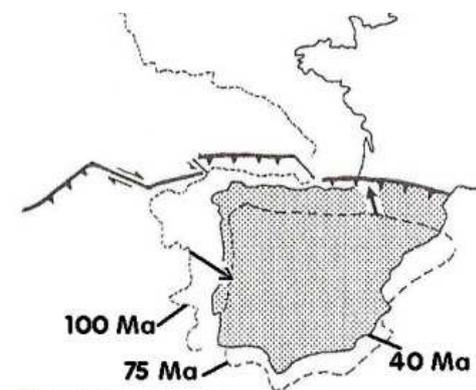
de nos jours



Document 5 : mouvements tectoniques et structures associées au niveau de la chaîne pyrénéenne.

Document 5a : déplacements du bloc ibérique entre le Crétacé moyen et l'Éocène supérieur.

(d'après Boillot, 1984, simplifié)



Document 5b : plissement éocène affectant des roches du Crétacé supérieur à la frontière franco-espagnole

(photo Alex Clamens)



Annexe : échelle des temps géologiques

DOCUMENT À RENDRE AVEC VOTRE COPIE

PRECAMBRIEN	PALEOZOIQUE					MESOZOIQUE			CENOZOIQUE										
ARCHEEN	PROTEROZOIQUE	CAMBRIEN	ORDOVICIEN	SILURIEN	DEVONIEN	CARBONIFERE	PERMIEN	TRIAS	JURASSIQUE	CRETACE	TERTIAIRE			QUATERNAIRE					
											PALEOGENE			NEOGENE					
											PALEOCENE	EOCENE	OLIGOCENE	MIOCENE	PLIOCENE	PLEISTOCENE	HOLOCENE		
Vers 4,5 Ga	2,5 Ga	545 Ma	495 Ma	443 Ma	417 Ma	354 Ma	292 Ma	248 Ma	206 Ma	142 Ma	65 Ma								

Questions

Question 1 : à partir des informations extraites du document 3, dégager les arguments montrant l'appartenance de l'Espagne et de la Bretagne à un même bloc continental au Paléozoïque.

Question 2 : le Golfe de Gascogne résulte d'un mouvement d'expansion océanique ; retrouver dans les documents 1, 2 et 4 des arguments qui permettent d'affirmer cela.

Question 3 : identifier, dans les documents 4 et 5, les indices permettant de caractériser le déplacement subi par le bloc ibérique à partir du Paléocène.

Question 4 : placer sur l'échelle des temps géologiques les grands événements géologiques ayant affecté la région « Bretagne - Golfe de Gascogne - Espagne - chaîne pyrénéenne ».

Exercice 3 - La traçabilité des émeraudes anciennes

Comme pour d'autres métaux et pierres précieuses, mythes et légendes se mêlent à la réalité historique lorsqu'on évoque l'émeraude. Elle est déjà citée à Babylone, au II^e millénaire av. J.-C., où elle servait de monnaie d'échange.

Expertiser une pierre pour savoir si elle est fautive est une opération relativement facile pour des spécialistes. Mais déterminer son origine géographique et tracer ainsi la pierre est plus délicat. Cela a été rendu possible depuis peu par différentes méthodes.

Une des techniques de traçabilité des émeraudes est d'évaluer leur rapport isotopique en oxygène.

Document 1 : les caractéristiques des émeraudes

Le mot *émeraude* proviendrait du latin *smaragdus*, déformation du mot perse *zamarat* qui veut dire « cœur de pierre ».

Propriétés physiques	
Densité	2,68 - 2,78
Dureté	7,5 - 8
Clivage	Nul
Cassure	Légèrement conchoïdale, inégale, friable

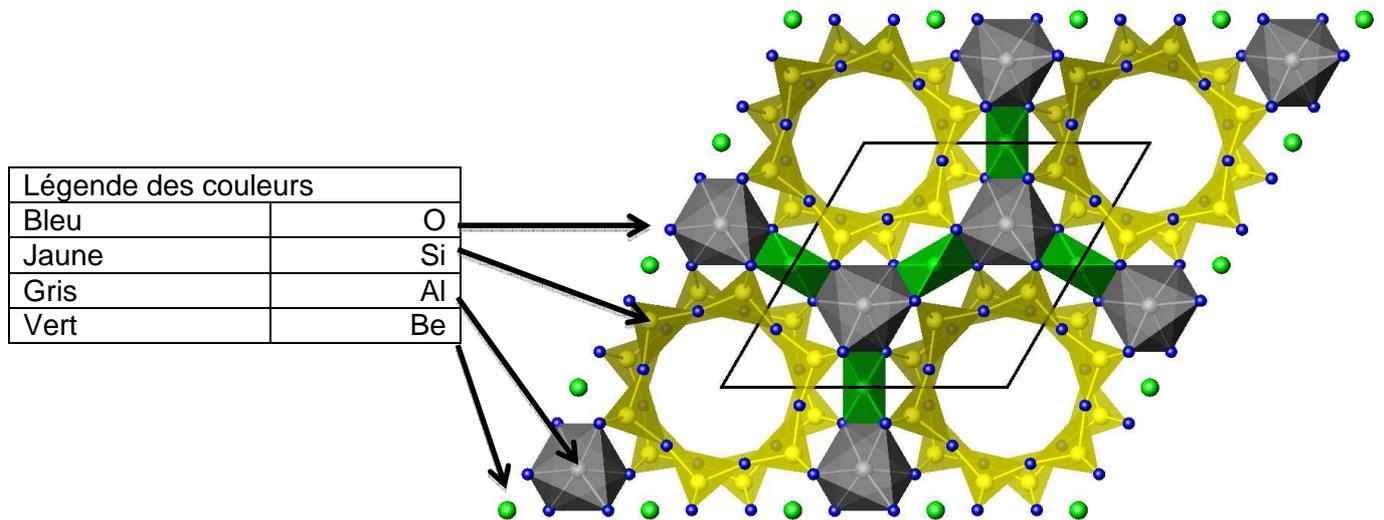


Document 2 : la chimie des béryls

Al ₂ Be ₃ (SiO ₃) ₆			L'émeraude est une variante d'un minéral, le béryl. Sa couleur varie du vert moyen au vert-bleu sombre.
Nom	Symbole	Rayon atomique (pm)	
Béryllium	Be	112	La couleur verte provient d'impuretés de chrome, de vanadium, ou d'une combinaison des deux, qui remplacent les atomes d'aluminium. La coloration verte apparaît dès que la teneur en Cr ou en V atteint 0,05%. Le vert profond correspond à des teneurs comprises entre 0,15 et 0,20% de Cr ou V.
Aluminium	Al	125	
Silicium	Si	110	
Oxygène	O	60	
Chrome	Cr	140	
Vanadium	V	135	
Les rayons atomiques sont calculés et peuvent légèrement varier en fonction de l'environnement de l'atome dans la maille cristalline (pm = 10 ⁻¹² m).			La couleur la plus populaire conférant à l'émeraude son intérêt et sa valeur est un vert légèrement bleuté dans un ton sombre moyen avec une forte saturation.

Document 3 : organisation cristallographique de la maille du béryl

À rendre avec la copie



Le parallélogramme noir représente la maille conventionnelle.
D'après <http://fr.wikipedia.org/wiki/Beryl>

Document 4 : principe de la « composition » isotopique

La « composition isotopique » est le rapport d'abondance entre un isotope lourd et un isotope léger : $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Il est généralement exprimé en « *delta* » (δ), qui est l'écart (en millièmes) entre une composition isotopique dite « standard » et celle de l'échantillon. Pour l'oxygène, le standard international correspond à l'eau de mer moyenne (SMOW en anglais).

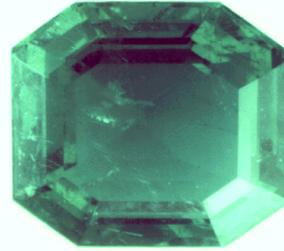
L'étude détaillée des compositions isotopiques des cristaux d'émeraude (analyse par spectrométrie de masse) a permis au CNRS de Nancy d'élaborer un processus d'identification de leur origine. Les chercheurs ont démontré que les spécimens d'émeraude provenant d'une mine donnée, quelle que soit la qualité des pierres analysées, offraient non seulement un *delta* identique mais surtout un *delta* spécifique à la mine ou à sa région. En effet, la composition isotopique de l'oxygène présent dans les molécules d'émeraude dépend de celle de la roche où la gemme a cristallisé. Chaque gisement présente ainsi un rapport isotopique $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ qui lui est propre. Calculer le rapport isotopique permet donc de définir l'origine géologique et géographique des émeraude.

Document 5 : rapports isotopiques de quelques émeraudes « historiques »

Boucle d'oreille gallo-romaine sertie
d'une émeraude



$$\delta^{18}\text{O} = 15,2 \pm 0,3 \text{ ‰}$$



Émeraude provenant du trésor du Nizam
d'Hyderabad (Inde). Echantillon OM1361
(13,61 carats), photo DH Piat.

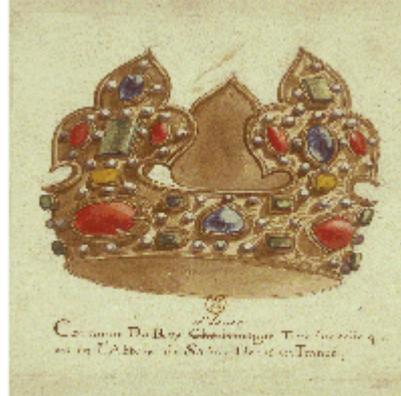
$$\delta^{18}\text{O} = 22,3 \pm 0,3 \text{ ‰}$$



Croix sertie d'émeraudes provenant de
l'épave du galion espagnol *Nuestra Señora
de Atocha*, ayant sombré en 1622 au large
de la Floride

$$\delta^{18}\text{O} = 21,5 \pm 0,8 \text{ ‰}$$

Couronne de Louis XI (1266)



Émeraude provenant de cette couronne

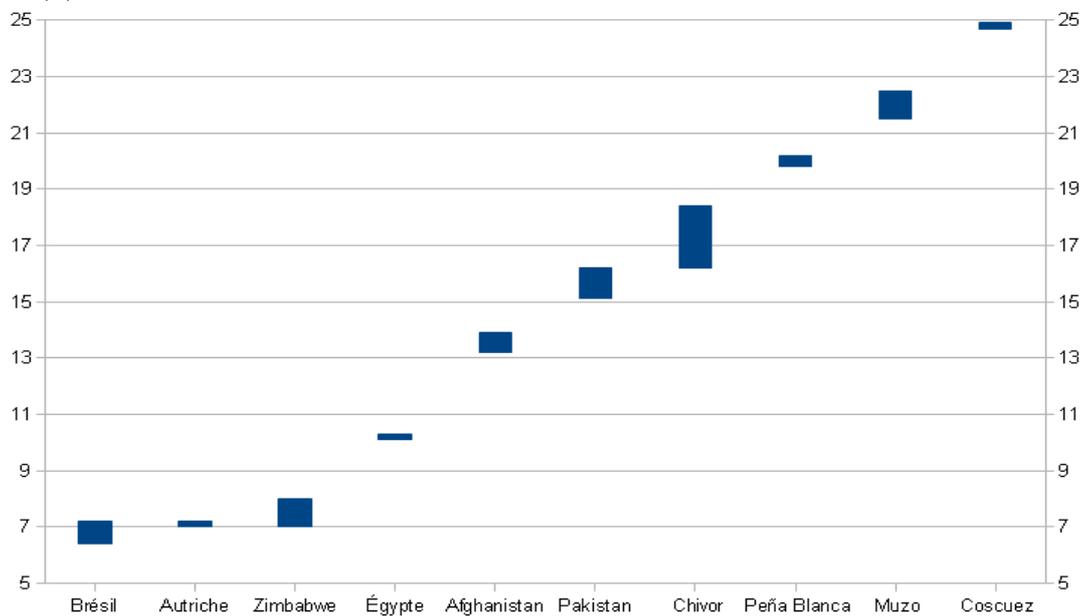


$$\delta^{18}\text{O} = 7,5 \pm 0,5 \text{ ‰}$$

D'après <http://www.cprg.cnrs-nancy.fr/Science/Emeraudes/AFG2.html>

Document 6 : rapport isotopique de l'oxygène (en ‰) des émeraudes en fonction des mines d'origine

Rapport isotopique $\delta^{18}\text{O}$ (en ‰)



NB : Chivor, Peña Blanca, Muzo et Coscuez sont des mines de Colombie. *D'après CNRS de Nancy*

Document 7 : quelques célèbres mines d'émeraudes

À la période antique de l'Égypte, près de la Mer Rouge, se trouvaient des mines d'émeraude, dont on a fabriqué des bijoux pour les grands de l'empire. Les mines de Djebel Zabarah, redécouvertes en 1816 par l'explorateur français Frédéric Cailliaud, ont été abusivement surnommées mines de Cléopâtre.

À l'époque romaine, (du II^{ème} siècle avant JC au III^{ème} siècle après JC), on évoque une lame d'émeraude utilisée comme instrument optique par l'empereur Néron, qui s'en serait servi pour corriger sa myopie lorsqu'il regardait les combats de gladiateurs. À cette époque, on connaissait principalement une mine en Europe, celle d'Habachtal en Autriche. Découverte et exploitée par des tribus celtes, elle l'a également été par les Romains. Les données historiques montrent également l'existence de riches royaumes indépendants, comme celui de Ghandara qui regroupait les vallées de Kaboul, Peshawar et de Swat, actuellement le Pakistan et l'Afghanistan où ont été mis en évidence des gisements d'émeraude exploités à cette époque. Durant cette période, les routes commerciales de longue distance se développaient et une partie de la route de la soie empruntait les aires septentrionales du Pakistan et de l'Afghanistan.

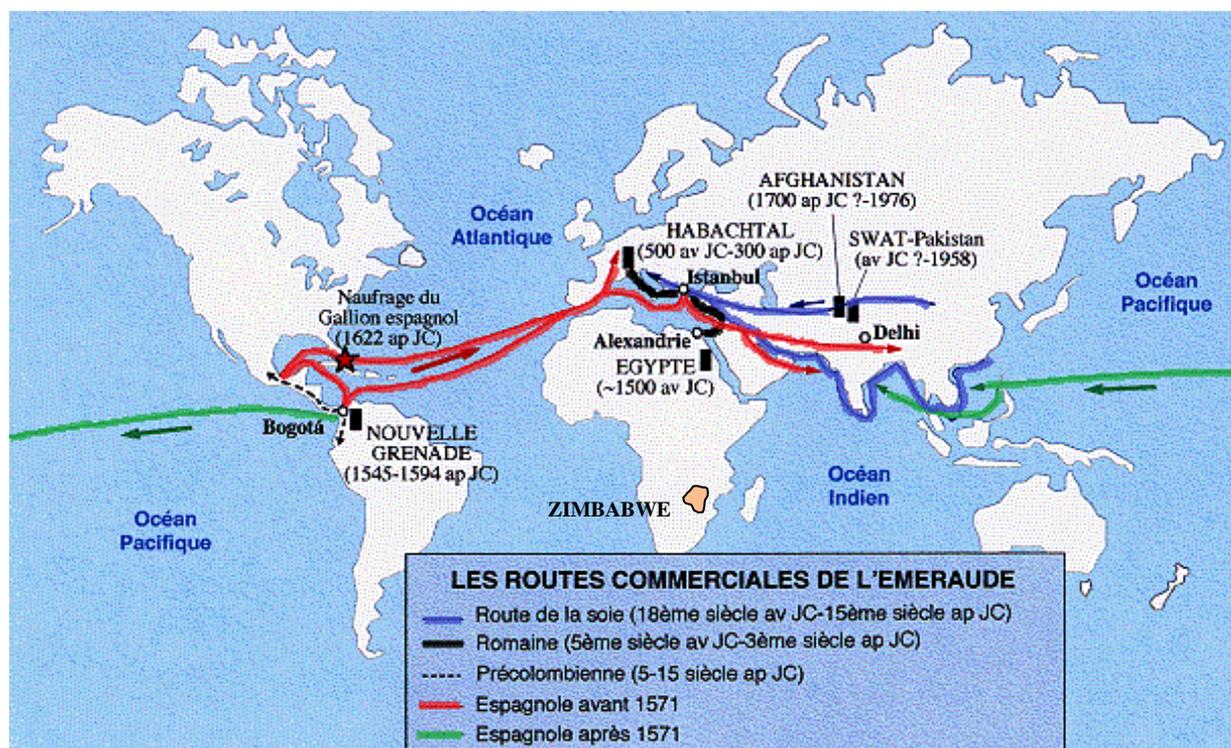
Au XVI^{ème} siècle, les espagnols découvrent en Amérique du Sud de nouveaux gisements, principalement en Nouvelle Grenade*. Les émeraudes colombiennes, du fait de leurs qualités exceptionnelles, dominèrent les marchés d'Europe, du Moyen-Orient et de l'Inde. La mine de Chivor sera exploitée à partir de 1545 et celle de Muzo, en 1594.

Des mines d'émeraudes ont été découvertes au XX^e siècle, notamment une série de gisements au Zimbabwe (Afrique australe) qui présentent des cristaux de très haute qualité.

**Les espagnols arrivent en 1499 et lancent une colonisation aboutissant à la création du Royaume de Nouvelle-Grenade puis de la vice-royauté de Nouvelle-Grenade comprenant les actuels pays de Colombie, Venezuela, Équateur, le nord-ouest du Brésil et le Panama), avec sa capitale à Bogotá.*

Document 8 : routes commerciales historiques des émeraudes

Les cinq routes définies suivant les données historiques sont reportées. Les gisements exploités depuis l'Antiquité jusqu'au XVIII^{ème} siècle sont représentés par des rectangles noirs et leurs dates supposées d'exploitation sont reportées entre parenthèses.



D'après <http://www.cprg.cnrs-nancy.fr/Science/Emeraudes/AFG2.html>

Questions

Question 1 : donner, en la justifiant, la formule chimique de l'émeraude.

Question 2 : modifier le document 3 (à rendre avec la copie) en y plaçant les éléments faisant du béryl une émeraude.

Question 3 : justifier l'utilisation de la méthode décrite pour « tracer » les émeraudes.

Question 4 : retrouver le lieu, la date approximative d'extraction et reconstituer le voyage des émeraudes historiques présentées dans le document 5.