

Olympiades de géosciences 2019

Mayotte – Métropole – La Réunion

Épreuve écrite du 28 mars 2019

Durée de l'épreuve : 4 h

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 n'est pas autorisée.

Ce sujet comporte 17 pages avec un document à rendre avec sa copie

Exercice 1 : L'œil de Richat

Au fond du désert du Sahara occidental, en Mauritanie, une structure circulaire spectaculaire peut être vue depuis l'espace. Elle est appelée « l'œil d'Afrique » ou la structure de Richat (*Guelb er Richat*). Théodore Monod est le tout premier scientifique à visiter cette étrange formation en 1934 mais ce n'est qu'au milieu des années 1960, lorsque la station spatiale internationale Gemini l'a observée de son orbite, que celle-ci attire l'attention... au point de devenir un repère pour les astronautes ! Elle mesure 50 km de diamètre et couvre une superficie totale de 1 030 700 km².

Document 1 - Vue de la structure de Richat depuis l'espace et situation en Mauritanie.



Image Google Earth

Objectif général : on cherche à comprendre l'origine de cette structure si spectaculaire.

Les théories les plus fantaisistes circulent sur l'origine de cette structure telles qu'une piste d'atterrissage pour OVNI, des inscriptions en creux réalisées par des extraterrestres ou encore des structures générées par des vents tourbillonnants.

Les géologues ont proposé d'autres hypothèses un peu moins farfelues. Il pourrait s'agir :

- d'un cratère d'impact météoritique ;
- d'une caldeira, dépression circulaire issue de l'effondrement d'une chambre magmatique après sa vidange.

Question 1

À partir des documents 2 à 4, identifier les arguments susceptibles de valider l'une ou l'autre de ces 2 hypothèses.

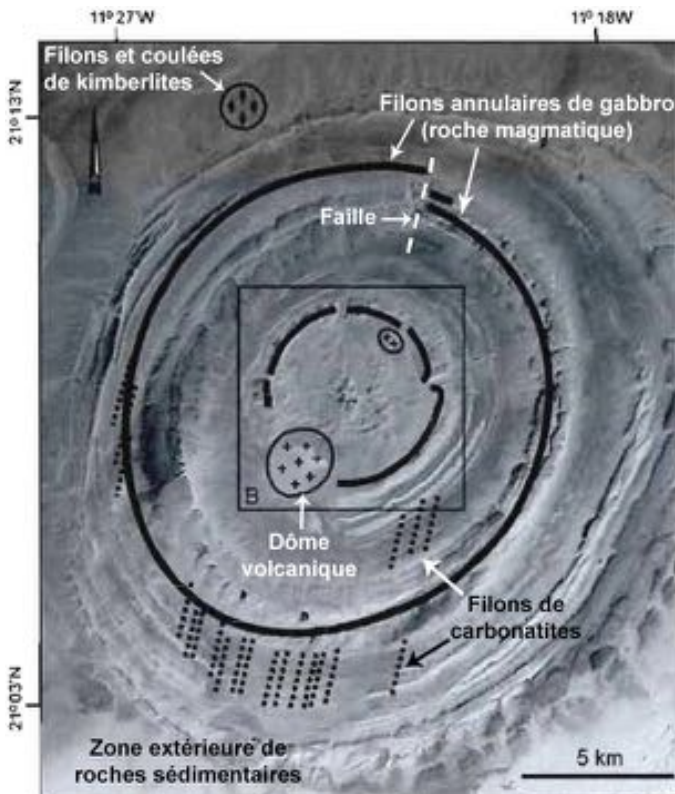
Question 2

Exploiter les documents 1 à 5 pour reconstituer l'histoire de l'Œil de Richat : choisir parmi les deux propositions sur la feuille réponse celle qui correspond à l'hypothèse retenue, la joindre à votre copie et établir, en la justifiant, la chronologie des principaux événements géologiques qui ont conduit à la structure actuelle.

Document 2 - Caractéristiques de l'Œil de Richat

L'Œil de Richat mesure 50 km de diamètre et a un dénivelé (différence d'altitude) de 30 à 40 mètres.

a- Caractéristiques géologiques de la structure de Guelber Richat superposée sur une image satellite.



D'après Matton et Jébrak (2008)

Roches rencontrées dans la zone extérieure :

- roches sédimentaires datées entre - 700 et - 450 millions d'années (Ma) ;
- roches magmatiques sous forme de filons, notamment de carbonatites (roches riches en carbonates) et de kimberlites (roches issues du refroidissement d'un magma très riche en fluides, H₂O et CO₂, ce qui entraîne une mise en place explosive). Ces filons, datés à - 99 Ma ± 5, mesurent en moyenne 300 m de long et quelques mètres d'épaisseur.

Roches rencontrées au centre de la structure :

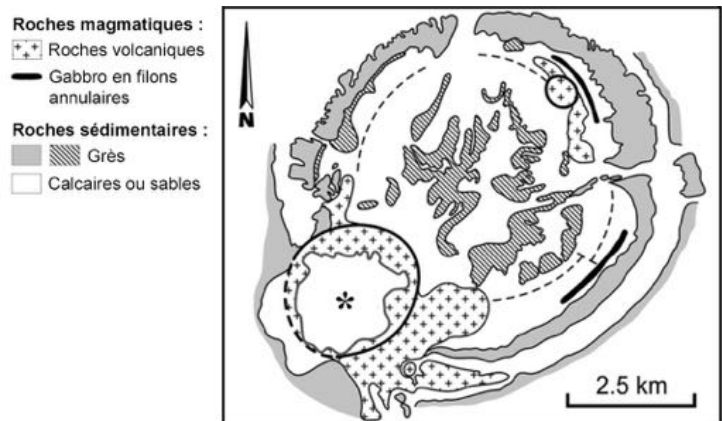
- brèches hydrothermales, roches issues de l'altération d'autres roches, liées ici à de la circulation de fluides (H₂O,...) chauds.
- roches magmatiques sous forme de dômes volcaniques contenant des quartz non choqués.

b- Image satellite de la partie centrale de l'Œil de Richat correspondant à l'encadré B.



Image Google Earth

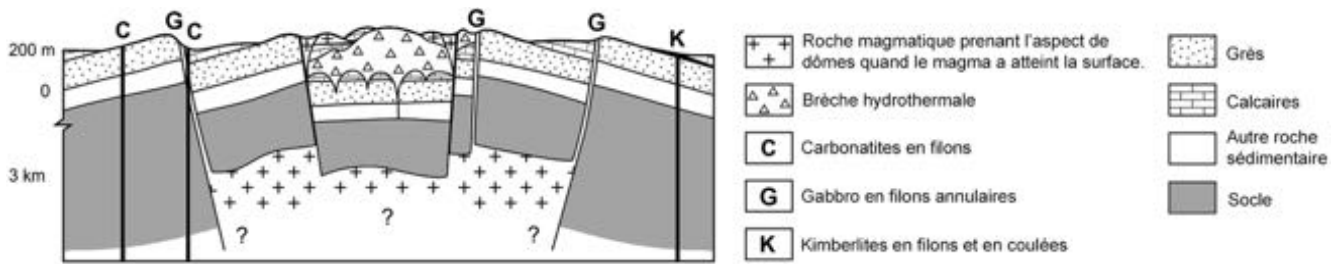
c- Caractéristiques géologiques du centre de l'Œil de Richat correspondant à l'encadré B.



The "eye of Africa" (Richat Dôme, Mauritania) : an isolated Cretaceous alkaline-hydrothermal complex. Matton & Jébrak.

Les crêtes circulaires bordant le centre de la structure de Richat sont constituées de grès. La zone encerclée (*) comprend un complexe de roches sédimentaires fissurées (dont des calcaires) et de roches volcaniques altérées qui sont datées de - 98,2 Ma ± 2,6.

Document 2d - Coupe de la structure de Guelb er Richat.



Le socle, antérieur à - 700 Ma, est constitué d'une ancienne lithosphère continentale très rigide. L'ensemble des roches magmatiques est daté aux alentours de - 99 Ma.

D'après Matton et Jébrak (2008)

Document 3 - Cratère d'impact météoritique.

La taille des cratères d'impact météoritique, variable, est habituellement comprise entre 2 et 200 km de diamètre.

Le cratère Ries, situé en Allemagne, dont la structure a été bien étudiée, est ici exploité en exemple.

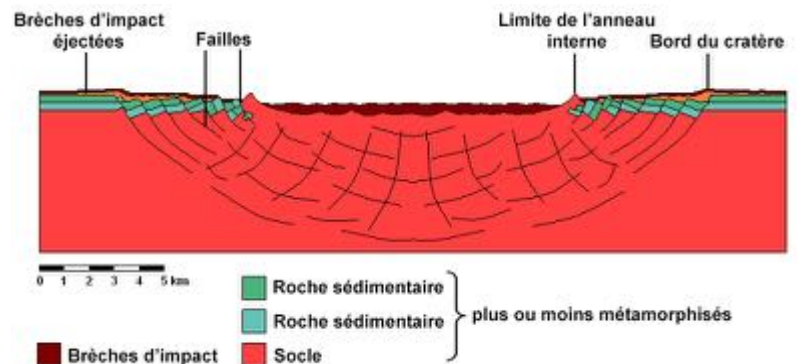
a- Image satellite du cratère Ries.

Relief : environ 50 mètres de dénivelé.



M. Gottwald - German Aerospace Center.

b- Coupe géologique simplifiée du cratère Ries.



Wikipedia

Roches rencontrées en lien avec l'impact de la météorite :

- brèches d'impact : roches constituées de fragments anguleux unis par un ciment. Elles présentent des quartz choqués qui témoignent des conditions de haute pression et de haute température causées par l'impact. Les brèches d'impact se rencontrent dans les zones centrale et périphérique du cratère.
- tectites : fragments de roches fondues, expulsés en dehors du cratère lors de l'impact (tectites non figurées).
- roches métamorphiques : roches préexistantes qui ont été transformées, à l'état solide, suite aux variations de pression et de température ici causées par l'impact.

Document 4 - Caldeira d'un volcan

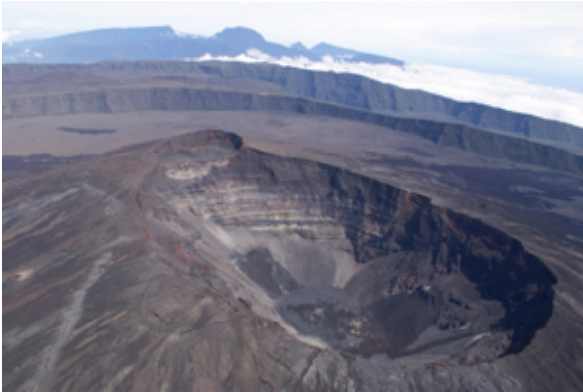
La taille des caldeiras est variable, de 2 et 80 km de diamètre.

4a- Vue aérienne d'une caldeira

Exemple du Piton de la Fournaise sur l'île de la Réunion (France).

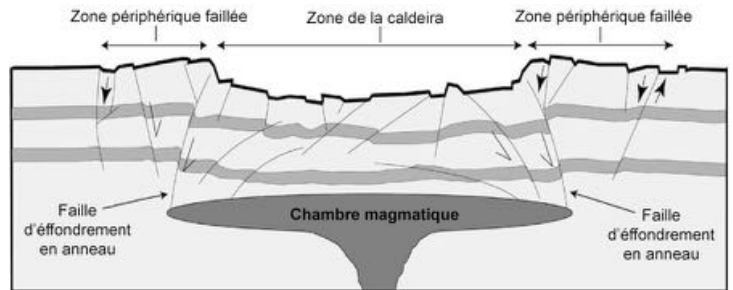
Une caldeira est une dépression circulaire ou elliptique, située au cœur de certains grands édifices volcaniques, qui résulte d'une éruption ayant vidé la chambre magmatique sous-jacente, ce qui a provoqué son effondrement.

Le volcan actuel s'est édifié en plusieurs phases, créant plusieurs caldeiras imbriquées. Le dernier effondrement, de 9 km de large et 13 de longueur environ, fait 400 m de profondeur. Avant érosion, sa profondeur était encore plus importante



Observatoire volcanologique du Piton de la Fournaise - Institut de physique du globe de Paris.

4b- Coupe géologique simplifiée d'une caldeira



The Great Eucrite intrusion of Ardnamurchan, Scotland: Reevaluating the ring-dike concept. O'Driscoll, Troll, Reavy & Turner.

Roches rencontrées côté extérieur :

- roches sédimentaires ;
- roches magmatiques volcaniques en coulées ou projetées.

Roches rencontrées au centre de la structure :

- roches sédimentaires ;
- roches magmatiques en filons, dans les failles, ou en coulées, dans les petits cratères situés en surface.

Document 5 – Aide à la reconstitution de l'histoire géologique de l'œil de Richat

On cherche maintenant à expliquer **les étapes de la formation de cette structure** : le bombement global de cette structure, les décrochements verticaux des différents compartiments centraux et la mise en place des filons. La **datation relative** permettra d'ordonner, les uns par rapport aux autres, des structures (roches, failles,...) et des événements géologiques variés (**sédimentation** c'est-à-dire dépôt et formation de roches sédimentaires au fond d'un bassin marin, **intrusion** d'un filon magmatique dans une autre formation rocheuse en profondeur, apparition d'une **faille** qui casse une roche déjà présente, etc...).

Les principes de chronologie relative sont les suivants :

- 1- **une structure qui en recoupe une autre est plus jeune que celle qu'elle recoupe**, par exemple, si une faille ou un filon recoupe une autre roche, alors elle ou il s'est formé après cette roche.
- 2- **les fragments de roche inclus dans une autre roche sont plus anciens que leur contenant** ; par exemple, si des galets sont inclus dans un grès, alors ils proviennent d'une roche qui s'est formée avant ce grès.
- 3 - **une couche de roches sédimentaires (ou une coulée ou une projection volcanique) est plus récente que celle qu'elle recouvre et est plus ancienne que celle qui la recouvre.**

NB : Répondre à la question 2 sur la feuille réponse jointe en fin de sujet, à laisser avec votre copie

Exercice 2 : Les belles pierres de Florence

La ville de Florence, en Toscane, est célèbre pour sa richesse artistique exceptionnelle. Berceau de la Renaissance italienne, elle abrite de nombreux palais, églises et musées.

Un visiteur remarque rapidement que la majorité des monuments anciens de la ville emploient deux types de pierres de construction : des blocs de couleur ocre-brun, souvent assez grossièrement taillés, et des pierres ornementales de couleur gris-bleu, souvent gravées et sculptées.

La roche brune est désignée localement sous le nom de **pietra forte** (littéralement « pierre solide ») et est utilisée au moins depuis l'époque Romaine. Elle domine dans les édifices du Moyen-âge et est employée comme matériau de construction jusqu'à nos jours.

La roche grise est désignée sous le nom de **pietra serena** (littéralement « pierre tranquille » ou « pierre couleur de ciel ») et est utilisée au moins depuis l'époque étrusque. Cependant, ce sont principalement les architectes et sculpteurs de la Renaissance, tels que Brunelleschi, Michelangelo et Vasari, qui l'ont massivement employée.

Quels peuvent-être les intérêts architecturaux et l'origine géologique de ces roches ?

Question 1 :

D'après l'étude des documents 1 à 6, expliquer les choix architecturaux de l'utilisation des deux types de roches.

Question 2 :

Le document 8 présente un modèle de formation de dépôts sédimentaires particuliers : les turbidites. À partir des documents 4, 5, 7, 8 et 9, argumenter de la pertinence de ce modèle pour expliquer la formation des *pietra* de Florence.

Document 1 - Quelques exemples d'utilisation de la *pietra serena* à Florence

La pierre ornementale grise employée ici dans les colonnes, corniches, ogives, panneaux sculptés, etc. est la *pietra serena*.

Document 1a - La chapelle des Pazzi



Document 1b - L'annonciation de Donatello



© Mattana — Travail personnel

La *pietra serena* a été finement sculptée et dorée par l'artiste de la Renaissance Donatello.

Document 2 - Quelques exemples d'utilisation de la *pietra forte* à Florence

La pierre de construction ocre-brun employée ici dans les murs, pavage des sols, etc. est la *pietra forte*. Elle est rarement utilisée en sculpture en raison de sa grande dureté qui la rend malaisée à travailler.

Document 2a - Le Palazzo Vecchio Document 2b - Le Palazzo Pitti



©JoJan



©Jean-Christophe BENOIST

© Miguel Hermoso Cuesta - Travail personnel

Document 3 - Analyses pétrologiques de la *pietra serena* et de la *pietra forte*

La *pietra serena* et la *pietra forte* sont des grès, c'est-à-dire des roches sédimentaires issues principalement de l'agrégation et de la cimentation de grains de sable divers. La formation de la *pietra serena* date approximativement de -30 à -20 Ma (période Oligocène et début du Miocène). La *pietra forte* est un peu plus ancienne, datée de -100 à -66 Ma (Crétacé supérieur).

La résistance mécanique et chimique de la *pietra serena* comme celle de la *pietra forte* dépendent de la composition et de la structure minéralogique (proportions d'argile et de calcaire plus ou moins importantes, grains de sable plus ou moins bien cimentés...). Certaines strates sont de meilleure qualité pour l'architecture et la sculpture. Elles étaient recherchées et exploitées spécifiquement à la Renaissance.

Document 3a - Composition minéralogique moyenne des deux grès

	Grains de sable (au sens large) de diverses natures			Ciment liant les grains entre eux	
	Fragments de roches préexistantes diverses	Quartz	Feldspath	Calcite	Minéraux argileux
<i>Pietra serena</i>	+/-	++	+	+	++
<i>Pietra forte</i>	++	+	+/-	++	+

Légende : +/- présence rare ; + présence en proportion modérée (<25%) ; ++ présence en abondance (>25%).

Document 3b - Caractéristiques physico-mécaniques moyennes des deux grès

Résistance à la compression	
<i>Pietra serena</i>	100 MPa
<i>Pietra forte</i>	156 MPa

La résistance à la compression traduit la pression maximale que peut supporter une roche sans casser. À titre de comparaison, certaines roches peu résistantes (ex : argiles) ont une résistance d'une dizaine de MPa seulement, et ne peuvent pas supporter le poids d'un édifice. D'autres roches (ex : granites et basaltes non-fissurés) résistent au contraire à plusieurs centaines de MPa.

D'après M. Coli et al., Pietra Serena Mining in Fiesole. Petrographic Observations, Studies in Conservation, 1974

Document 4 - Ancienne carrière de *pietra serena* sur le Monte Ceceri

Document 4a- Les strates de *pietra serena* sont ici inclinées de 15 à 20° vers le Nord. Une épaisse couche de grès particulièrement intéressante a été exploitée en laissant quelques piliers pour éviter l'effondrement des chambres souterraines. Les strates formant le toit (couche supérieure) de la carrière, trop riches en argile, donc moins résistantes, n'ont pas été exploitées. Des blocs menacent d'ailleurs aujourd'hui de s'en détacher et de tomber sur les visiteurs imprudents qui franchiraient les barrières de sécurité.



Document 4b- Affleurement de *pietra serena*

Les couches très riches en argiles sont plus sensibles à l'érosion. Seules les couches gréseuses étaient utilisées en architecture et en sculpture à la Renaissance.

Couche argileuse

Couche gréseuse riche en grains de sable grossiers



Photos : Matthias Schultz, 2015

Document 5 - Affleurement de *pietra forte* dans une carrière actuelle près de Florence

Cet affleurement montre également une alternance de strates de grès assez épaisses et de strates fines plus riches en argiles. Les strates de grès résistent davantage à l'érosion et apparaissent donc en relief. Seules ces couches de grès sont utilisées en architecture et en sculpture.

Couche argileuse

Couche gréseuse



Photo : <http://www.italbuildsrl.it>, 2018

Document 6 - Altération des deux grès avec le temps



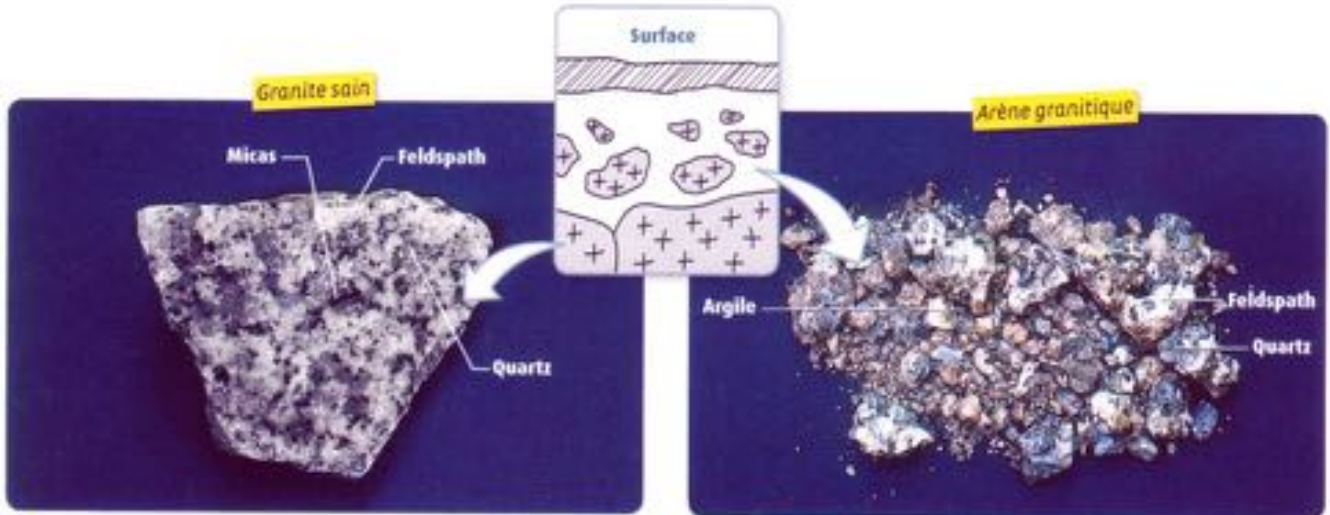
Ce lion sculpté devant le musée Marini est en *pietra serena*. On remarque que la façade du musée, derrière le lion, est très peu dégradée. Elle est construite en *pietra forte* de couleur brune.

Photo : Matthias Schultz, 2015.

Document 7 - Origine de certaines particules retrouvées dans les dépôts sédimentaires

L'altération et l'érosion des roches continentales produisent des particules qui pourront être transportées par les cours d'eau, puis être déposées dans des bassins sédimentaires plus ou moins proches (lacs, océans...).

Ainsi, par exemple, l'altération des granites, roches typiques de la croûte continentale, produit des fragments rocheux de diverses tailles et un sable argileux appelé « arène granitique ».



		Granite sain	Arène granitique
Quelques minéraux présents	Quartz	25 %	27 %
	Feldspath	54,5 %	10,1 %
	Argile	0 %	44,4 %

D'après manuel de SVT 2^{nde} Belin 2010

Document 8 - Des dépôts sédimentaires particuliers, les turbidites

Document 8a - Turbidite datant du Miocène à Gorgoglione (sud de l'Italie).

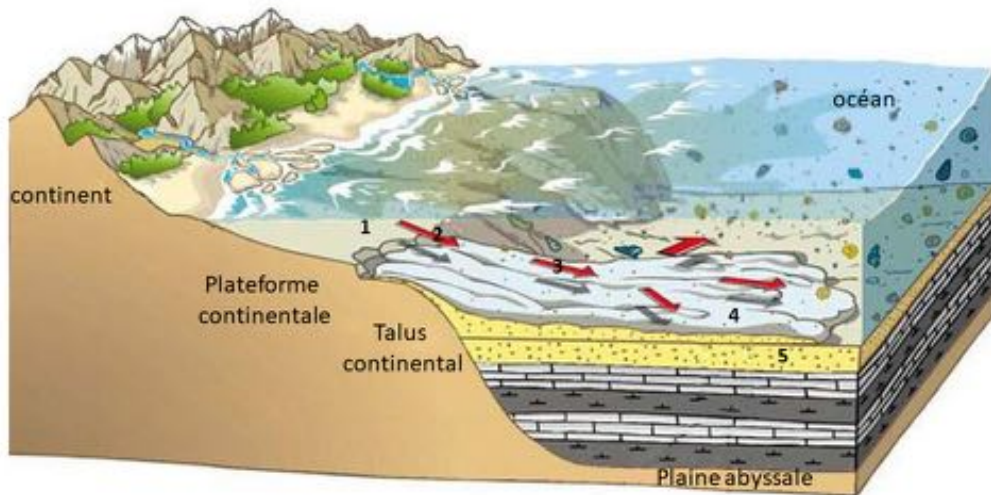
On distingue l'alternance de niveaux de grès en relief, et d'argiles en retrait.



D'après Wikipédia

Document 8b - Mise en place des turbidites (modélisation)

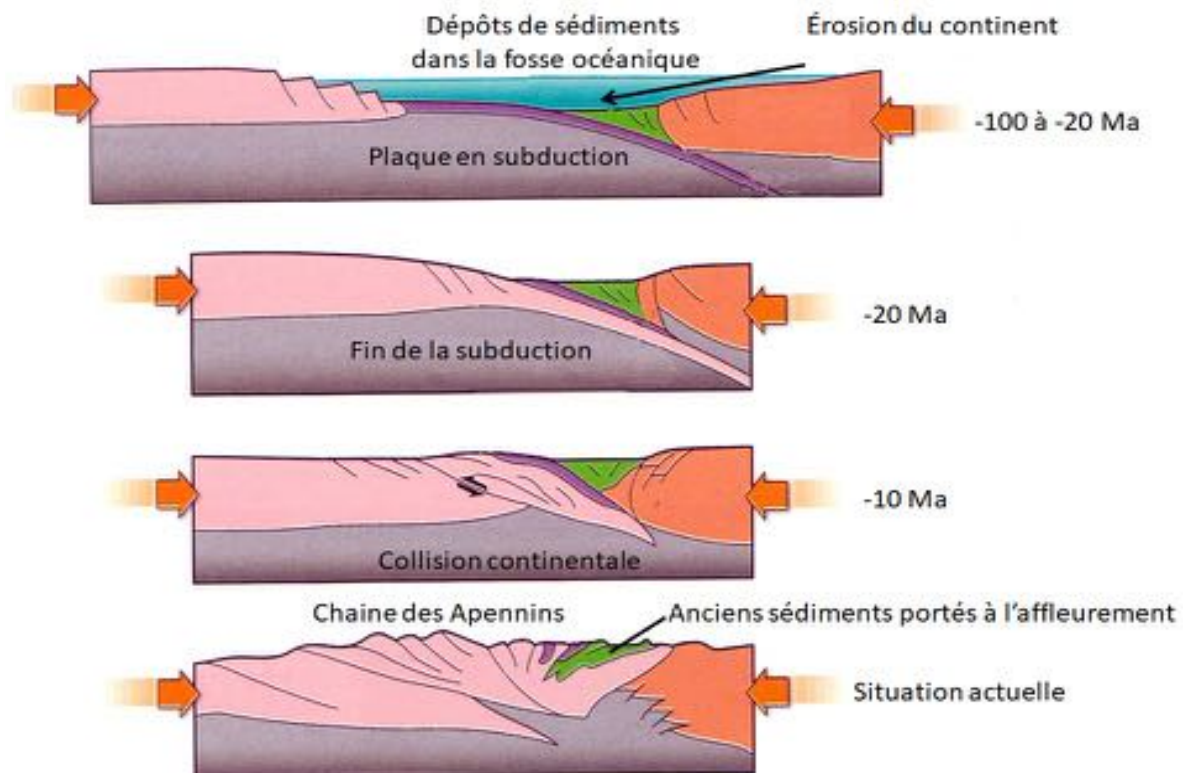
Les turbidites désignent des ensembles de roches sédimentaires mises en place à la suite d'un écoulement de sédiments le long d'une pente sous-marine.



L'écoulement débute par la déstabilisation de sédiments meubles issus de l'érosion continentale (argiles, silts, sables, graviers...) accumulés sur le plateau continental (1) entraînant un glissement de terrain sous-marin (2).

Entraînés par la gravité le long du talus continental, ces sédiments se mélangent à l'eau de mer et glissent jusqu'aux grandes profondeurs (plaine abyssale ou fosse océanique par exemple) (3). Une sédimentation s'ensuit par dépôt des particules solides entraînées (graviers, sables, argiles...) sur la plaine abyssale (4). L'accumulation des coulées successives exerçant une pression croissante, les grains de sable sont compactés et cimentés, et les sédiments meubles se transforment peu à peu en roches sédimentaires (5). Plusieurs coulées se succèdent dans le temps, créant des alternances de strates de granulométrie de plus en plus fine (graviers, sables puis argiles) créant des structures répétitives

Document 9 - Reconstitution paléogéographique de la Toscane à différentes époques



D'après Manuel de SVT Terminale S Belin 2012

Exercice 3 : LES PLUS ANCIENNES TRACES DE VIE SUR TERRE ?

En 1993, John William Schopf, professeur de paléobiologie de l'Université de Californie publie un article retentissant. Il annonce la découverte des plus anciennes traces de vie dans des roches datées de - 3,46 Ga, du craton de Pilbara, situé à l'ouest de l'Australie. À partir de 2002, de nouvelles découvertes ébranlent la communauté scientifique, remettant en cause l'origine biologique de ces traces. Dans une thèse écrite en 2015, Julien Alléon, chercheur au département de « Earth Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology », revient sur la vive controverse qui alimente la communauté scientifique depuis les années 2000, au sujet des roches du craton de Pilbara (Australie occidentale) :

« Identifier l'origine biologique ou non biologique (abiotique) de la matière carbonée des roches anciennes est délicat, notamment à cause des conditions de température et de pression que ces roches ont subi au cours de leur histoire géologique, ayant inévitablement transformé les molécules organiques initiales. »

Les microstructures carbonées observées sont-elles ou non des traces des premières formes de vie ?

À partir de cet exemple, il s'agit ici de montrer que le savoir scientifique résulte d'une longue construction collective, jalonnée d'échanges d'arguments et de controverses parfois vives.

Question 1.

Par l'exploitation et la mise en relation des informations extraites des documents 1 à 7, présenter les arguments pour ou contre l'origine biologique des traces présentes dans les roches du craton de Pilbara.

La réponse prendra la forme d'un tableau à double entrée.

Question 2.

À partir de l'exploitation et de la mise en relation des documents 8 et 9, déterminer les informations supplémentaires qu'apportent ces nouvelles techniques et montrer en quoi ces données permettent d'avancer dans la résolution du problème.

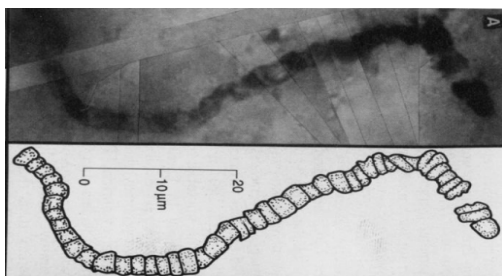
Question 3.

En reprenant l'ensemble des étapes de cette controverse, montrer qu'elle illustre une phrase de Gaston Bachelard, philosophe français : « *L'esprit [l'avancée] scientifique se constitue sur un ensemble d'erreurs rectifiées* ⁽³⁾. »

⁽³⁾ Source : Gaston Bachelard, *La Formation de l'esprit scientifique*, 1938, rééd. PUF, 2007.

PREMIERE PARTIE : LES FAITS DE LA DISCORDE (documents 1 à 7)

Document 1 - Microstructure carbonée retrouvée dans une roche siliceuse du craton de Pilbara et dessin interprétatif



Les filaments semblables à celui-ci sont interprétés comme des fossiles de cyanobactéries par Schopf et Packer dès 1987.

Source : in Apex chert: new evidence of the antiquity of life. Schopf, J. W. (1993) Science, Vol. 260, pp 640-646

Document 2 - Photo d'une spiruline, cyanobactérie actuelle (être vivant procaryote) observée au microscope optique

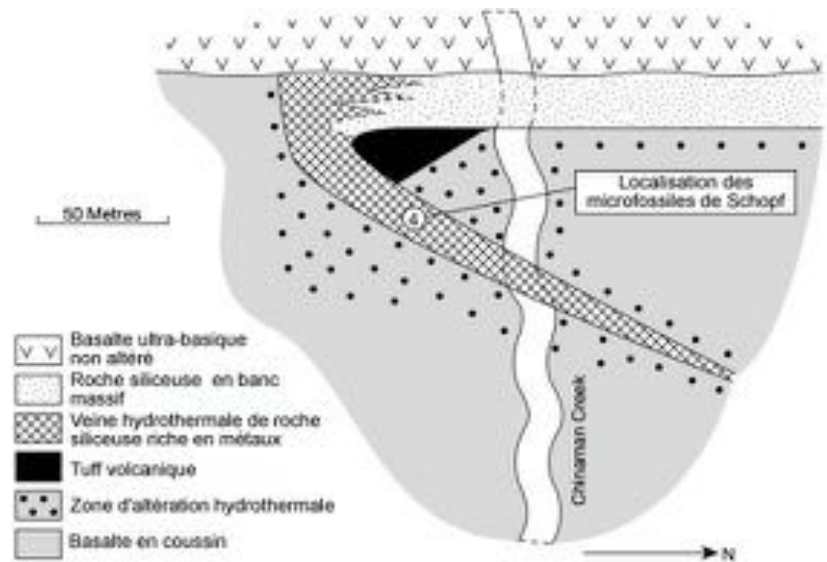


Source : photo OM. LDS66

Document 3 - Carte géologique situant la roche étudiée par Schopf.

Le point 4 localise la roche du document 1 (zone à microfossiles de Schopf). Cette zone est une veine hydrothermale de roches siliceuses riches en métaux (Fe, Ni, Pb...) en lien avec l'altération hydrothermale des basaltes environnants.

L'altération hydrothermale est une forme de métamorphisme (transformation des minéraux des roches à l'état solide) dans laquelle les minéraux sont transformés par des circulations de fluides (vapeur d'eau ± riche en CO₂ dissout) à température élevée.



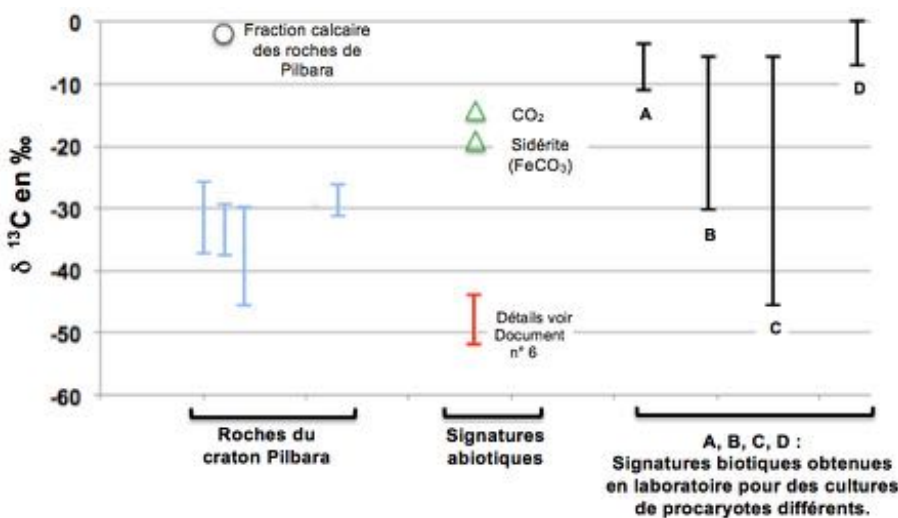
Source : d'après Martin D. Brasier et al. — Questioning the evidence for Earth's oldest fossils — Nature, Vol.416, 03.2002, pp76-81

Document 4 - Matière organique et signature isotopique du carbone

Il existe à l'état naturel trois isotopes du carbone se distinguant par leur nombre de neutrons : ¹²C, ¹³C, ¹⁴C. Les isotopes ¹²C (98,9%) et ¹³C (1,1%) sont stables. Ces différents isotopes du carbone ont les mêmes propriétés chimiques mais, du fait de leur différence de masse atomique, la présence de l'un ou de l'autre dans un substrat influe sur la vitesse des réactions chimiques (effet isotopique cinétique). En particulier, les réactions biologiques qu'opèrent les êtres vivants privilégient l'isotope léger. De ce fait, les molécules organiques synthétisées par les êtres vivants sont nettement enrichies en ¹²C et un enrichissement dans une roche témoigne de l'origine biologique de la matière carbonée contenue.

Le δ¹³C traduit l'abondance relative des deux isotopes ¹²C et ¹³C dans un échantillon. On parle de signature isotopique. Ainsi un δ¹³C négatif d'un échantillon traduit un appauvrissement en ¹³C. Les signatures isotopiques sont qualifiées de signatures abiotiques dans le cas de synthèse hydrothermale ou de signatures biotiques dans le cas de synthèse par un être vivant.

Document 5 - Comparaison de signatures isotopiques du δ¹³C

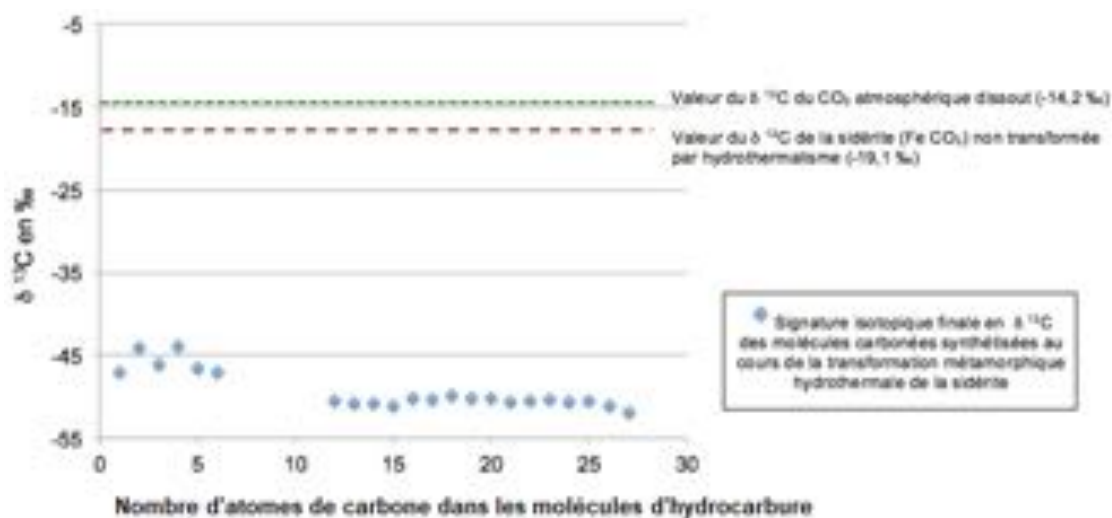


Des mesures de δ¹³C ont été réalisées sur des molécules carbonées abiotiques et synthétisées sous conditions hydrothermales (barre rouge). Le document permet de les comparer avec celles de matières carbonées identifiées dans des roches de -3,46 Ga du craton Pilbara (barres bleues) et celles produites par des cultures de procaryotes actuels (barres noires).

Source : d'après T.M. McCollom, J.S. Seewald, — Earth and Planetary Science Letters 243 (2006) pp.74–84, fig.6

Document 6 - Signatures isotopiques en $\delta^{13}\text{C}$ de molécules carbonées synthétisées sous conditions hydrothermales (détail de la barre rouge du document 6)

Selon les travaux de Thomas Mc Collom (2006), des composés organiques à longue chaîne carbonée peuvent être obtenus sous des températures de 300 °C par réaction chimique abiotique entre la vapeur d'eau et des roches carbonatées chaude telles que la sidérite. L'hydrothermalisme conduit également à un dépôt de silice.



Source :
d'après
T.M.
McCollom,
J.S.
Seewald, —
Earth and
Planetary
Science
Letters 243
(2006)

Document 7 – photographie de microfilaments abiotes silico-carbonatés

Ces microstructures ont été obtenues en 2002 en laboratoire, dans des conditions de type hydrothermal.

Source : J. M. García-Ruiz, et al. , *Self-assembled silica-carbonate structures and detection of ancient microfossils.* — *Science*, Vol. 302, Nov.2003



DEUXIEME PARTIE : PEUT-ON LEVER L'AMBIGUÏTE ? (documents 8 et 9)

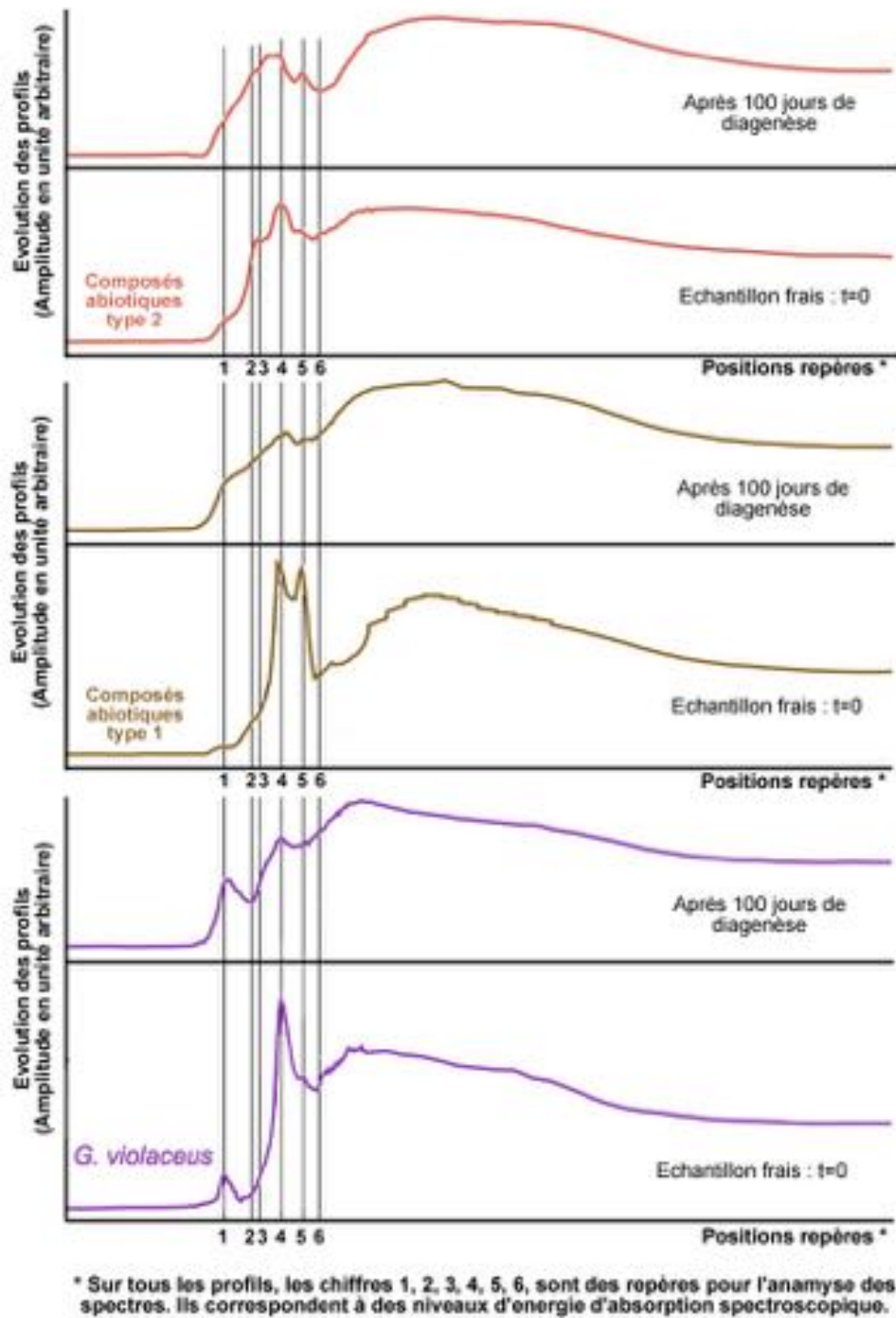
Depuis les années 2010, de nouvelles techniques d'analyse et de nouvelles approches expérimentales dont la diagénèse⁽²⁾ expérimentale ont été développées.

⁽²⁾ *Diagénèse* : désigne l'ensemble des processus physico-chimiques et biochimiques par lesquels les sédiments sont transformés en roches sédimentaires. Ces transformations ont généralement lieu à faible profondeur, donc dans des conditions de pression et température peu élevées.

Document 8 - Les approches complémentaires de l'analyse spectroscopique de la matière carbonée et des expériences de diagénèse simulée en laboratoire.

Document 8a - La diagénèse expérimentale permet de placer des échantillons dans des conditions de pression et de température identiques au contexte de la diagénèse naturelle. Par spectroscopie, on établit la signature moléculaire de la matière carbonée. Il est ainsi possible de comparer des matières carbonées d'origine biotique et abiotique. Des composés organiques biologiques (une cyanobactérie actuelle, *Gloeobacter violaceus*) et des composés carbonés de deux types (type 1 et type 2) ont été soumis à de telles expériences.

Document 8b - Profils spectroscopiques des échantillons soumis à expérimentation



Remarque : les mesures spectroscopiques réalisées à des temps variés de diagenèse expérimentale, montrent une évolution progressive des profils mais les signatures moléculaires restent spécifiques.

Source : d'après Julien Alléon, *Impact des processus de fossilisation sur le devenir des signatures moléculaires de micro-organismes* — Thèse de doctorat, 2015, Fig. 4.2.7, p 171

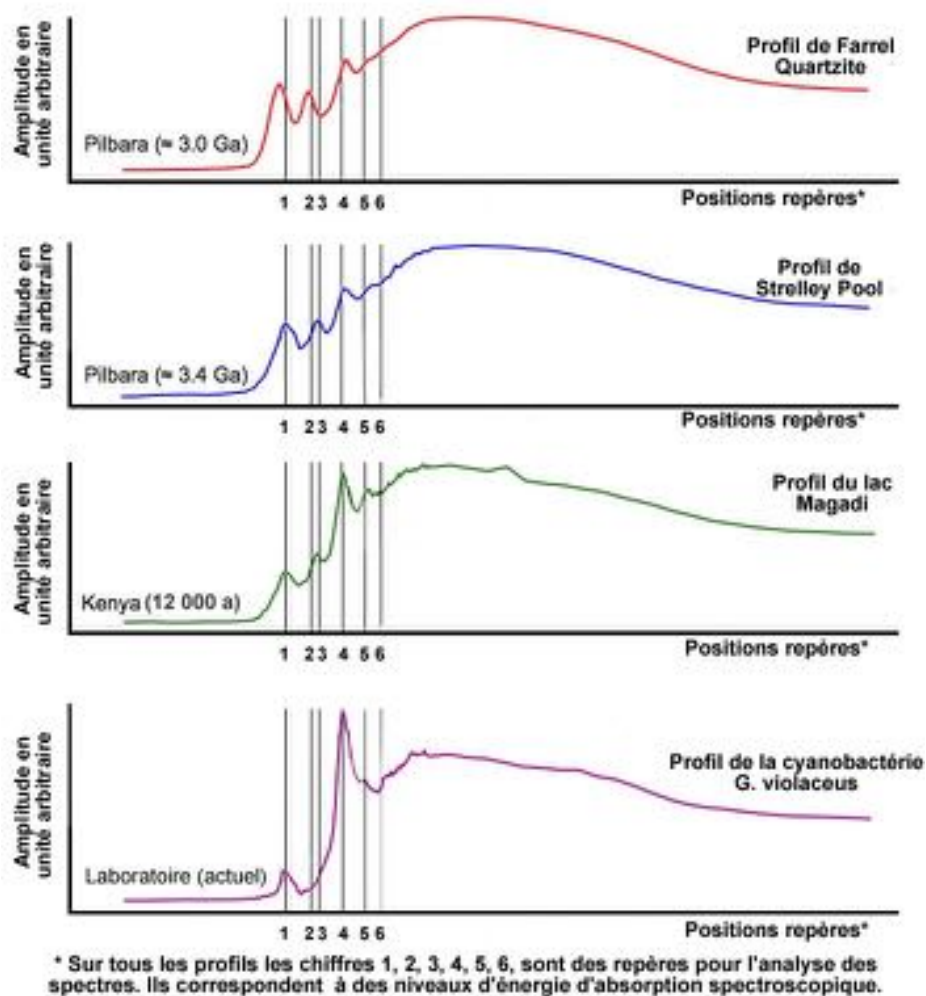
Document 9 - Profils spectroscopiques de la matière carbonée des échantillons de roches siliceuses et d'une culture fraîche de cyanobactéries actuelles *Gloeobacter violaceus*.

Deux échantillons de roches siliceuses du craton Pilbara (Strelley Pool et Farrel Quartzite), de 3 Ga ou plus, ont été soumis à cette technique.

Strelley Pool (-3,4 Ga) est distant d'une trentaine de kilomètres du gisement dont a été extraite la microstructure carbonée du document 1. La mise en place de cette roche, siliceuse, s'est faite dans un environnement influencé par des circulations hydrothermales. On y trouve la présence de veines de quartz, riches en matière carbonée. L'origine de cette matière carbonée est discutée par les différentes équipes qui travaillent sur le sujet.

Deux autres échantillons servent de référence :

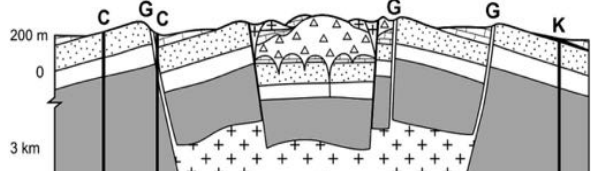

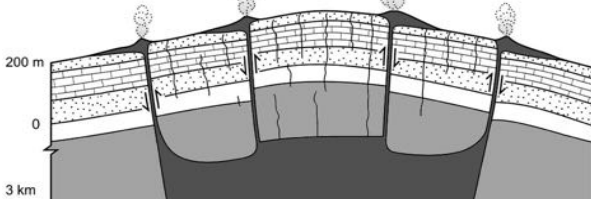
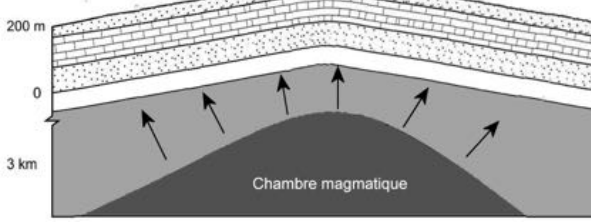
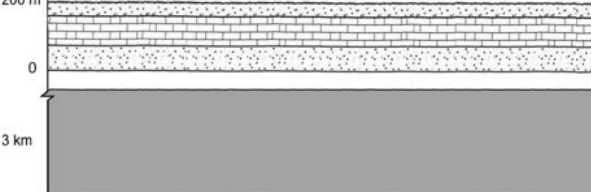
- une roche siliceuse du lac Magadi au Kenya âgée de 12 000 ans, dont on est certain que les structures carbonées proviennent de l'activité d'êtres vivants, dont des cyanobactéries ;
- une culture fraîche de cyanobactéries actuelles.



Pour les scientifiques le décalage de certains pics des roches de Pilbara, leur étalement par rapport aux positions repères, et leur atténuation, peuvent être liés aux transformations thermiques (jusqu'à 350 °C) subies par la roche au cours de sa formation.

Source : d'après Julien Alléon, *Impact des processus de fossilisation sur le devenir des signatures moléculaires de microorganismes* — Thèse de doctorat, 2015, Fig. 3.2.9, p

Document de l'exercice 1 à compléter et à rendre avec la copie si l'hypothèse d'une caldeira est retenue

Schémas du plus ancien (en bas) au plus récent (en haut) à légénder et titrer (les mouvements éventuels seront précisés par des flèches)	Argumentation de la chronologie en exploitant les données issues du terrain (document 2) à l'aide des principes de la chronologie relative	Frise chronologique des principaux évènements à établir en indiquant la succession des évènements
		 <p align="center">Actuel</p>
		
 <p align="center">Chambre magmatique</p>		
	<p>Les différentes roches sédimentaires <u>recouvrent</u> le socle daté d'avant - 700 Ma.</p>	<p>700 Ma Formation de roches sédimentaires sur le socle</p>

Document de l'exercice 1 à compléter et à rendre avec la copie si l'hypothèse du cratère d'impact est retenue

Schémas du plus ancien (en bas) au plus récent (en haut) à légénder et titrer (les mouvements éventuels seront précisés par des flèches)	Argumentation de la chronologie en exploitant les données issues du terrain (document 2) à l'aide des principes de la chronologie relative	Frise chronologique des principaux évènements à établir en indiquant la succession des évènements
	<p>Les différentes roches sédimentaires <u>recouvrent</u> le socle daté d'avant - 700 Ma.</p>	