

Olympiades de géosciences 2021

Mayotte - Métropole - Réunion

Épreuve écrite du 1^e avril 2021

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.

De la grêle en été...

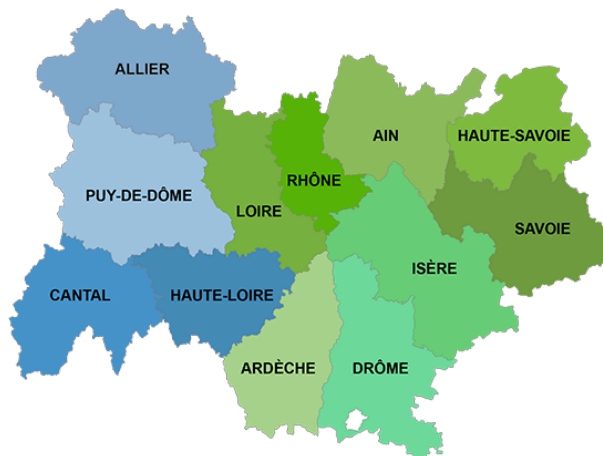
Le 15 juin 2019 la région Auvergne-Rhône-Alpes a été touchée par de violents orages qui ont provoqué de fortes pluies, des chutes de grêle et de puissantes rafales de vent à l'origine de nombreux dégâts. Sur le lyonnais et le bassin stéphanois, il est tombé l'équivalent de 3 semaines de précipitations en 3 heures. La grêle a ravagé les vignobles des coteaux du Rhône et de nombreux vergers. Certains grêlons avaient la taille d'une balle de tennis.



Ci-contre, état des vignes à Romans-sur-Isère (Drôme) après l'orage de grêle.

Source : Twitter

Localisation de la région Auvergne-Rhône-Alpes (à gauche ci-dessous) et de ses départements (à droite ci-dessous)

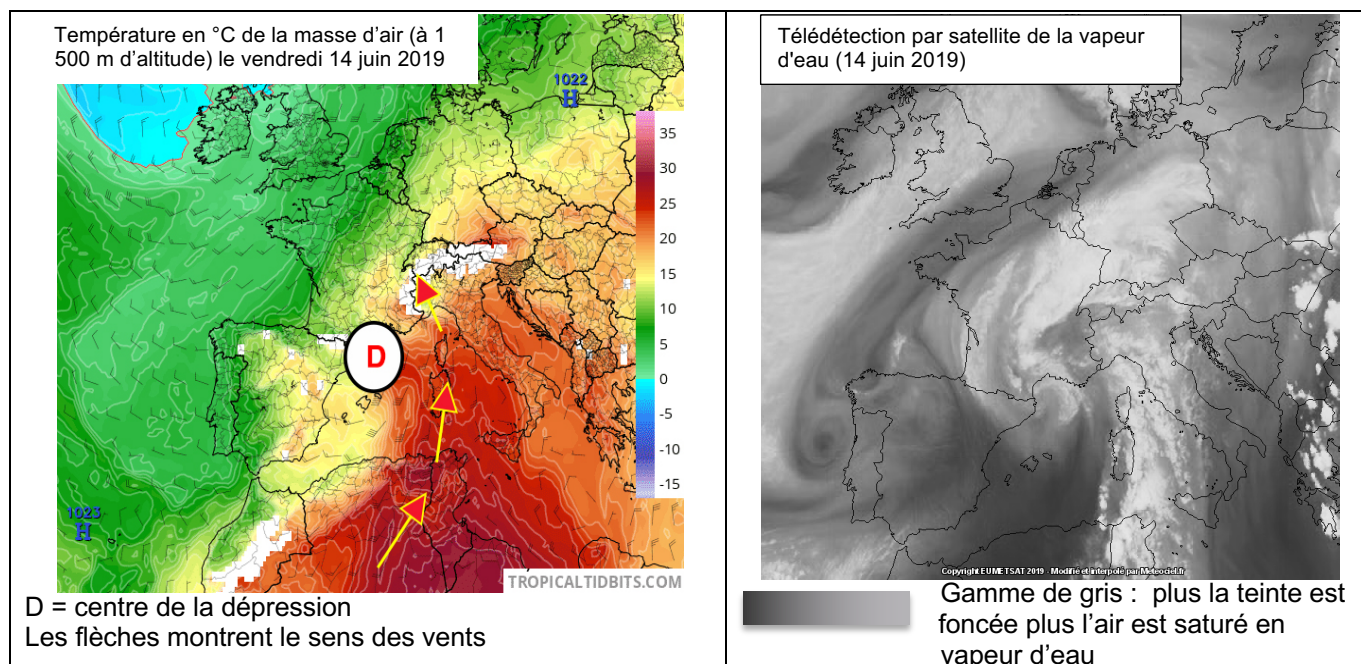


Les viticulteurs du secteur touché s'interrogent sur l'intérêt d'investir dans l'achat de canons anti-grêle pour protéger leurs vignobles. Ils vous consultent en tant qu'ingénieur météorologue et vous demandent de rédiger un rapport au sujet de l'événement du 15.06.19.

Dans votre rapport :

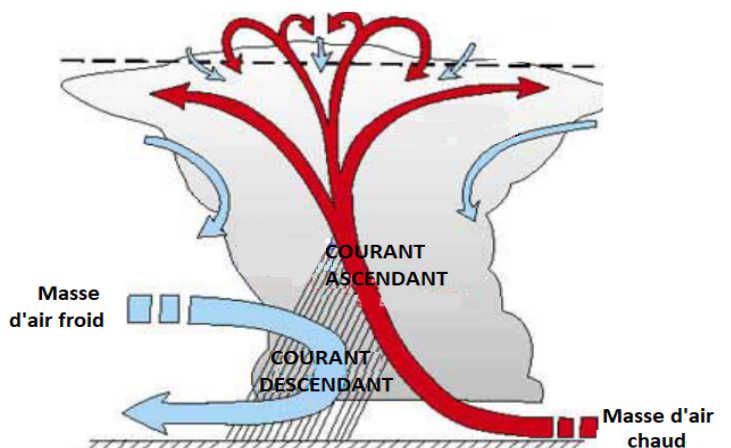
- expliquer les mécanismes à l'origine de la formation et de la chute de la grêle ainsi que l'ampleur des dégâts occasionnés ;
- discuter des différentes méthodes de protection et porter un avis sur le choix des canons anti-grêle.

Document 1 – Température de l'air et vapeur d'eau contenue dans l'air le 14 juin 2019



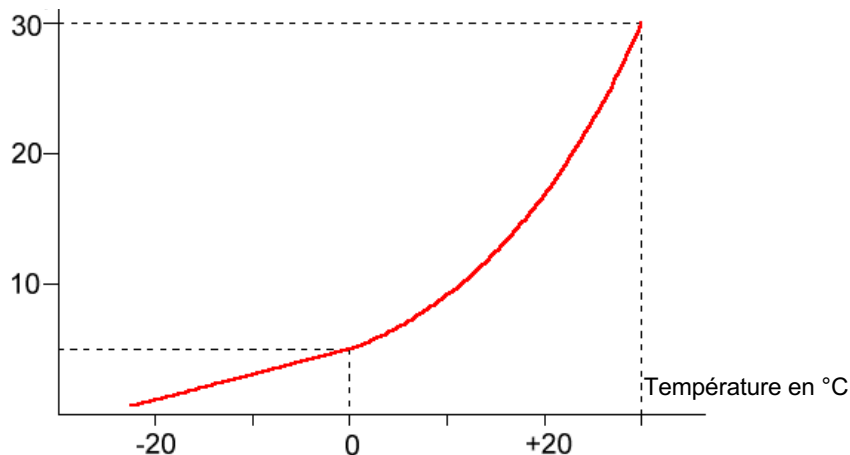
Document 2 – Formation d'un cumulonimbus, nuage orageux

L'air est composé de différents gaz, dont la vapeur d'eau. Lorsque l'air est saturé en vapeur d'eau, l'excès de vapeur d'eau se condense en minuscules gouttelettes d'eau formant les nuages.



Document 3 – Quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air en fonction de la température

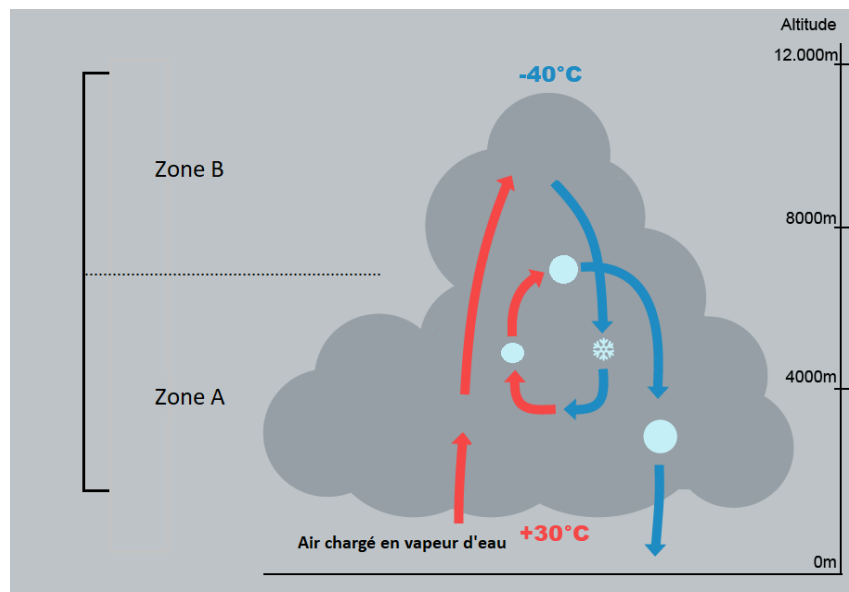
Vapeur d'eau dans l'air en g.m^{-3}



Source : d'après u-picardie.fr

Document 4 – Formation d'un grêlon au sein d'un cumulonimbus

Au sommet du nuage, les gouttes d'eau gèlent et se transforment en noyaux glaçogènes¹. Lors de son parcours dans le nuage, le noyau grossit et forme un grêlon. Quand le grêlon devient trop lourd pour que la force des courants ascendants le maintienne dans le nuage, il tombe.



Modifié d'après <https://www.bfmtv.com/planete/infographie-au-fait-comment-se-forme-un-grelon-1453594.html>

Document 5 – La structure d'un grêlon

Une coupe transversale d'un gros grêlon montre qu'il a une structure formée de couches de croissance épaisses et translucides alternant avec des couches minces, blanches et opaques. Lorsque le grêlon passe dans une zone riche en gouttelettes d'eau, il croît en les capturant, ce qui conduit à la mise en place d'une couche translucide, alors que dans les régions de l'orage surtout riches en vapeur d'eau, il se formera une couche de givre blanc opaque.



Coupe transversale d'un grêlon tombé d'un cumulonimbus

Source : <https://www.reddit.com/r/>

Document 6 – Méthodes de protection de la vigne vis-à-vis des orages de grêle

Document 6 a – Protection par filet

Il s'agit de disposer un filet au-dessus des rangs de pieds de vignes, à plat, en « couverture totale ». Ce système efficace permet de maintenir les interventions manuelles et mécaniques dans la vigne, mais nécessite une infrastructure lourde pour l'installation, avec un impact esthétique. L'investissement est également important, de l'ordre de 20 000 à 25 000 € par hectare². Source : d'après <https://www.journalvignette.fr/>



¹ Toute particule permettant de donner naissance à de la glace.

² 1 hectare (ha) = 10 000 m²

Document 6 b – Canons anti-grêle

Les canons anti-grêle sont utilisés pour tenter de réduire les dégâts causés par la grêle. Une onde sonore (140 dB) émise par un canon anti-grêle est supposée agir sur la formation ou la fragmentation de la grêle, en agissant à très courte portée sur les grêlons en formation, ou sur ceux en chute, ce qui aurait pour effet de diminuer leur taille. Source possible de nuisances sonores, aucune étude scientifique n'a, à ce jour, prouvé l'efficacité de cette technique.

Source image : <https://www.businessinsider.in/>



Document 6 c – Ensemencement des nuages

Des générateurs au sol permettent d'ensemencer des noyaux glaçogènes d'iodure d'argent en les projetant aux racines des courants ascendants, dans les nuages. Cela permet d'augmenter le nombre de noyaux glaçogènes pour une même quantité de vapeur d'eau, et ainsi d'augmenter le nombre de grêlons aux dépens de leur taille. Cette technique, dont l'efficacité est encore à l'étude, est relativement économique car mutualisable (1 générateur préconisé tous les 10 km) mais controversée par ses rejets dans l'environnement : la concentration en iodure d'argent mesurée dans l'air au-dessus d'un réseau dense de générateurs peut atteindre $0,01 \mu\text{g.m}^{-3}$, à comparer toutefois à la concentration maximale recommandée de $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ en prévention d'un risque sanitaire éventuel. Ce système est également compatible avec la certification « bio » du fait du peu de résidus retrouvés au niveau des raisins.

Source : Anelfa (Association Nationale d'Etude et de Lutte contre les Fléaux Atmosphériques)

Document 7 – Taille des grêlons et dégâts occasionnés

Les dégâts occasionnés par un orage de grêle dépendent notamment de la taille des grêlons et de la résistance des matériaux touchés. Les feuilles d'une vigne seront ainsi plus vulnérables que les tuiles d'un toit. En effet, lorsqu'un grêlon tombe et touche une surface, l'énergie cinétique qu'il libère lors du choc dépend de sa taille et de sa vitesse.

Plus un matériau est capable d'absorber cette énergie, moins il sera vulnérable.

Le 15 juin les chutes de grêle ont été abondantes en plusieurs points de la région Auvergne-Rhône-Alpes. Dans la Drôme, par endroit, les diamètres des grêlons ont excédé 5 cm. Plus globalement, les diamètres sont restés compris entre 2 et 4 cm, sur plusieurs départements de la région.

Échelle de classification des dommages causés par la grêle

L'échelle proposée par l'ANELFA est basée sur la mesure de près de 4000 chutes de grêle enregistrées en France depuis 1988.

L'énergie cinétique moyenne représente la somme de l'énergie cinétique libérée par chaque grêlon en moyenne pour un mètre carré de surface.

La taille des grêlons est en cm, la couverture moyenne du sol est exprimée en % du sol recouvert.

CLASSE	A0	A1	A2	A3	A4	A5
Diamètre maximal des grêlons	<1	1-1.9	2-2.9	3-3.9	4-4.9	>=5
Terme usuel	grésil, petit pois	bille, grain de raisin, cerise	œufs de pigeon, pièce de 2 euros	noix, balle de ping-pong	œuf de poule, balle de Golf	pêche, pomme, orange, balle de tennis
Energie cinétique moyenne	10 J.m ⁻²	50 J.m ⁻²	200 J.m ⁻²	500 J.m ⁻²	800 J.m ⁻²	
dommages types	accidents de la route, fleurs coupées	dommages aux vignes, vergers, tabac	dommages importants aux céréales, légumes, arbres	dommages à 100% sur toute culture, vitres cassées, voitures endommagées	Paysage d'hiver, animaux tués, personnes blessées, avions au sol endommagés	Évènement extrêmement dangereux, risque mortel
couverture moyenne du sol	0.1	0.15		0.35	0.35	

<http://www.anelfa.asso.fr>

Catastrophisme ou uniformitarisme ?

L'histoire des sciences, en tant que discipline, étudie les dynamiques qui ont permis aux sciences de se constituer, l'évolution des techniques dont disposent les chercheurs pour observer et expérimenter et, bien sûr, l'évolution des savoirs scientifiques, sans cesse complétés, corrigés. Nous allons faire un voyage dans le temps, au début du 19^{ème} siècle. C'est alors que deux théories scientifiques se sont affrontées...



<http://www.academie-francaise.fr>

Georges Cuvier (1769-1832) a été tour à tour précepteur, professeur, membre de l'académie des sciences, conseiller d'état... Les divers postes qu'il a occupés lui permettent d'avoir une forte influence sur le monde scientifique.

Il poursuit l'accumulation de données commencée par d'autres avant lui (Léonard de Vinci, Georges Buffon...) qui démontre qu'il a dû exister à la surface du globe des espèces animales et végétales qui ont disparu et il relie certaines d'entre elles à des époques, créant même le terme Jurassique !

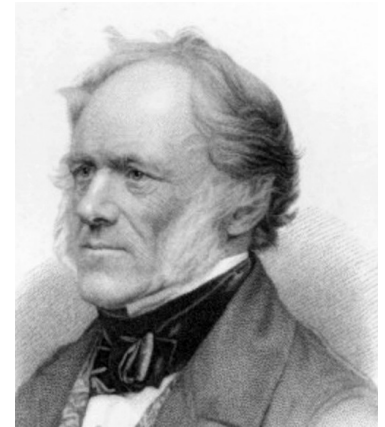
Pour lui, ces extinctions majeures d'espèces animales et végétales sont provoquées par des catastrophes localisées de type inondations ou séismes, le milieu étant ensuite repeuplé par de nouvelles créations (divines) ou des migrations après ces

catastrophes. C'est un défenseur du « **catastrophisme** ».

Charles Lyell (1797-1875), avocat devenu géologue, visite l'Italie en 1828. Il va notamment visiter le temple de Sérapis (édifié vers le 1^{er} siècle après J.-C.) à Pouzzoles, au bord de la Méditerranée.

L'étude des colonnes du temple de Sérapis lui fournit de nouveaux arguments en faveur de la théorie de l'« **uniformitarisme** », qu'il formalise dans ses ouvrages *Principles of Geology*. À l'époque, cette théorie s'oppose au « catastrophisme » de Cuvier.

Charles Darwin qui lit ces ouvrages sur le Beagle s'en inspira...



© - [George J. Stodart](#), Wikimedia

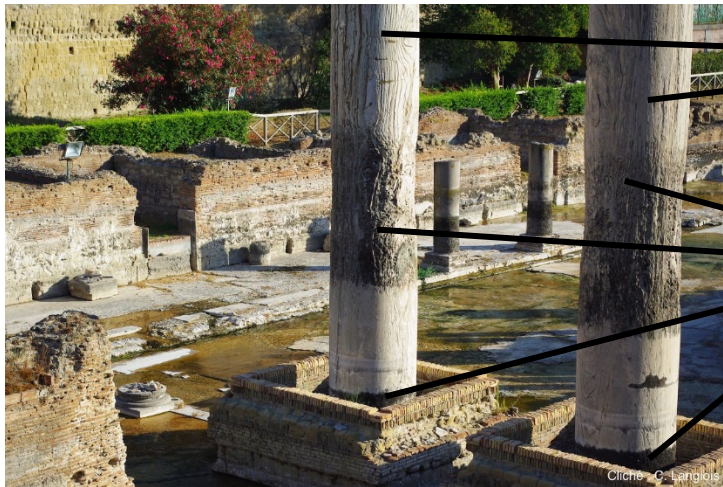
À partir des documents à disposition, présenter les arguments en faveur de ces deux théories.

Document 1 – Les deux théories qui s'affrontent

Catastrophisme	Uniformitarisme
- Des modifications soudaines, de grande ampleur affectent la surface terrestre. - Ces modifications sont liées à des épisodes catastrophiques, des cataclysmes, qui ne se réalisent qu'une seule fois. - De tel épisodes de catastrophes sont la cause d'extinctions massives d'espèces. Les régions dévastées sont ensuite repeuplées par une faune et une flore, soit venues d'ailleurs, soit créées par Dieu.	- Des phénomènes peu perceptibles par les humains à des échelles de temps courtes peuvent, sur le long terme, avoir provoqué des phénomènes de grande ampleur. - Les phénomènes qui affectent actuellement la Terre sont les mêmes que ceux du passé et leur amplitude ne tend ni à décroître, ni à croître. - Des périodes de perturbation et de repos se sont succédées en chaque région du globe mais, à l'échelle de la Terre entière, la dissipation d'énergie est demeurée uniforme ; son expression a seulement changé lentement de forme, de position. - Les changements qui en résultent se compensent : la Terre a un état stationnaire.

Document 2 – Le temple de Sérapis, tel que l'a visité Lyell, et son contexte géographique

Document 2 a – Colonnes du temple de Sérapis (Pouzzoles)



Colonnes de marbre (CaCO_3)
Elles sont restées en position verticale depuis la construction du temple

Zones noircies : zones perforées par des bivalves du genre *Lithophaga* (limite supérieure à plus de 7 m au-dessus du niveau de la mer)

Cliclé C. Langlois

© 2017 Cyril Langlois sur le site Planet-Terre

Document 2 b – Carte de la région de Pouzzoles (à l'ouest de Naples en Italie)



Remarque : en Méditerranée, le marnage correspond à la différence de hauteur d'eau entre la marée haute et la marée basse ; il est d'environ 40 cm.

Document 2 c – Mode de vie du bivalve *Lithophaga lithophaga*



Lithophaga lithophaga est un mollusque bivalve, aussi appelé datte de mer, fréquent en Méditerranée. Il vit depuis la surface jusqu'à 25 m de profondeur, même s'il est plus répandu dans les premiers mètres sous le niveau de la mer.

Il s'installe dans les roches calcaires (CaCO_3) qu'il perce par une action chimique durant plusieurs années. Il préfère les surfaces verticales et celles sans sédiments. Il peut aussi coloniser le bois ou même des substrats vivants comme certaines formations récifales.

Il passe généralement inaperçu du fait de son mode de vie caché. Strictement marin, il ne supporte pas l'émersion à marée basse.

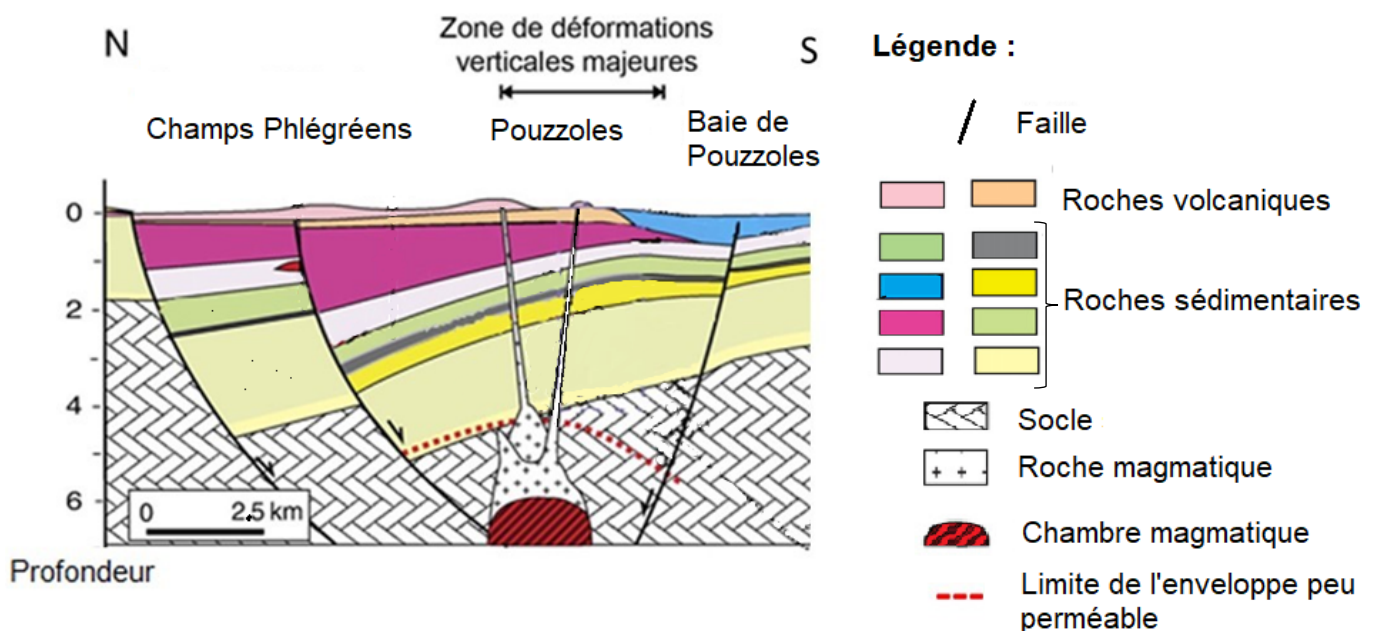
doris.ffessm.fr © Stéphane Elliott

D'après <https://doris.ffessm.fr>

Document 3 – Une étude récente de l'activité interne de la région des Champs Phlégréens

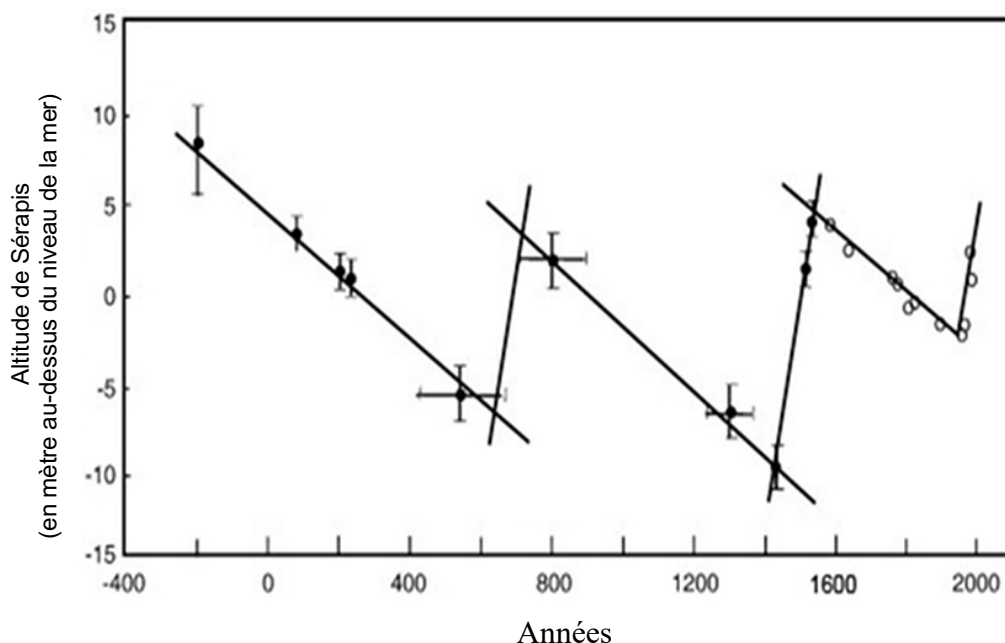
Les Champs Phlégréens présentent une activité volcanique. À cette activité volcanique, sont associés une activité hydrothermale, des mouvements de dilatation et de rétractation... D'après des études géologiques, la chambre magmatique située sous la région des Champs Phlégréens (figure 3A) libère des fluides aqueux, qui, bloqués autour de celle-ci par une enveloppe de roches peu perméables, s'y accumulent. La formation de fissures permet finalement aux fluides de s'échapper de cette enveloppe vers la surface, vidant en quelque sorte le réservoir qui peut alors, de nouveau, accumuler des fluides. Des données archéologiques ont permis de proposer des reconstitutions détaillées des mouvements du temple de Sérapis au cours des temps historiques jusqu'à des années récentes (figure 3B). Les épisodes d'accumulation de fluides peu profonds, de fracturation de la couverture imperméable et de migration de fluides expliqueraient les mouvements verticaux enregistrés.

Document 3 a – Coupe géologique de la région de Pouzzoles



D'après Lima et al., 2009

Document 3 b – Altitude du temple de Sérapis



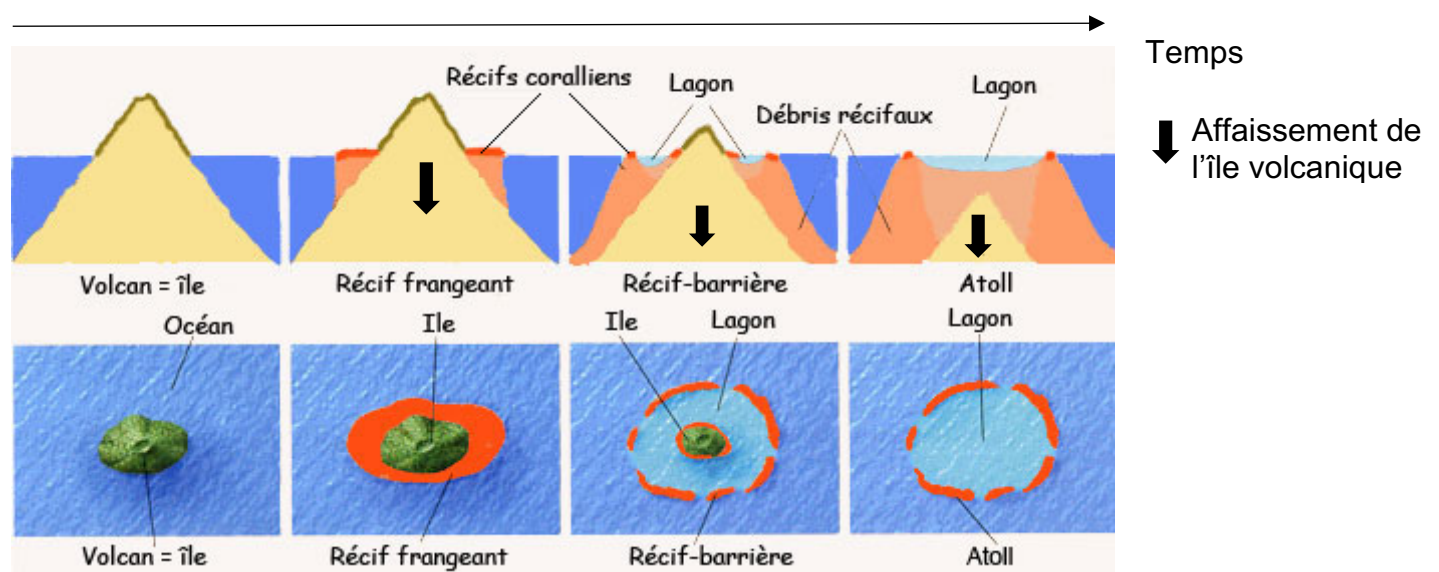
Les segments de droite horizontaux et verticaux montrent les variations de valeurs dues aux incertitudes. Les disques noirs et blancs distinguent deux études.

Documents 4 – Le contexte géologique de la formation des récifs coralliens selon Darwin

Les îles coralliennes, appelées atolls, correspondent aux parties émergées de grands récifs coralliens, reposant chacun sur un soubassement rocheux plus ou moins profond. Nombre d'entre elles se trouvent dans l'Océan Pacifique et l'Océan Indien que Charles Darwin a traversés au cours de son voyage sur le Beagles de 1831 à 1836. C'est dans *The structure and distribution of coral reefs* que Darwin explique comment, selon lui, croissent les récifs :

« Si nous prenons en considération les limites des profondeurs auxquelles peuvent vivre les polypes constructeurs de récifs, (...) nous sommes forcés de conclure, [que] (...) le fond, sur lequel le corail était primitivement fixé, s'est abaissé, et que, pendant ce mouvement de haut en bas, les récifs se sont accrus de bas en haut. Cette conclusion, comme on le verra plus loin, explique d'une manière satisfaisante la forme générale et le croquis des atolls et des récifs-barrières, et en particulier certaines singularités dans leur structure. (...) Il existe dans la mer Rouge des récifs qui ne semblent pas avoir subi le moindre accroissement dans leur dimension, pendant le dernier demi-siècle, et probablement pas pendant les deux derniers siècles, comme cela semble résulter de la comparaison des vieilles cartes avec celles qui ont été dressées d'après des recherches récentes. Ces faits et d'autres du même genre ont si fortement confirmé plusieurs personnes dans la croyance de l'extrême lenteur de la croissance des coraux, qu'elles ont été jusqu'à mettre en doute la possibilité que ces polypiers puissent former des îles dans les grands océans. D'un autre côté, d'autres savants, qui n'ont pas été arrêtés par cette difficulté ont admis qu'il faudrait des siècles par mille et par dizaines de mille, pour former une masse d'épaisseur même peu considérable. » Traduction de L. Cosserat 1878, <https://www.geocaching.com>

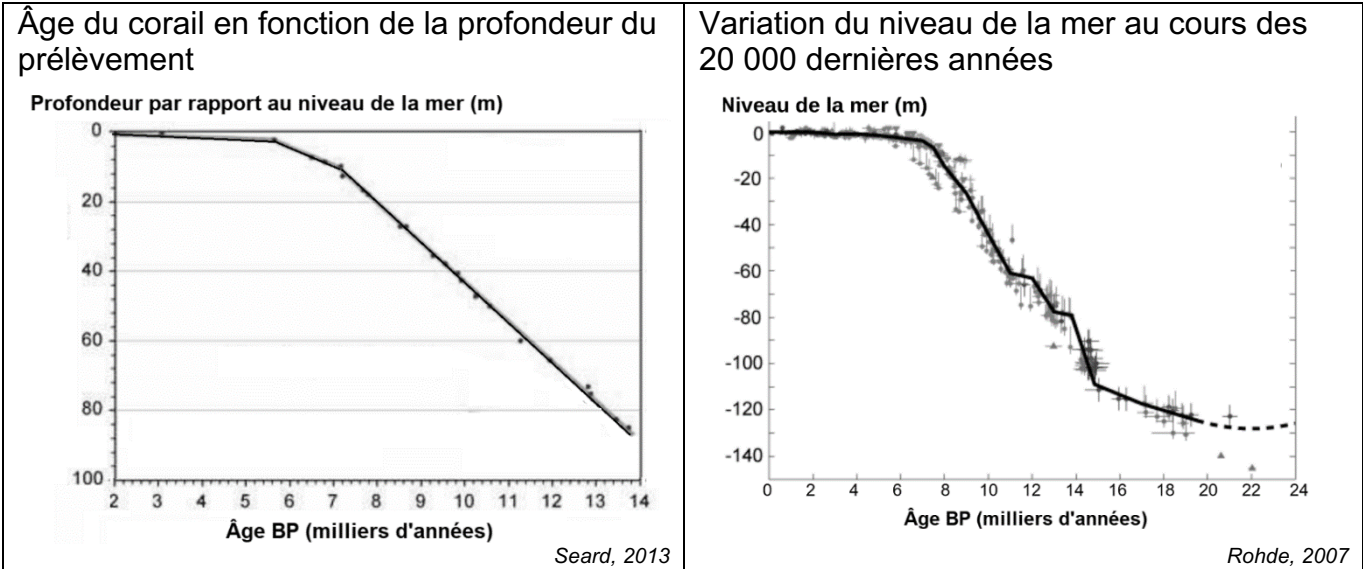
Représentation schématique de l'explication de Darwin :



Document 5 – Une étude récente de la croissance d'un atoll

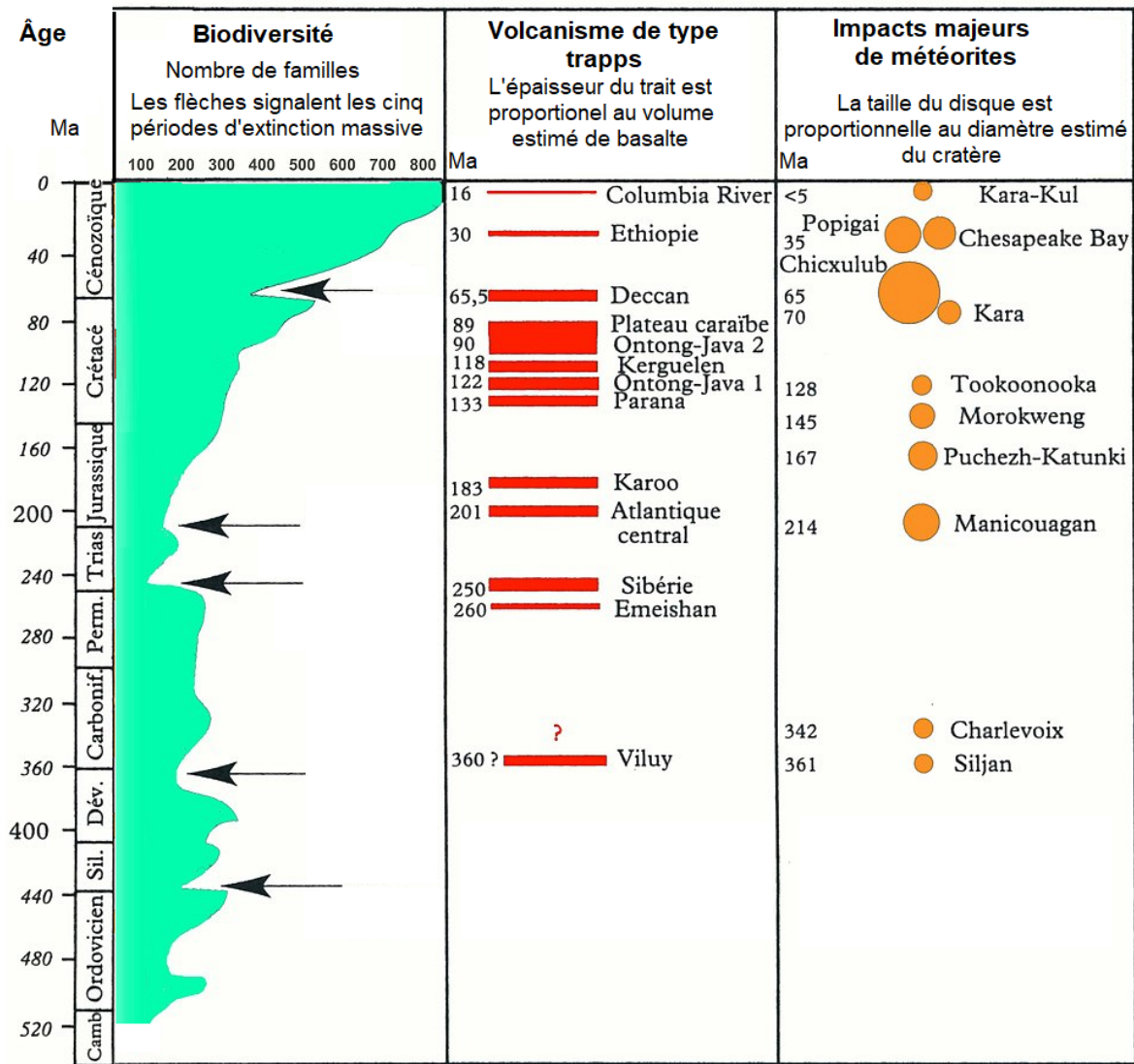
Les forages, réalisés sur le récif de Tahiti lors de l'Expédition IODP, ont permis d'étudier sa croissance depuis 14 000 ans, période comprenant la dernière déglaciation, entre 16 000 et 8 000 ans BP (BP = Before Present, avant 1950) et la période actuelle (à droite). Parallèlement, les variations du niveau de la mer, dépendant notamment de la fonte des glaciers, dont les vastes calottes polaires qui existaient au dernier optimum glaciaire (vers 22 000 BP), ont été établies à partir de nombreuses mesures dispersées à la surface du globe (à droite).

Document 5 (suite)



Document 6 – Chronologie de quelques événements majeurs à la surface de la Terre

Deux types d'événements majeurs ont été reportés en regard de la variation de la biodiversité, en précisant leur importance : le volcanisme de type "trapps" correspondant chacun à des épisodes volcaniques très intenses et les impacts de météorites.



CC Spididon Manoliu et Monica Rotaru

L'origine des gisements de cuivre dans l'ophiolite de Chypre

L'île de Chypre est célèbre depuis l'antiquité pour ses ressources en cuivre. Le mot cuivre est en fait lui-même dérivé du nom donné par les grecs à cette île : Kupros. Les chypriotes ont travaillé le cuivre depuis le quatrième siècle avant J.-C. Dans un premier temps, le minerai est utilisé pur, par exemple, pour la fabrication d'outils ou de statuettes. Ensuite, il est travaillé avec de l'étain afin de produire du bronze, un métal plus résistant que le cuivre pur, à partir duquel sont fabriqués de nombreux outils, armes, et objets précieux. Aujourd'hui encore, des gisements polymétalliques sont exploités sur l'île. On nomme gisement toute zone minérale contenant des concentrations chimiques anormales de métaux par rapport à la teneur moyenne de la croûte terrestre, résultant d'une migration puis d'une précipitation d'ions métalliques dans une zone donnée.



Statuette du Dieu au lingot ENKOMI (Musée national de Chypre). Bronze récent (13e – 12e siècle av. J.-C.). Elle représente un guerrier debout sur une base en forme de lingot d'oxyde de cuivre.

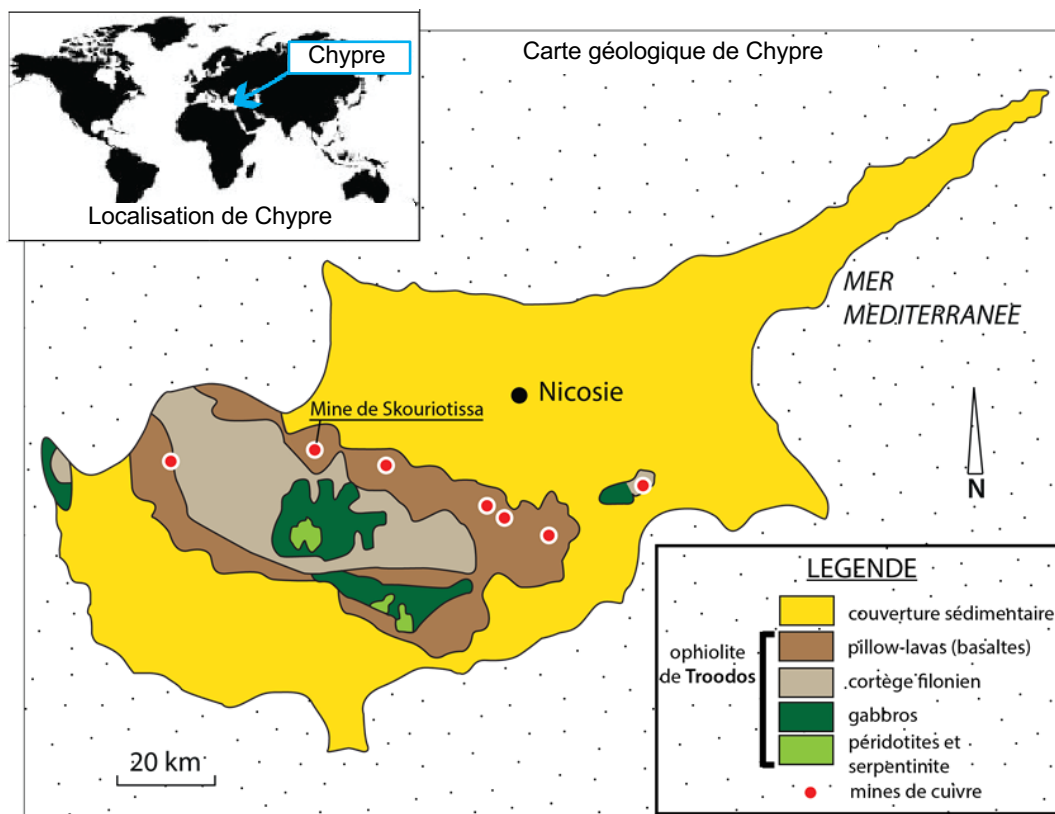
Question 1 – À l'aide des documents 1 à 5, relever les arguments en faveur d'une origine océanique des roches qui constituent l'ophiolite de Troodos et décrire les événements qui ont conduit à sa mise en place.

Question 2 – À l'aide des documents 6 à 8, proposer une explication à l'origine des gisements de cuivre de l'île de Chypre.

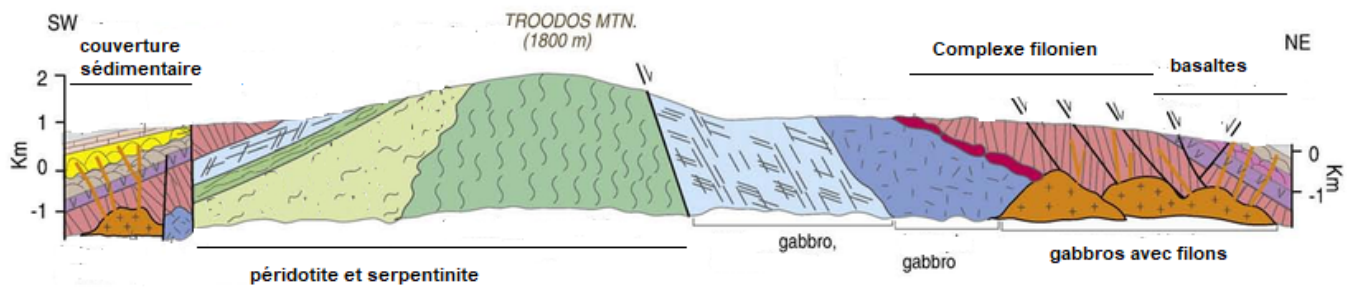
Document 1 – Localisation de Chypre et carte géologique simplifiée de Chypre

Document 1 a – Localisation de Chypre à l'échelle mondiale et carte géologique de Chypre

La carte géologique simplifiée présente les roches et les structures présentes en surface ou sub surface (à faible profondeur) dans une région donnée.



Document 1 b – Coupe géologique simplifiée

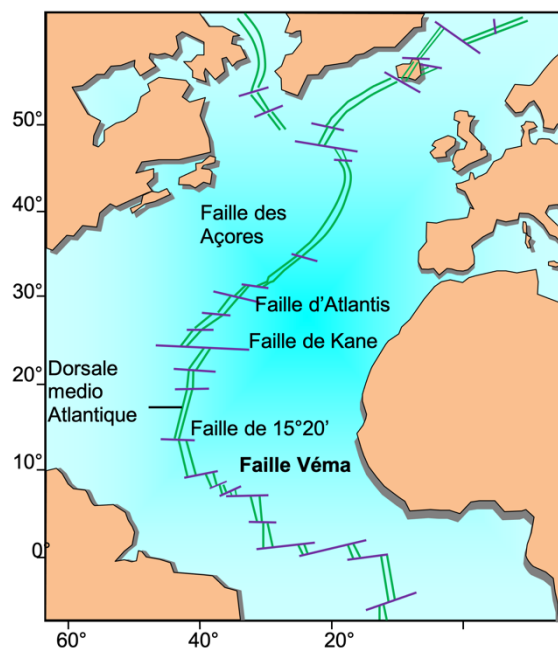


d'après Structure and geochemistry of Tethyan ophiolites and their petrogenesis in subduction rollback systems-2009

Document 2 – L'exploration de la faille Vema

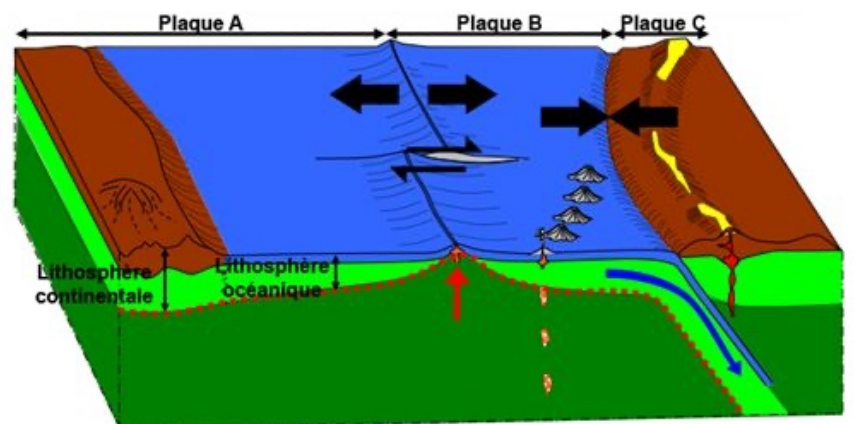
En 1988 un submersible, le Nautille, effectue plusieurs plongées d'observations directes de la faille transformante VEMA, située à proximité de la dorsale médio atlantique. Les dorsales sont le siège de la formation de la lithosphère océanique.

Document 2 a – Localisation de la faille Véma



(d'après banque de schémas de Dijon)

Document 2 b – Modèle de la tectonique des plaques



■ Croûte océanique
■ Croûte continentale

■ Manteau lithosphérique
■ Asthénosphère

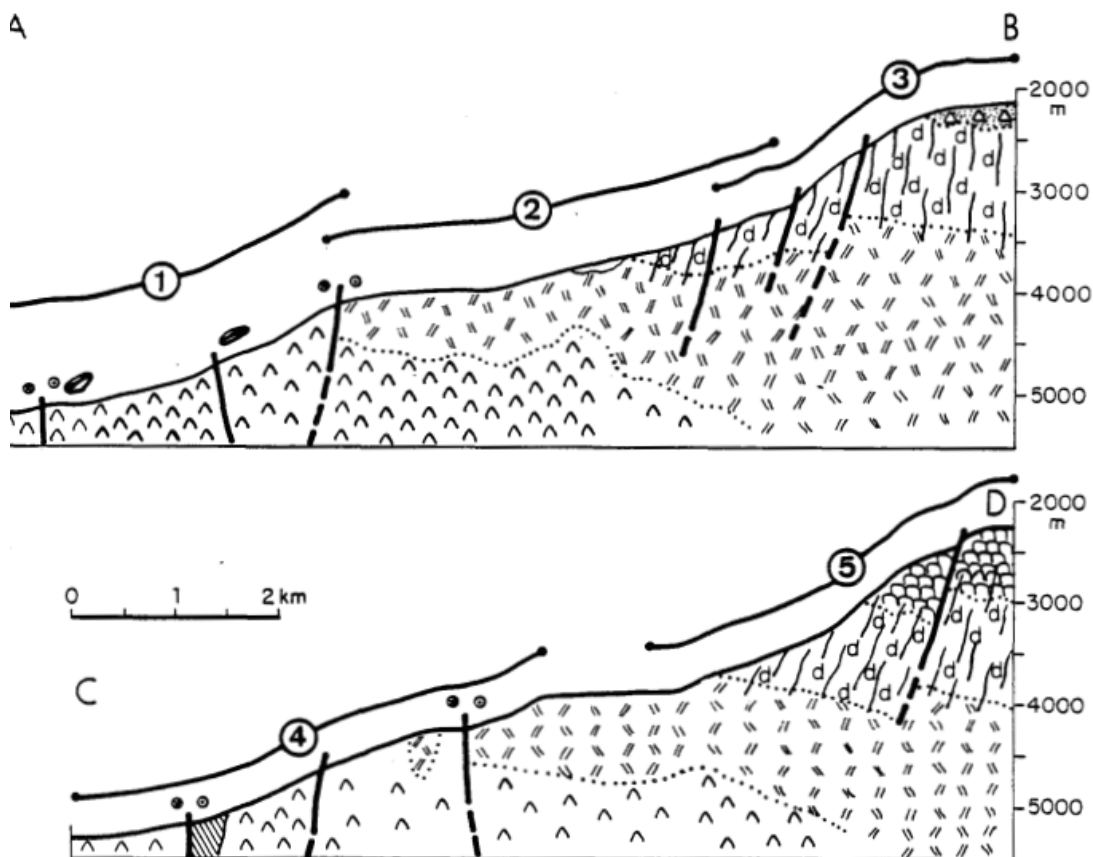
..... Isotherme 1300°C

↔ Dorsale = zone de divergence

↘ Fosse de subduction =
Zone de convergence

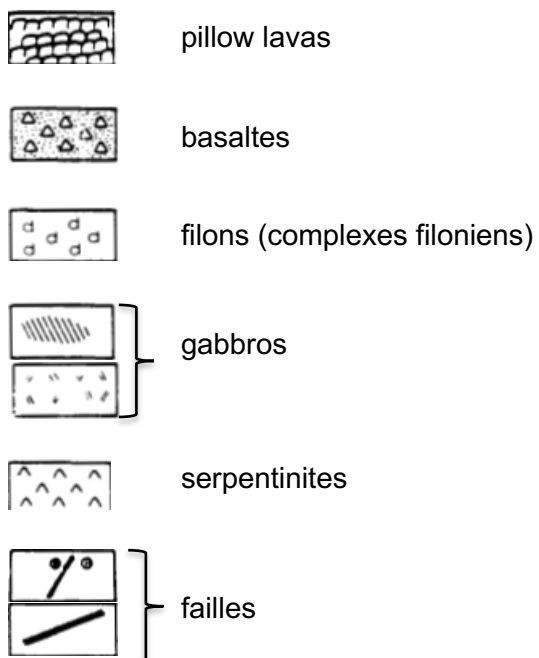
↔ Faille transformante =
Zone de coulissage

Document 2 c – Deux coupes géologiques synthétiques d'après les données de cinq plongées du Nautilé



D'après Auzende et al (1990)

Légendes



①②③④⑤ Ces chiffres indiquent les zones explorées lors des 5 plongées du Nautilé

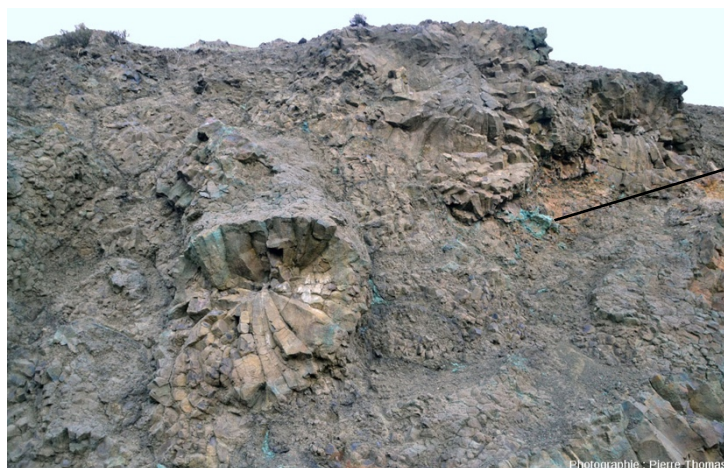
Document 3 – Photographie de lave en coussins ou pillow lavas, issue du refroidissement d'un magma basaltique sous l'eau à Hawaï



D'après National Undersearch Research Program (NURP) Collection

Document 4 – Affleurements de la région de Troodos

Document 4 a – Affleurement 1



cuivre reconnaissable à la couleur verte

Droits réservés © 2018 Pierre Thomas

Document 4 b – Affleurement 2

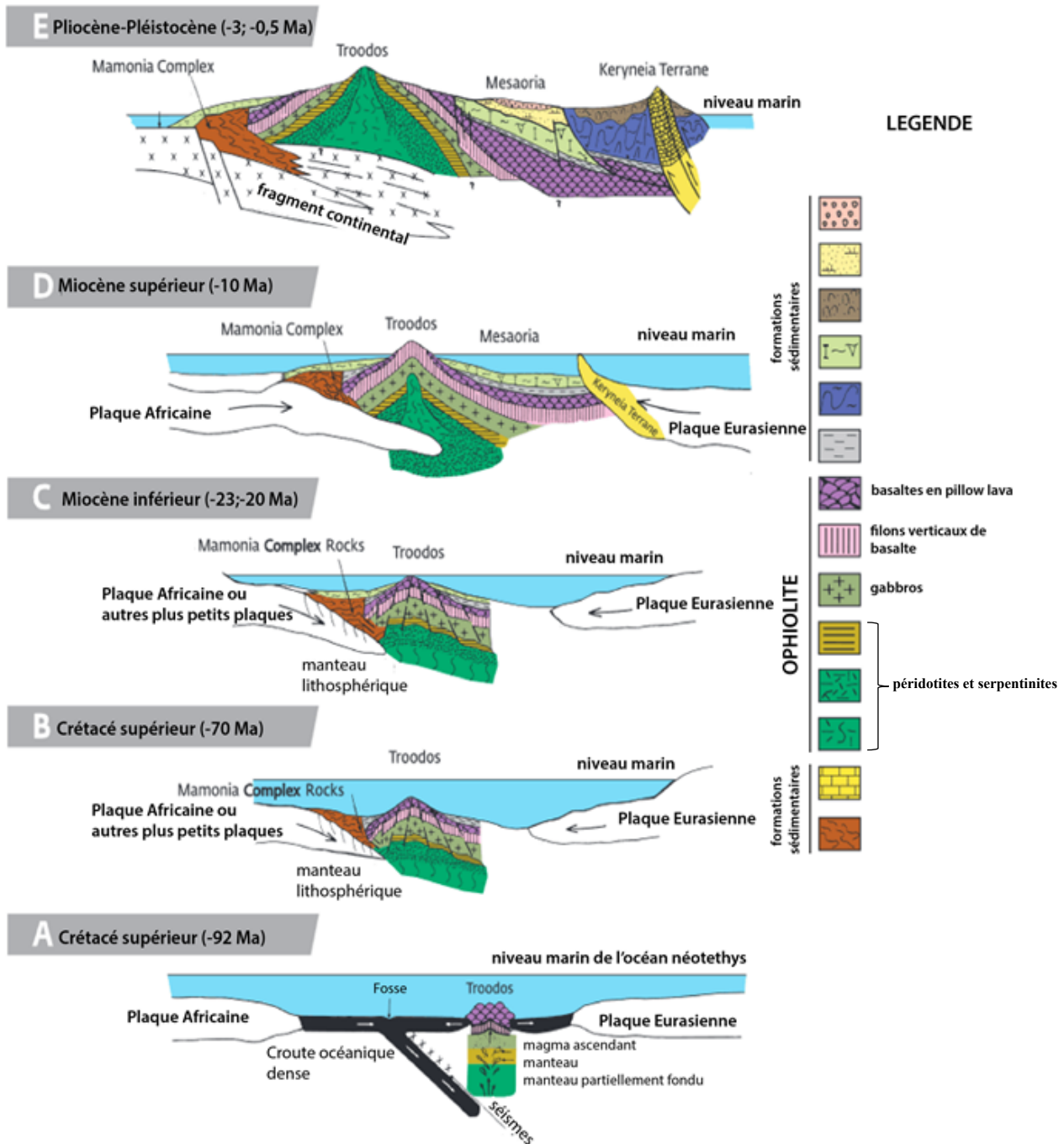


basalte sous forme de pillow lavas

D'après centre géologique de l'Oisans

Document 5 – Reconstitution de la mise en place de l'ophiolite de Troodos

Le modèle suivant propose un scénario de mise en place de l'ophiolite de Troodos, encore discuté à l'heure actuelle.

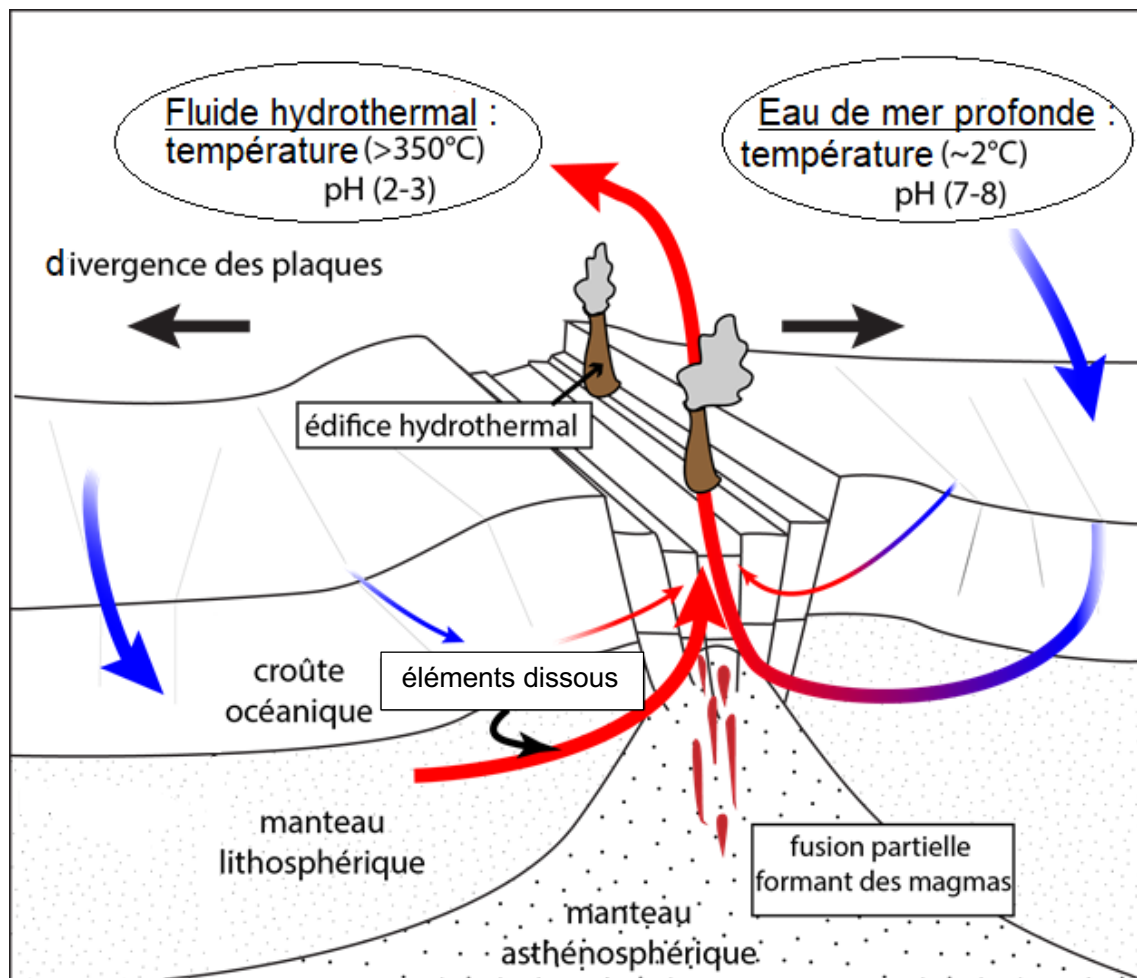


Adapté d'après © Chesterfieldresourcesplc.com

N.B. : les échelles verticales sont très largement exagérées afin de bien localiser et suivre l'unité ophiolitique de Troodos.

Document 6 – Fonctionnement schématique de la circulation hydrothermale au niveau d'une dorsale

Dès sa formation au niveau de l'axe de la dorsale océanique, la lithosphère océanique se fracture sous l'effet du refroidissement des roches et des contraintes tectoniques.

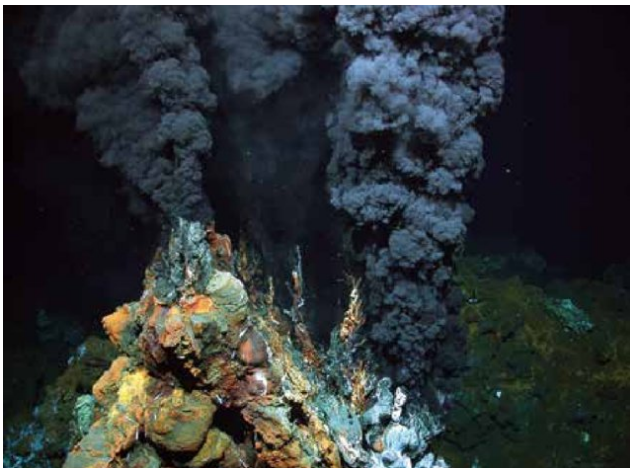


Source : Construction de l'auteur

Les flèches indiquent les circulations des fluides.

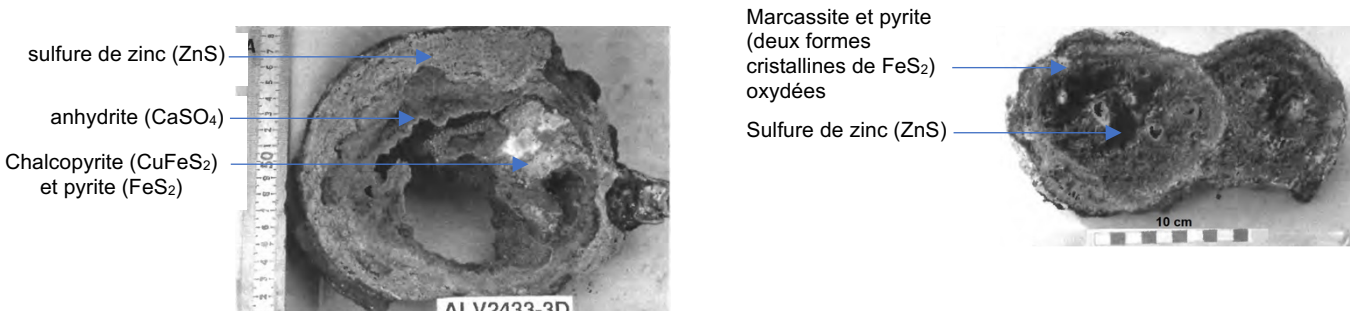
Document 7 – Un type d'édifices hydrothermaux, les fumeurs noirs

Document 7a – Expulsion d'un fluide hydrothermal par un édifice hydrothermal



Photographie de l'ouverture supérieure d'un fumeur noir à 2980 mètres de profondeur, au niveau de la dorsale médio-atlantique (d'après Rogers et al., 2015)

Document 7b – Composition de la paroi de deux fumeurs noirs



D'après [V. K. Smith et R. A. Koski, 1994](#)

Document 8 – Analyses chimiques comparatives d'échantillons d'eau de mer et d'un fluide hydrothermal prélevé au niveau de la dorsale médio-atlantique

échantillon paramètres mesurés	eau de mer	fluide du site hydrothermal Rainbow
T (°C)	2	365
pH (25°C)	7,8	2.8
Cl, mmol/kg	545	750
Na, mmol/kg	464	553
Ca, mmol/kg	10.2	67
K, mmol/kg	10.1	20
Ba, µmol/kg	0.14	> 67
H ₂ S, mmol/kg	-	1
H ₂ , mmol/kg	-	13
CO ₂ , mmol/kg	2.36	na
CH ₄ , mmol/kg	-	0.13–2.2

échantillon paramètres mesurés	eau de mer	fluide du site hydrothermal Rainbow
NH ₃ , mmol/kg	-	-
Fe, µmol/kg	0,0045	24000
Mn, µmol/kg	0,0013	2250
Cu, µmol/kg	0,0033	140
Zn, µmol/kg	0,0028	160
Pb, nmol/kg	0,0013	148
Co, µmol/kg	<2	13
Cd, nmol/kg	0,7	130
Ni, µmol/kg	<2	3
SO ₄ , mmol/kg	28	0
Mg, mmol/kg	53	0

- : non mesurable na : non analysé *adapté d'après Tivey, 2007 et Douville et al, 2002*