

Olympiades de géosciences 2019

**Nouvelle-Calédonie
Polynésie française**

Épreuve écrite des 3 et 4 avril 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 15 pages

Le lac Pavin : un tueur en Auvergne ?

Le lac Pavin, ainsi que le lac Nyos – situé au nord-ouest du Cameroun est un lac méromictique (voir document 2). Or, dans la soirée du 21 août 1986, le lac Nyos a libéré environ un kilomètre cube de dioxyde de carbone. Cette catastrophe a entraîné la mort de 915 personnes à proximité immédiate du lac Nyos. À l'ouest, plusieurs hameaux dispersés le long de la vallée de la Fang ont été touchés par la catastrophe. Le bilan humain total est de 1 746 victimes. Toutes ont retrouvées dans un paysage quasi intact, portant seulement, à certains endroits, les traces d'un violent coup de vent. Plus de 3 000 personnes ont dû quitter leurs maisons et ont été regroupées dans des camps.



En mai 2009, s'est tenu un colloque international intitulé « Lac Pavin et autres lacs méromictiques ». Celui-ci étant susceptible d'être dangereux, on s'intéresse ici au risque pour les populations environnantes et aux mesures prises pour le limiter.

Vous êtes chargé de réaliser une synthèse du colloque à partir des documents fournis. Votre synthèse comportera deux parties :

Partie 1 - Évaluer la dangerosité potentielle du lac Pavin. Pour cela vous confronterez les données concernant le lac Pavin à celles du lac Nyos.

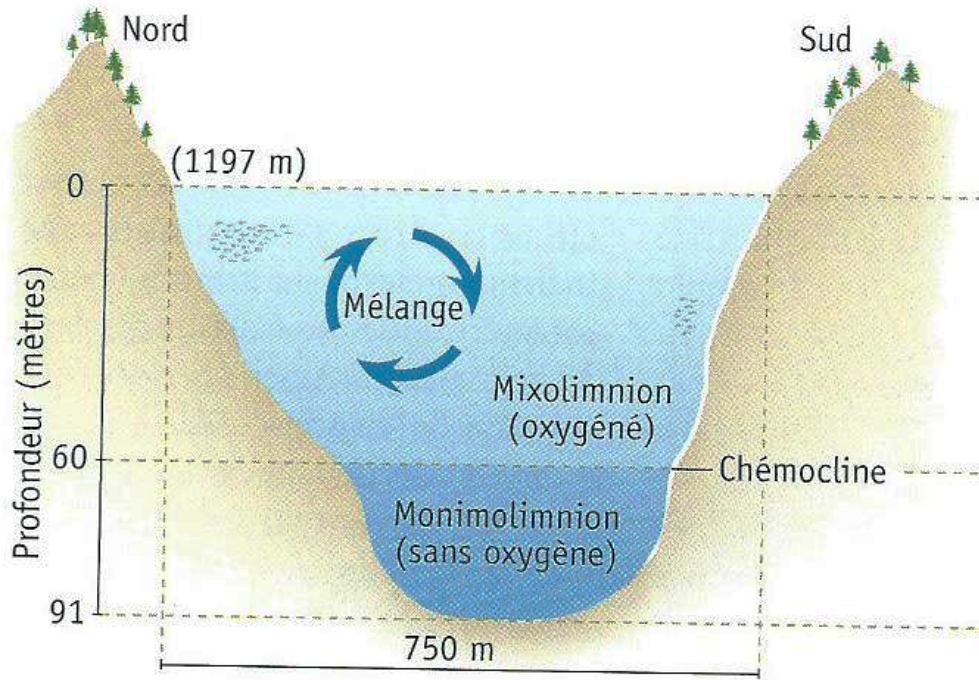
Partie 2 - Évaluer la pertinence, dans le cas du lac Pavin, des deux solutions techniques visant à limiter les risques liés aux lacs méromictiques : consolidation des zones à risque d'éboulements et dégazage des eaux profondes.

Document 1 - Comparaison du lac Nyos et du lac Pavin

	Lac Nyos (Cameroun)	Lac Pavin (France)
Photographie	 <p style="text-align: right; font-size: small;"><i>Source : Camer.be</i></p>	 <p style="text-align: right; font-size: small;"><i>Source : France Culture</i></p>
Superficie (hectares)	158	45
Profondeur (mètres)	210	92
Altitude (mètres)	1091	1191
Origine	Le lac occupe le cratère d'un ancien volcan.	Le lac occupe le cratère d'un ancien volcan.
Longueur (kilomètres)	2	0,750
Largeur (kilomètres)	1,2	0,750
Régime hydrique	Méromictique	Méromictique
Caractéristiques des eaux profondes	Eaux profondes riches en CO ₂	Eaux profondes riches en CO ₂

Document 2 - Définition du régime hydrique d'un lac méromictique

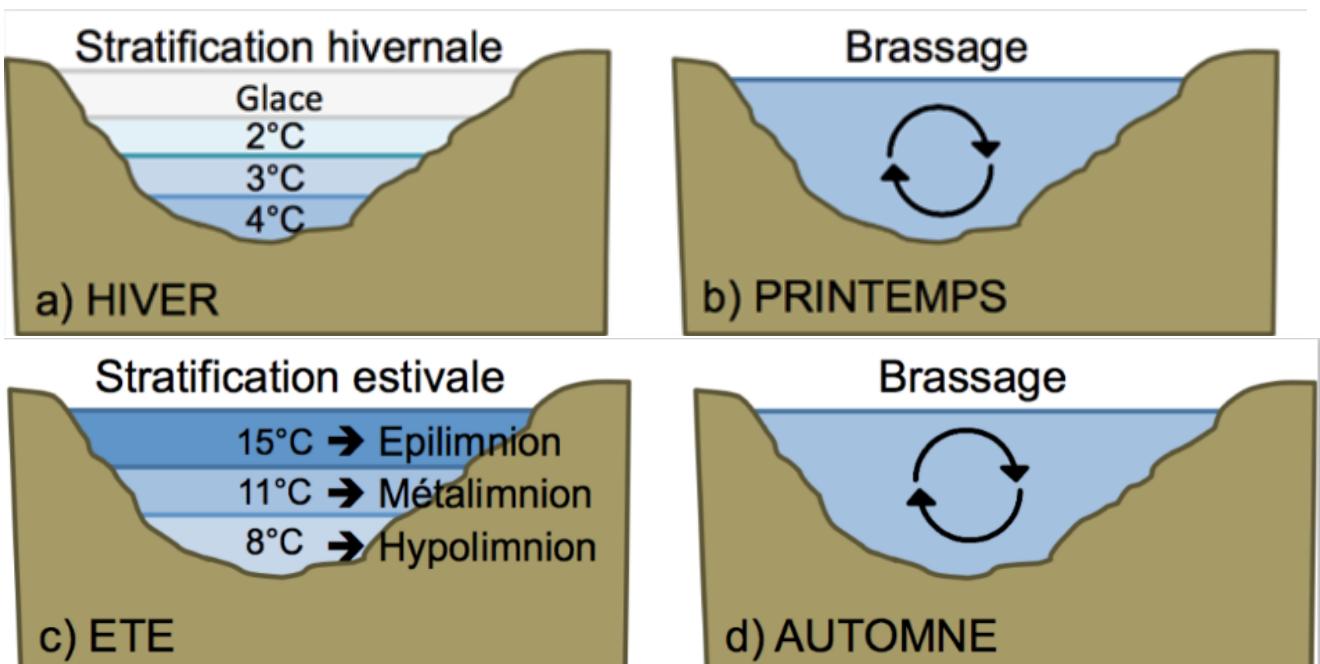
2a- La stratification des eaux dans un lac méromictique.
Ce schéma est valable toute l'année.



D'après Pour la Science. Dossier n°58 Janvier Mars 2008

Le monimolimnion représente la couche profonde sans luminosité, ni dioxygène mais riche en dioxyde de carbone. Elle peut être, en outre, caractérisée par une pression intense (de l'ordre de dix fois la pression atmosphérique). On y trouve différentes bactéries ayant majoritairement des métabolismes anaérobies (en absence de dioxygène) capables de produire de l'énergie à partir du méthane notamment. Elles sont d'intérêt scientifique car elles permettent d'étudier les métabolismes adaptés à des conditions que l'on pouvait trouver sur Terre au moment de l'apparition de la vie et certaines seraient capables de dégrader des substances toxiques.

2b - Schéma de l'évolution de la température et du brassage de l'eau dans un lac standard (non méromictique) au cours d'une année



D'après « réseau lac sentinelles » <http://www.lacs-sentinelles.org/fr/pages/les-lacs-daltitude>

Document 3 - Causes supposées de la catastrophe du lac Nyos

L'origine de la catastrophe du lac Nyos demeure controversée.

Première hypothèse : éruption limnique

La libération de dioxyde de carbone a été causée par la chute d'un pan de la falaise qui surplombe le lac. Cette chute de roches a entraîné un brassage assez rapide des eaux de surface et profonde, entraînant un « retournement » des eaux du lac. Les eaux contenant le dioxyde de carbone se sont ainsi retrouvées en surface, ce qui a favorisé les émanations gazeuses.

Comme le dioxyde de carbone possède une masse volumique une fois et demi plus élevée que celle de l'air ($1,87 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ contre $1,225$ à 15 °C et $1,013 \text{ bar}$), il a stagné au niveau du sol puis s'est dispersé sur une grande surface jusqu'aux villages et prairies environnants, causant la mort des villageois et de leurs troupeaux.

Deuxième hypothèse : éruption phréatomagmatique

La libération du dioxyde de carbone a été provoquée par une éruption phréatomagmatique, c'est-à-dire issue de la rencontre entre le magma et les eaux du lac.

D'après <http://mhalb.pagesperso-orange.fr/nyos/project/indexproj.htm>

D'après http://www.saga-geol.asso.fr/Geologie_page_conf_volcanisme_environnement.html

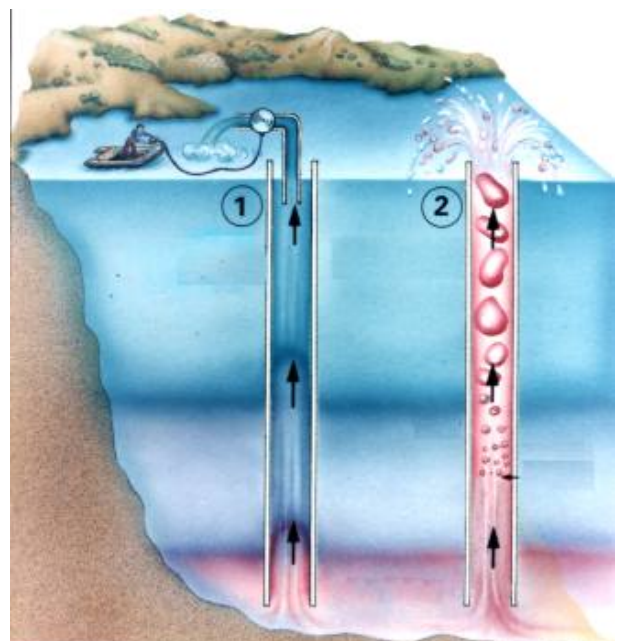
Document 4 - Passé géologique de la région du lac Pavin

Des chercheurs évaluent l'âge des traces d'activité volcanique passée du Pavin. Le cratère formant le lac Pavin est issu d'un volcanisme récent (-6 900 ans).. La présence de petits cratères près de celui-ci suscite un débat. Pour certains, ces éléments attestent d'une activité récente du volcan à l'origine du lac Pavin. Pour d'autres, ces éléments seraient plus anciens. Seules des études plus approfondies de ces structures permettraient d'établir leur âge approximatif. Par ailleurs, une coulée de boue apparue dans la vallée de la Couze-Pavin semble indiquer que le lac Pavin a débordé par le passé, peut-être lors d'une éruption. Cette coulée a été datée : elle remonterait à l'an 1300.

D'après France Culture. Les mystères du lac Pavin, émission du 20/09/2010

Document 5 - Prévention du risque d'éruption limnique du lac Nyos

La technique pour prévenir le risque de dégazage du lac Nyos consiste à diminuer progressivement le taux de dioxyde de carbone dans les eaux du lac. On utilise un dispositif de siphonage utilisé dans l'industrie pétrolière : on immerge un tuyau jusqu'au fond du lac, on amorce le pompage de l'eau et on provoque artificiellement une remontée des eaux dans le tuyau (étape 1). La pression de l'eau diminue alors et libère le dioxyde de carbone qu'elle contient (étape 2). À l'extrémité supérieure du tuyau, le mélange eau + gaz forme un jet d'eau qui peut atteindre plus de 40 m de haut.



Document 6 - Prévention du risque d'éboulement au niveau du lac Pavin

Le lac est situé sur la commune de Besse-et-Sainte-Anastaise, dans la chaîne des Puys formée d'anciens volcans. Cette zone est délimitée par des failles qui peuvent provoquer des séismes et potentiellement des éboulements.

6a - Synthèse des risques majeurs sur la commune de Besse-et-Sainte-Anastaise

Risques identifiés sur la commune <ul style="list-style-type: none">> Feu de forêt> Inondation Par une crue torrentielle ou à montée rapide de cours d'eau> Mouvement de terrain Eboulement, chutes de pierres et de blocs Glissement de terrain> Phénomène lié à l'atmosphère> Séisme Zone de sismicité 3	Documents de prévention <p>Sismicité modérée visant les risques suivants : Séisme Approuvé le 22/10/2010 Appliqué le 01/05/2011 Appliqué par anticipation Non <input checked="" type="checkbox"/> Décret (143.66 Ko)</p>
---	---

Copie d'écran de la page du site : <https://risques.auvergne.pref.gouv.fr/commune/63038>

L'échelle de risque sismique compte cinq zones. La zone 5 correspond au niveau d'aléa le plus élevé et concerne les Antilles françaises. La métropole et les autres DOM présentent quatre zones sismiques, de la zone 1 de sismicité très faible (bassin aquitain, bassin parisien, etc.) à la zone 4 de sismicité moyenne (fossé rhénan, massifs alpin et pyrénéen).

6b - Extraits de deux rapports du Bureau de Recherches Géologiques et Minières

- Étude préliminaire de la stabilité des flancs internes du cratère du lac Pavin, juillet 2009.
[Les investigations ont] « permis, à l'appui d'arguments géomorphologiques, d'écarter l'hypothèse d'un mouvement de terrain de grande ampleur (1,2 millions de m³) qui serait survenu au cours du Moyen-âge et aurait entraîné un retournement et un dégazage des eaux du lac, voire une coulée de boue catastrophique dans la vallée de Couze-Pavin. L'analyse des morphologies sous-lacustres conclut en outre à l'absence probable de mouvements de terrain de grande masse depuis la dernière éruption présumée (-6 700 ans). En revanche, il est quasi certain que les pentes sous-lacustres ont fait l'objet de mouvements de terrain de moyenne ampleur (de l'ordre de 10 000 m³ [...]) Il apparaît peu probable que de tels mouvements de terrain, [...] entraînent une remontée brutale de ces eaux vers la surface. »

- Examen des risques d'éboulements au droit du chemin circulaire du lac Pavin, juillet 2006.

« Après analyse, il s'avère que les risques d'éboulement sont principalement concentrés au droit de deux zones distinctes totalisant un linéaire d'environ 270 m.

La zone 1, sur le flanc est du cratère, concerne environ 40 m de falaise sommitale dont le démantèlement et l'état de fracturation menacent à moyen terme le chemin.

La zone 2 concerne un linéaire de 230 m de chemin principalement situé entre la 2^{ème} et la 6^{ème} sources des Prêtres. Les risques identifiés sont principalement des risques de moyen terme (délai de rupture 1 an), sauf pour une colonne de basalte de 20 m³ dont la rupture paraît possible à court terme (quelques semaines à quelques mois). Dans l'immédiat, il convient à minima de baliser les zones 1 et 2 à l'aide de panneaux signalant les risques 'éboulement. Dans les meilleurs délais (2 mois), il y a lieu de traiter la colonne de basalte de 20 m³, soit par purge au vérin hydraulique, soit par la mise en place d'un filet ASM plaqué et épinglé au rocher.



Localisation du site sur l fond IGN à 1/25 000

Quand le Lac Léman déborde

Durant le Moyen-Âge, l'évêque Marius d'Avenches (455-581) fait le récit d'une catastrophe naturelle majeure ayant touché les abords du lac Léman.

« Cette année-ci (563), la grande montagne s'écroula si subitement qu'elle écrasa un bourg qui était proche des villages et en même temps tous leurs habitants. Sa chute mit aussi en mouvement tout le lac [...] qui en sortant de ses deux rives, détruisit des villages très anciens avec hommes et bétails. [...] Enfin, il entraîna avec furie le pont de Genève, les moulins et les hommes et, étant rentré dans la cité de Genève, il y fit périr plusieurs personnes. »

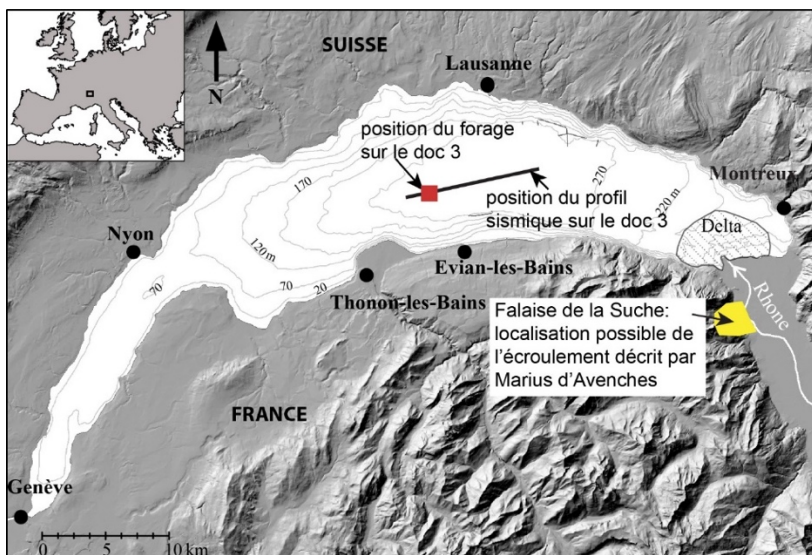
Un millénaire et demi après cette catastrophe, on cherche à comprendre ce qui s'est passé dans ce lac situé dans les Alpes, à la frontière entre la France et la Suisse.

On s'intéresse aux investigations de chercheurs de l'université de Genève qui proposent un scénario explicatif pour cet événement du haut Moyen-Âge.

- 1) À partir des documents 2 à 4, identifier les arguments scientifiques en faveur d'une compatibilité de l'anomalie de sédimentation avec l'inondation de Genève de 563.
- 2) Sachant que le volume de sédiments de l'anomalie est de $0,25 \text{ km}^3$ soit $25 \cdot 10^7 \text{ m}^3$, montrer, à partir du document 5, que le déplacement rapide de ce volume de sédiments a pu générer des vagues dépassant Lausanne.
- 3) Afin de retracer les événements ayant conduit à cette catastrophe, on peut envisager trois hypothèses.
À partir de l'ensemble des documents disponibles, discuter chacune des hypothèses.
Présenter votre réponse dans un tableau.

Hypothèse 1	Les blocs, issus de l'écroulement de la montagne décrit par Marius d'Avenches, arrivent dans le lac et provoquent directement le tsunami.
Hypothèse 2	L'écroulement de la montagne crée une onde de choc qui provoque l'effondrement du delta sous l'eau à l'origine du tsunami. Les matériaux du delta sont composés de boues et de petites particules non soudées entre elles.
Hypothèses 3	Le tsunami est provoqué par un séisme local et de forte intensité.

Document 1 - Carte topographique de la région du lac Léman



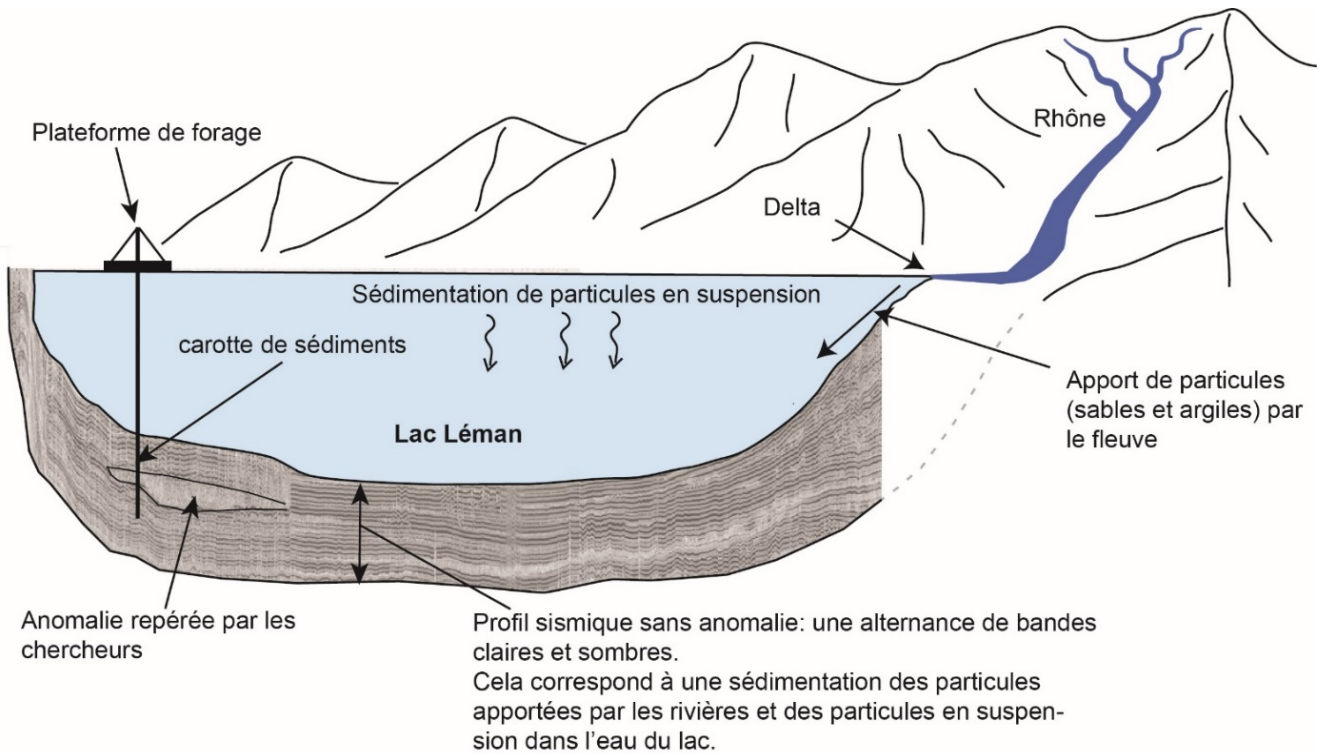
Les courbes bathymétriques (en mètres) les profondeurs actuelles du lac. Le forage indiqué par le carré rouge a été effectué dans la zone la plus profonde du lac.

Modifié à partir de Kremer et al. 2012

Document 2 - Photographie d'un écoulement rocheux dans le Valais (Suisse)



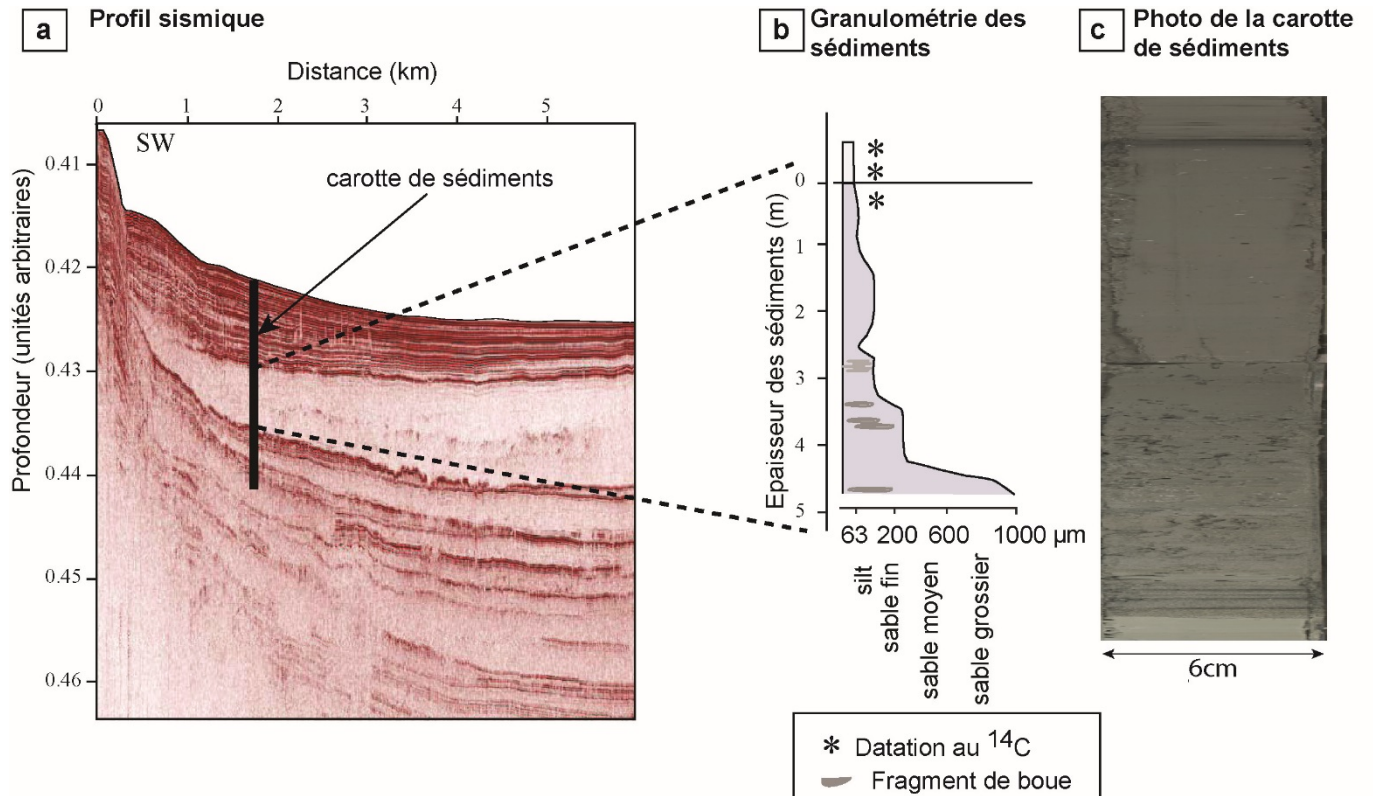
Document 3 - Profil de sismique réflexion* (zone grise) et sédimentation dans le lac Léman



Modifié d'après Kremer (2014)

**La sismique réflexion est une méthode géophysique qui permet de visualiser l'organisation des sédiments déposés au fond du lac.*

Document 4 - Profil de sismique réflexion et granulométrie de la carotte de forage prélevée au fond du lac (voir la position du forage sur le document 1)

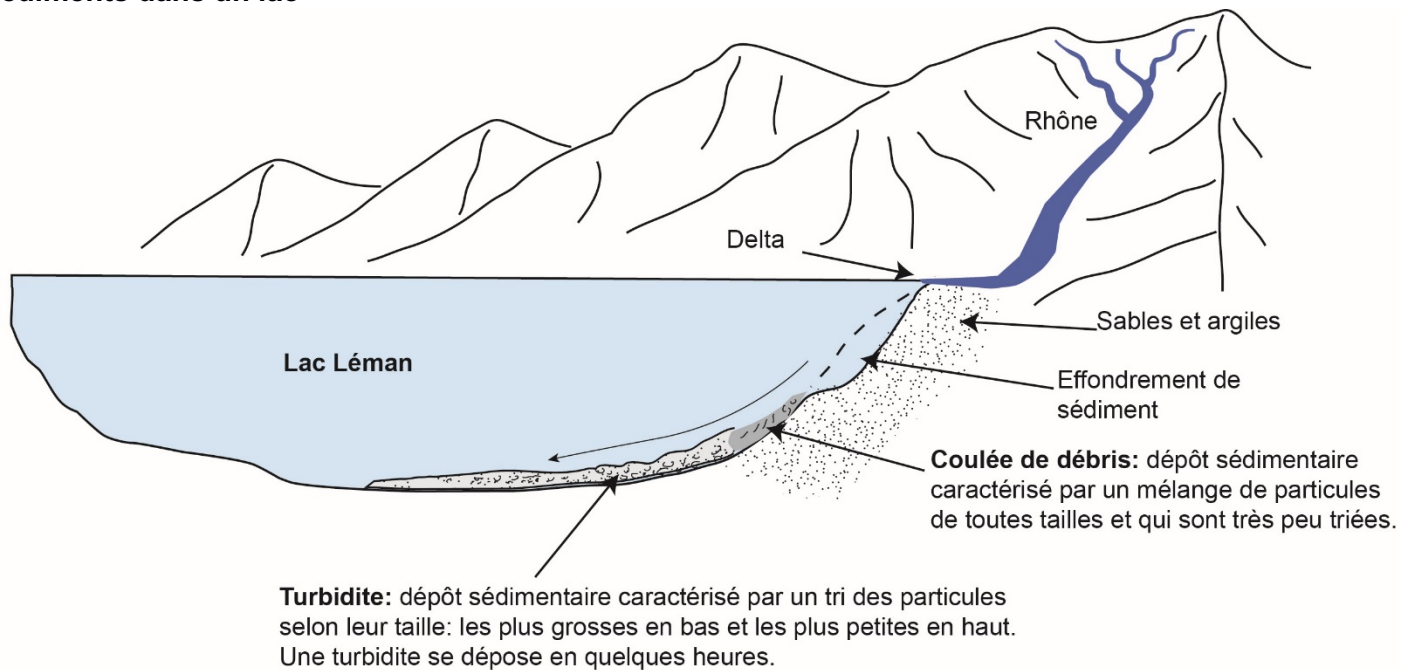


Un silt, appelé encore limon, correspond à un dépôt sédimentaire constitué de grains dont la taille est intermédiaire entre celle d'un sable et d'une argile.

Modifié d'après Kremer et al. (2012)

On peut dater des restes végétaux présents dans les sédiments de la carotte : la datation au carbone 14 (^{14}C , astérisques sur le graphique) donne des âges compatibles avec la catastrophe datée de 583 après JC.

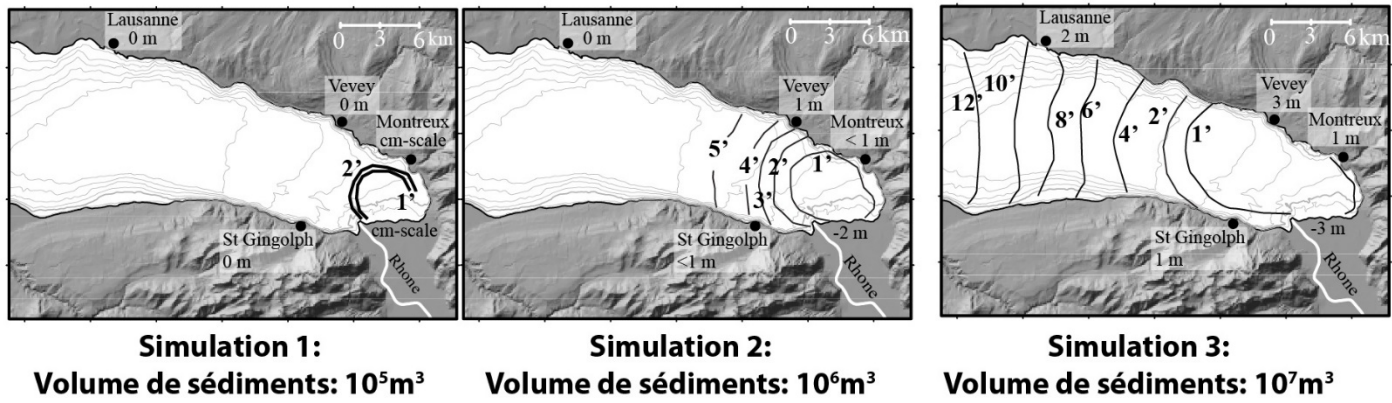
Document 5 - Schéma des processus sédimentaires associés à un effondrement de sédiments dans un lac



Modifié d'après Kremer (2014)

Document 6 - Modélisation du déplacement d'une vague générée par l'effondrement de sédiments du delta du Rhône dans le lac Léman

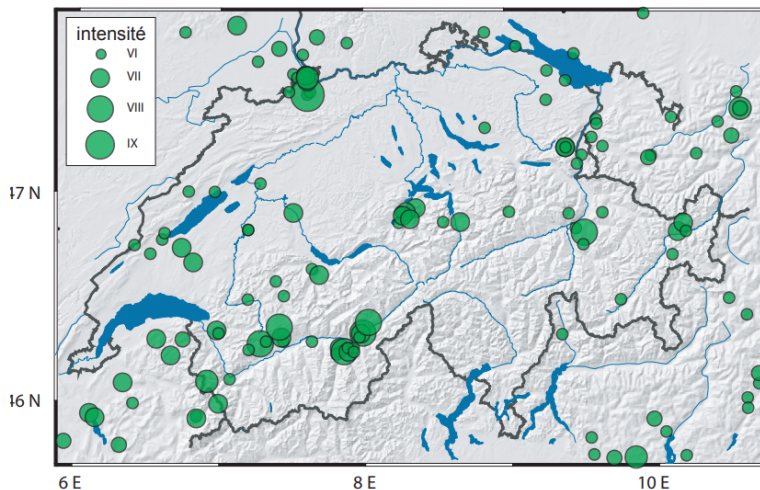
Trois simulations sont réalisées avec des volumes croissants de sédiments.



Modifié d'après Kremer et al. 2015.

Les traits noirs dans le lac indiquent le temps d'arrivée de la première vague en minutes.
Les valeurs sous le nom des villes indiquent la hauteur de la première vague quand elle atteint le rivage.

Document 7a - Carte des épacentres des séismes historiques* depuis l'année 250 jusqu'en 1950 ayant endommagé des bâtiments (intensité supérieure ou égale à VI) en Suisse et dans les régions limitrophes



*Séisme historique : séisme documenté par les témoignages historiques (écrit, images...)
La dimension des cercles correspond à l'intensité estimée des séismes dans les témoignages.
<http://www.seismo.ethz.ch>

Document 7b - Échelle de Mercalli (intensité des séismes)

VI	Séisme ressenti par tous ; excitation générale. Petits dégâts aux maisons de mauvaise construction.
VII	Alerte générale, tout le monde se précipite à l'extérieur. Arbres et buissons oscillent considérablement. Vagues perçues à la surface des étangs et des lacs.
VIII	Peur générale, proche de la panique. Arbres oscillent violemment, branches brisées. Éjection de petites quantités de sable et de boue.
IX	Panique générale. Dégâts considérables dans les structures. Sol fissuré.
X	Crevasses et importants glissements de terrain à partir des berges de rivières et dans les pentes abruptes. Sable et boue déplacés. Eau des rivières et des lacs projetée sur le rivage.
XI	Glissements de terrain, effondrements, larges fissures. Eau transportant du sable et de la boue éjectée du sol. Il ne reste pratiquement aucune structure de maçonnerie.

<http://www.seismescanada.mcan.gc.ca>

Une ressource géologique des Pyrénées : le talc de Trimouns

Le terme « talc » répond à plusieurs définitions : c'est d'abord, pour le grand public, une poudre blanche utilisée pour les soins corporels. C'est aussi, pour le géologue, un minéral, un silicate de magnésium hydraté de formule $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$. Sa composition théorique est la suivante :

- silice (SiO_2) : 63 % ;
- oxyde de magnésium ou « magnésie » (MgO) : 32 % ;
- eau (H_2O) : 5 %.

Par extension, l'exploitant appelle aussi « talc » la roche ou « minerai » à partir de laquelle il est produit.

On cherche à comprendre les mécanismes qui ont été à l'origine de la genèse d'un gisement de talc, le gisement de Trimouns.

◀ Talc cosmétique

▼ Échantillon de talc cristallin de la carrière de Trimouns

© Didier Descouens



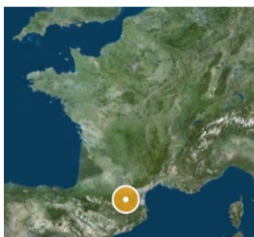
3cm

À partir des documents présentant le gisement de Trimouns et des documents de référence, expliquer comment et quand le gisement de talc de Trimouns s'est formé. de votre choix pour. Votre réponse devra être argumentée et exposer la chronologie des principaux événements en la resituant dans l'histoire géologique de la région.

Document 1 - La carrière de talc de Trimouns, présentation géographique et géologique

Situé à 1 700 m d'altitude environ, à 130 km à vol d'oiseau de Toulouse dans les Pyrénées arigeoises, près du village de Luzenac, le gisement de Trimouns est exploité à ciel ouvert depuis le milieu du 19^e siècle. C'est un des plus vastes gisements de talc au monde : il a déjà produit environ 20 millions de tonnes de talc marchand (430 000 tonnes de talc sont extraites par an avec de nombreuses applications telles que papier, cosmétique et pharmacie, céramique, épuration des eaux usées...) et les réserves sont estimées à 10 millions de tonnes.

La couche de talc est localisée en bordure Est du Massif de Saint Barthélemy. **Le gisement se caractérise par des niveaux de talc très blancs et purs**



100 km



Localisation du village de Luzenac

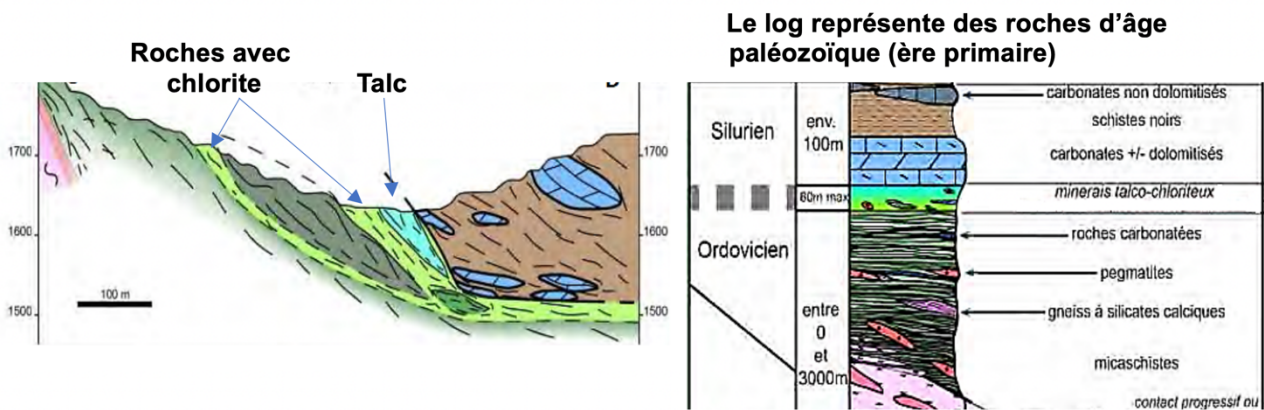
Source : Géologues n°155, p. 99



Vue aérienne de la carrière de Trimouns

D'après <http://www.lasim.org> et « Le gisement de talc de Luzenac : un géant de taille mondiale », Géologues n°155, p. 99-105, 2007

Document 2 – Coupe du gisement et détail du log correspondant à la coupe avec légende



Extrait de la thèse d'Alexandre Boutin « Étude des conditions de formations du gisement de talc-chlorite de Trimouns », 2016

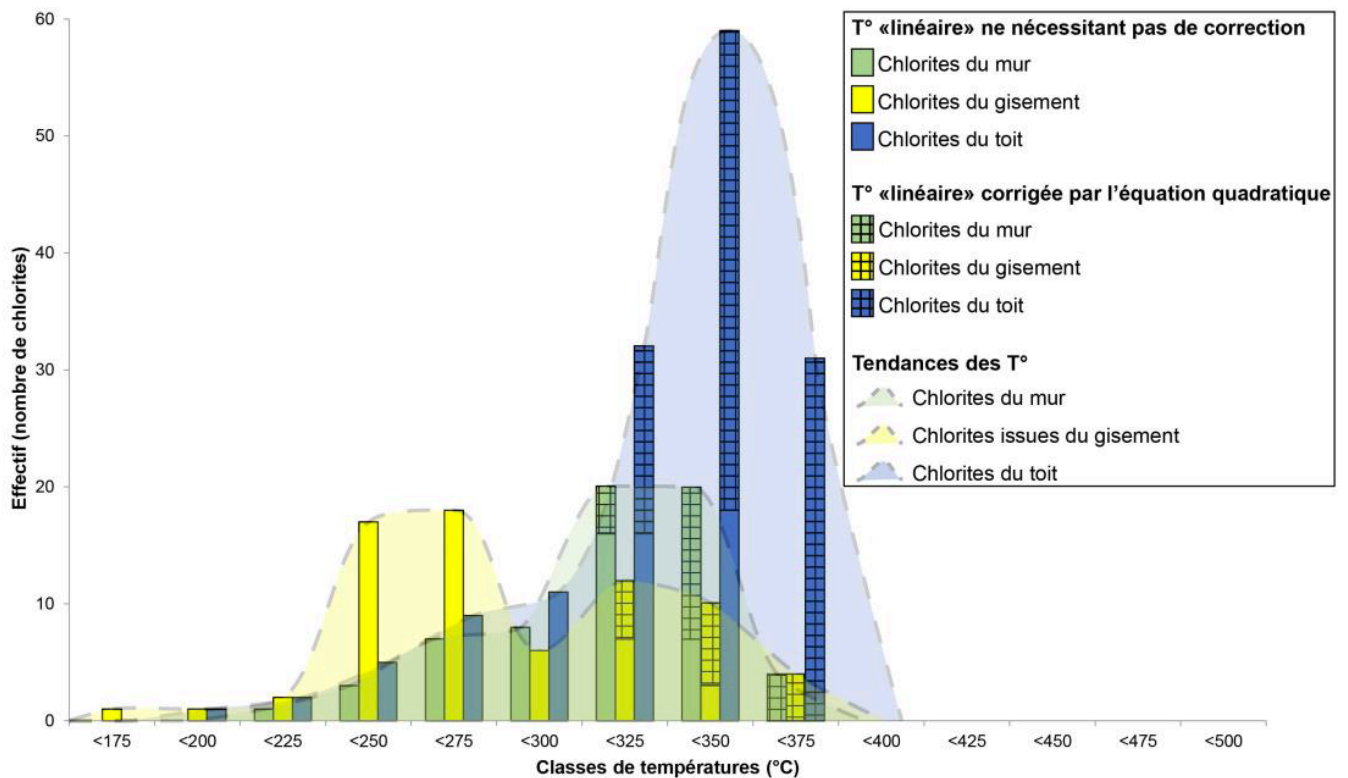
Les pointillés au niveau des minerais talco-chloriteux au niveau du log (■ ■ ■) indiquent la position des roches qui ont donné naissance au talc. Leur transformation en talc est postérieure.

Document 3 - Datation du gisement et évaluation des températures régnant lors de sa formation

Document 3a - Géotempératures des chlorites

Plusieurs géothermomètres ont été développés à partir d'une analyse chimique détaillée de la composition chimique des chlorites. Le graphique ci-dessous présente la fréquence (classes modales) des températures des chlorites de Trimouns selon la technique de Bourdelle et al, 2013.

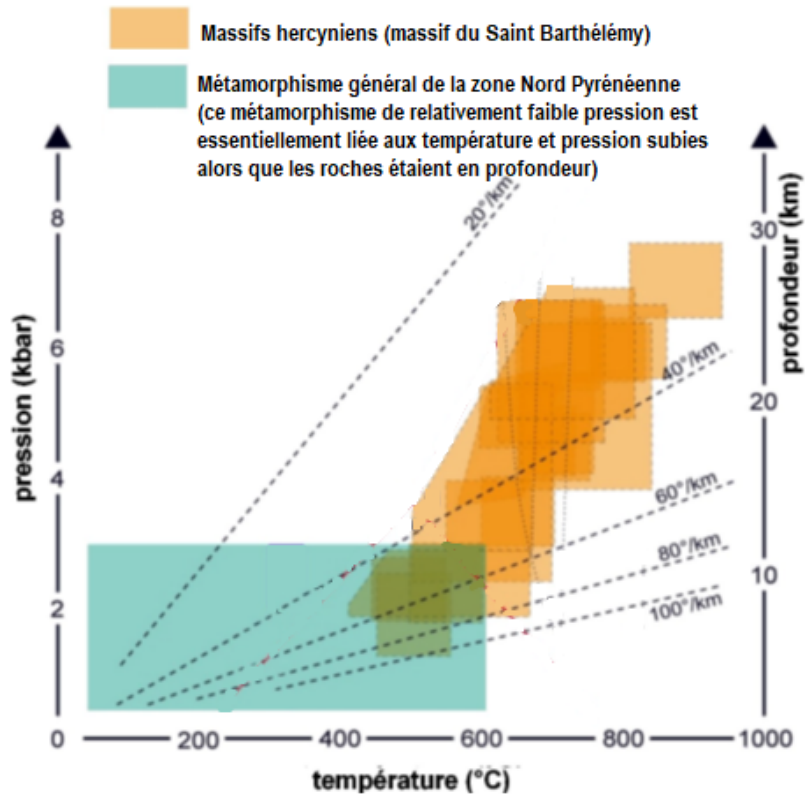
Les techniques de datation sont basées sur la décroissance radioactive.



Extrait de la thèse d'Alexandre Boutin « Etude des conditions de formations du gisement de talc-chlorite de Trimouns », 2016

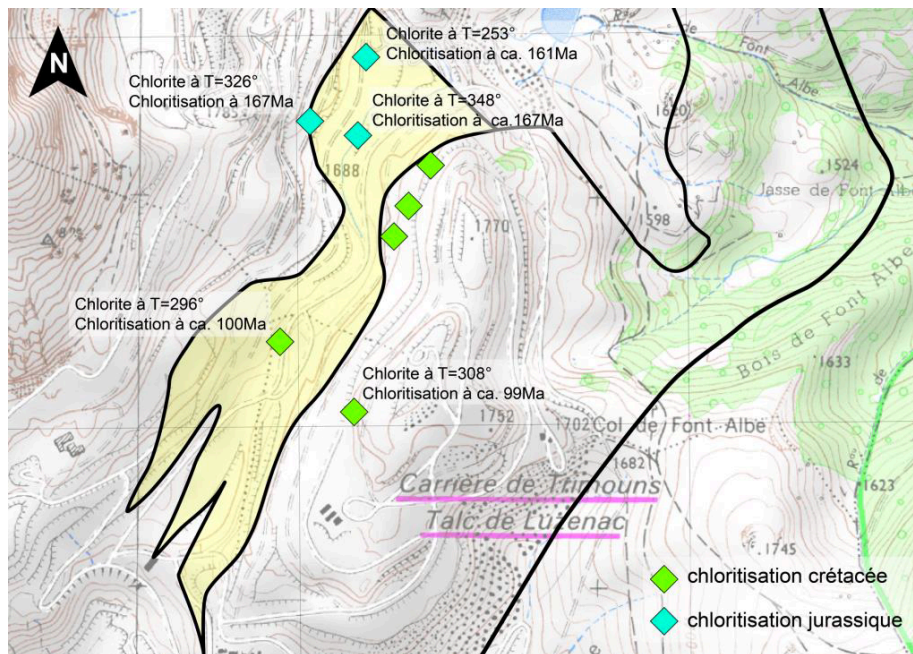
Dans un gisement on appelle le toit le sommet de la veine exploitée, le mur en est la base.

Document 3b - Pressions et températures de divers échantillons de roches



Document 3c - Datation et localisation de quelques prélèvements

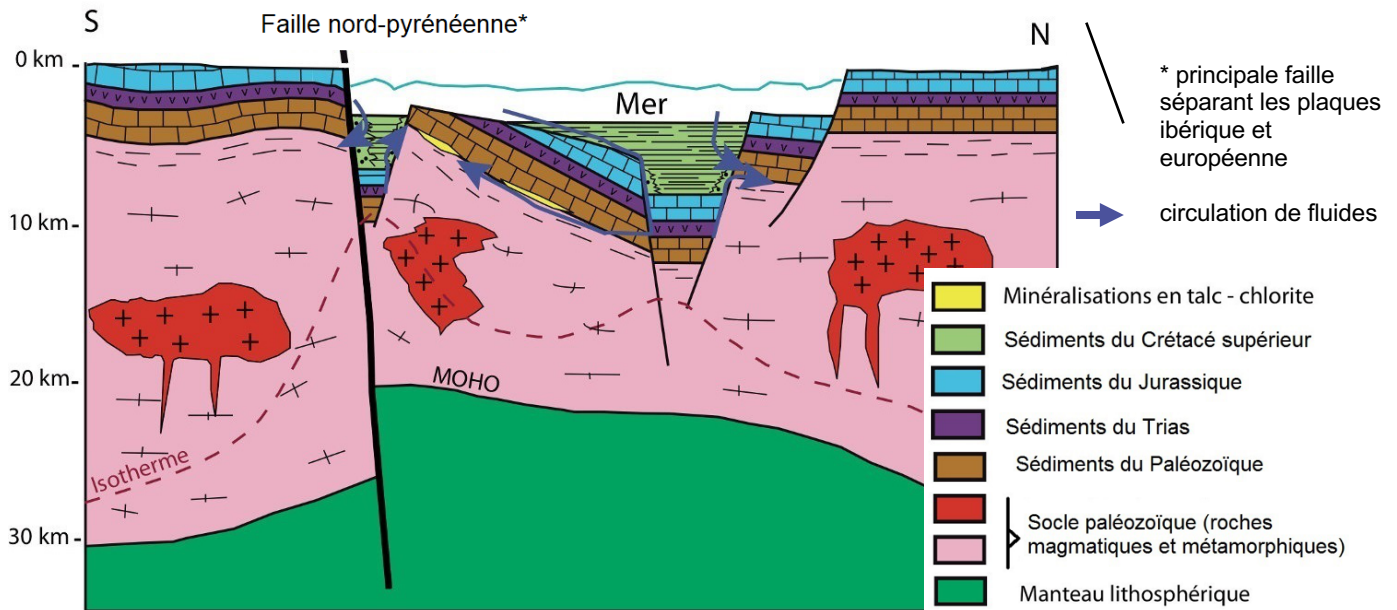
Les températures sont indiquées en °C



Etude des conditions de formations du gisement de talc-chlorite de Trimouns, Alexandre Boutin

Le gisement est situé dans la zone en jaune

Document 4 - Coupe schématique de la zone nord-pyrénéenne il y a 100 Ma



Documents de référence

A - Les conditions de formation des gisements de talc

Les gisements de talc proviennent de la transformation de roches préexistantes sous l'effet de **circulations hydrothermales, et avec un métamorphisme**, c'est-à-dire sous l'effet de la circulation de fluides chauds et riches en éléments minéraux qui modifient les roches. La présence de failles permet aux fluides de pénétrer la roche, ce qui facilite les réactions chimiques.

On distingue les gisements de talc selon les roches initiales. Le talc se forme notamment :

- 1) par l'altération hydrothermale de serpentinites en présence d'une eau riche en CO_2 .
Les serpentinites sont des roches riches en serpentine, une famille de minéraux de formule générale $(\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$.



Le talc présent dans ce type de gisement est généralement impur, sa couleur est d'un blanc terne.

- 2) par l'altération hydrothermale de dolomies, ce fluide étant cette fois riche en SiO_2 .
La dolomie est une roche sédimentaire carbonatée composée d'au moins 50 % de dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

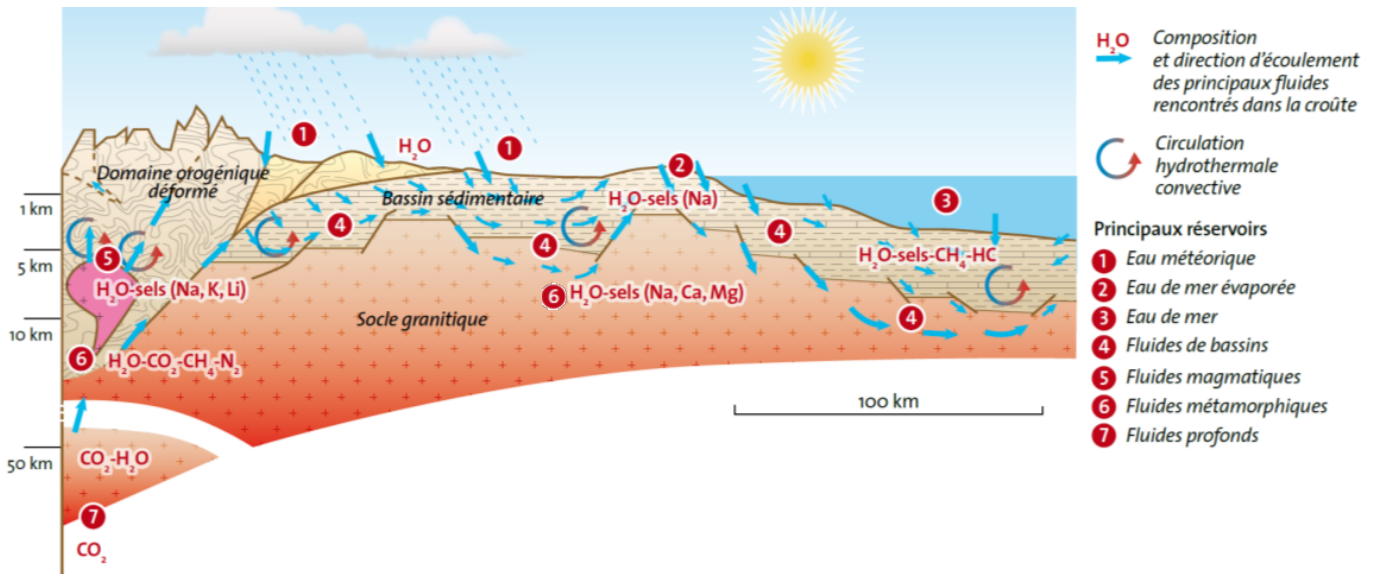


La silice est déjà présente dans la roche ou introduite par des solutions hydrothermales ayant traversé des roches riches en silice et aluminium (schistes, micaschistes, granites, gneiss, etc.). La présence d'aluminium permet en outre la formation de chlorite $[(\text{Mg,Fe})_{10} \text{Al}_2 (\text{Si,Al})_8 \text{O}_{20} (\text{OH,F})_{16}]$.

Ces talcs figurent parmi les plus purs et les plus blancs.

Sources : <http://infoterre.brgm.fr>, <https://www.mern.gouv.qc.ca>, <http://planet-terre.ens-lyon.fr>

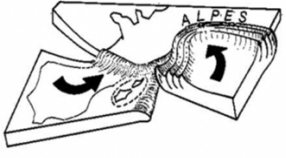
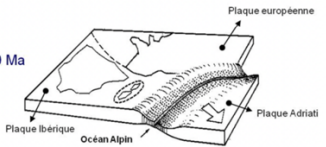
B - Les principaux réservoirs fluides, les circulations des solutions hydrothermales et leurs compositions dans la croûte terrestre



Origine des fluides	Température des fluides et pression	Composition	N° de référence sur le schéma
Bassin sédimentaire	50 à 250 °C Pression faible	Enrichi en Na ⁺ , Ca ²⁺ et Mg ²⁺	1 et 2 et 4
Magmas	350 °C à plus de 600 °C Pression faible	Enrichi en CO ₂ et en ions H ⁺	5
Zone du métamorphisme	300 à 500 °C Pression de 2 à 5 kilobars	Variable selon le contexte, peut être enrichi en SiO ₂ et en ions H ⁺ ou en CO ₂	6

D'après Michel Cathelineau, Marie-Christine Boiron, Johann Tuduri. Fluides et genèse des concentrations minérales. Geosciences, 2011, 13, pp.56-63.

C - L'histoire géologique des Pyrénées

Principales phases de l'histoire des Pyrénées	Âge	Schémas
Rapprochement des plaques ibérique et européenne à l'origine de la chaîne actuelle.	33 à 53 millions d'années	40 Ma 
Mouvement entre les des plaques ibérique et européenne ouvrant des failles sous-marines profondes avec nouveaux dépôts de sédiments qui se déposèrent alors sur la vieille chaîne hercynienne érodée.	200 millions d'années	150 Ma 
Phase de compression Plissement des terrains datés de l'Ordovicien au Carbonifère inférieur	360 à 290 millions d'années	
Dépôt des plus anciennes roches sédimentaires	500 millions d'années	

D - Échelle simplifiée des temps géologiques

Ere	Epoque/Période	Age
Quaternaire		1.75-0
Tertiaire	Pliocène	5.30-1.75
	Miocène	23.5-5.30
	Oligocène	33.7-23.5
	Eocène	65.0-33.7
	Paléocène	65.0-53
Secondaire	Crétacé	135-65.0
	Jurassique	203-135
	Trias	250-203
	Permien	295-250
Primaire	Carbonifère	355-295
	Dévonien	410-355
	Silurien	435-410
	Ordovicien	500-435
	Cambrien	540-500
	Protérozoïque	2500-540
Précambrien	Archéen	4550-2500