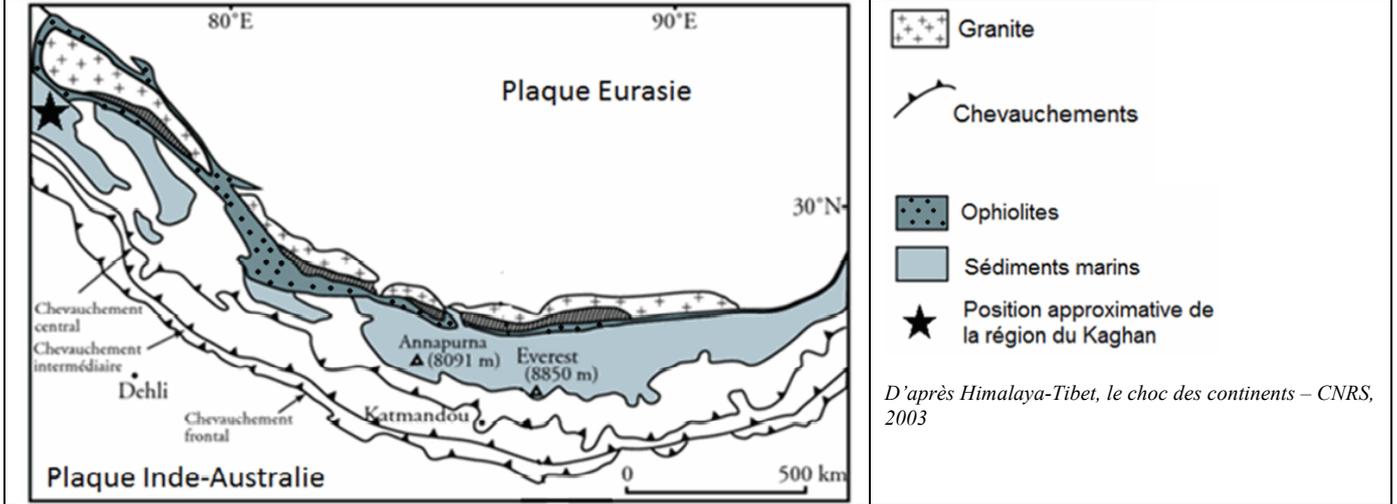


La formation de l'Himalaya

Selon le modèle actuel, la collision continentale se réalise après disparition par subduction de la lithosphère océanique. La subduction concerne aussi l'essentiel de la lithosphère continentale qui est entraînée par la lithosphère océanique.

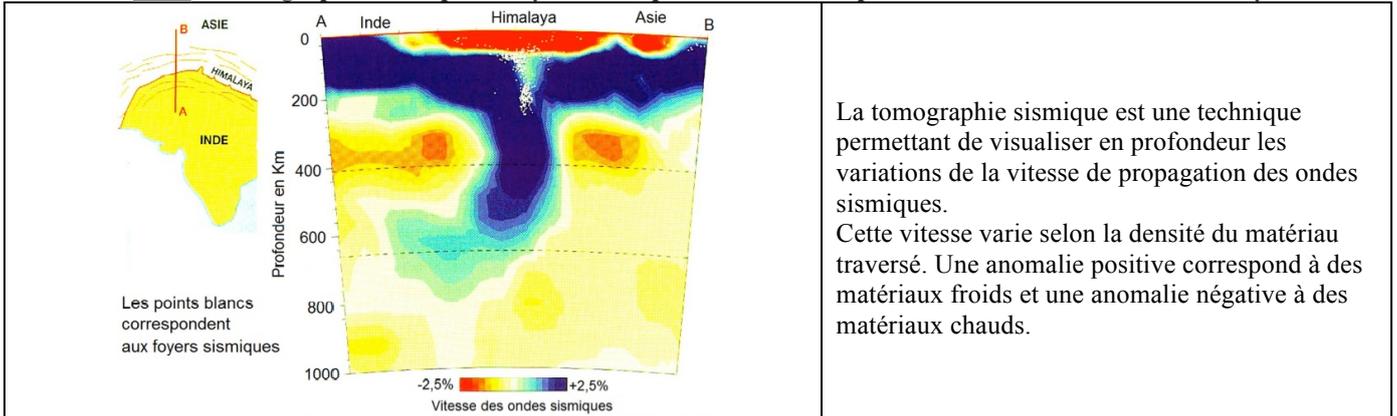
Retrouver à partir des documents des arguments qui valident la subduction de lithosphère océanique et de lithosphère continentale.

Document 1 : Carte géologique simplifiée de l'Himalaya.



D'après Himalaya-Tibet, le choc des continents – CNRS, 2003

Doc2 : Tomographie sismique et foyers sismiques selon une coupe nord-sud au niveau de l'Himalaya

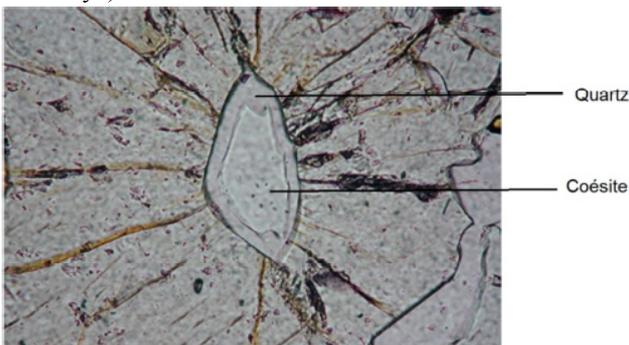


La tomographie sismique est une technique permettant de visualiser en profondeur les variations de la vitesse de propagation des ondes sismiques. Cette vitesse varie selon la densité du matériau traversé. Une anomalie positive correspond à des matériaux froids et une anomalie négative à des matériaux chauds.

D'après A. Replumaz et al, 2004

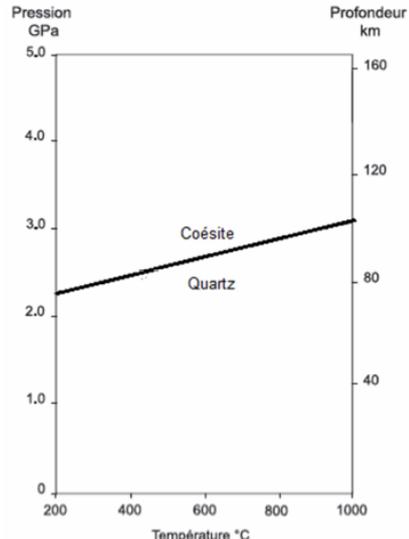
Document 3 : Microphotographie d'une lame mince d'une roche appartenant à la croûte continentale.

Cette roche a été récoltée dans la vallée du Kaghan (ouest de l'Himalaya).



D'après J.P. Perrillat. Site : www.planet-terre.ens-lyon.fr, 2003

Document 4 : Domaine de stabilité des 2 minéraux visibles sur la roche.



D'après D. Boutelier. Thèse de doctorat. Université de Nice-Sophia Antipolis, 2004

Origine de quelques granites post-collision

Les granites étudiés dans le domaine continental sont caractérisés par une grande diversité qui reflète leurs multiples origines.

Ainsi, dans les zones de subduction, les granites se forment par fusion partielle des péridotites hydratées du manteau lithosphérique.

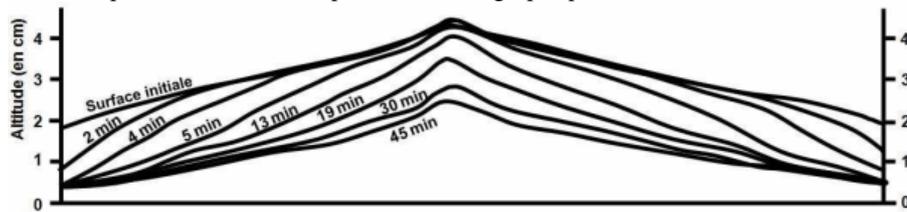
D'autres granites, mis en place au cours de la formation d'une chaîne de collision, ont pour origine une fusion partielle de matériaux continentaux, consécutive à un épaissement du domaine continental.

Enfin, certains granites, qualifiés de « tardifs », se mettent en place au cours des derniers stades de l'évolution d'une chaîne de montagnes.

A partir de l'exploitation des documents mis en relation avec les connaissances, proposer une explication à la formation de ces granites tardifs.

Document 1 : résultat d'expérience de simulation sur la morphologie d'une chaîne de montagnes

En laboratoire, l'évolution d'une chaîne de montagnes soumise aux effets des précipitations est modélisée à l'aide d'un matériau meuble sur lequel de l'eau est pulvérisée. L'altitude de la chaîne modélisée est évaluée à différents temps et son relief est représenté sur le graphique ci-dessous :



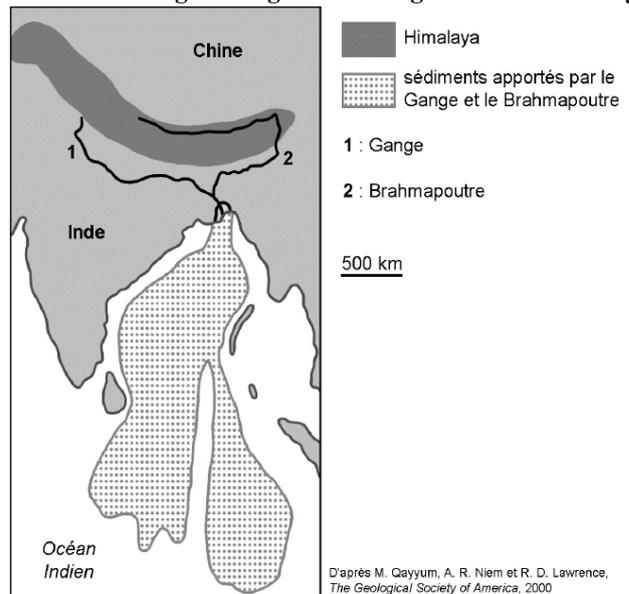
Doc2 : résultat d'une étude menée sur la chaîne de l'Himalaya, sur les fleuves Gange et le Brahmapoutre.

Le golfe du Bengale forme la partie du nord-est de l'océan Indien. Dans sa partie nord, se jettent le Gange et le Brahmapoutre, deux fleuves provenant de la chaîne de montagnes de l'Himalaya.

Les études scientifiques montrent que ces 2 fleuves ont apporté dans le delta $1,27 \cdot 10^7 \text{ km}^3$ de sédiments en 50 millions d'années.

D'après Goobred Jr and Kuehnb, 2000

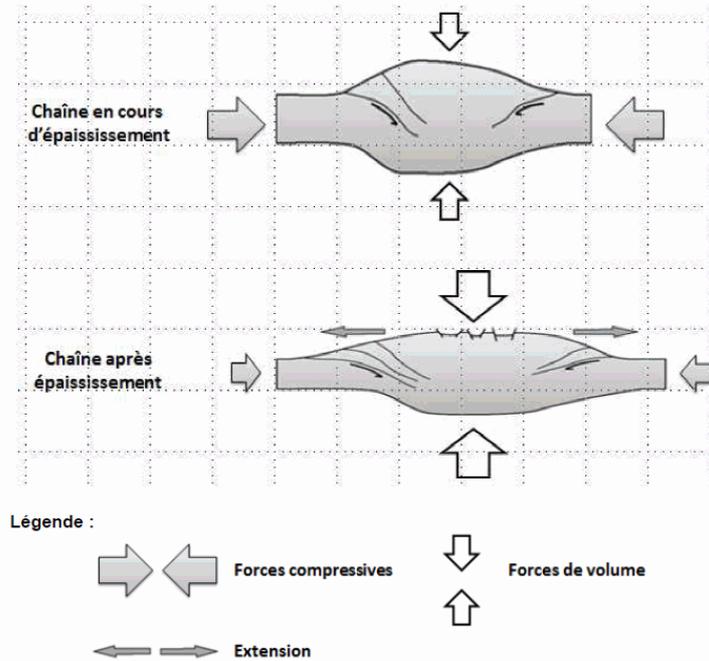
Carte de la région du golfe du Bengale et de l'Himalaya



Document 3 : distribution des forces compressives et des forces de volumes dans une chaîne de montagnes

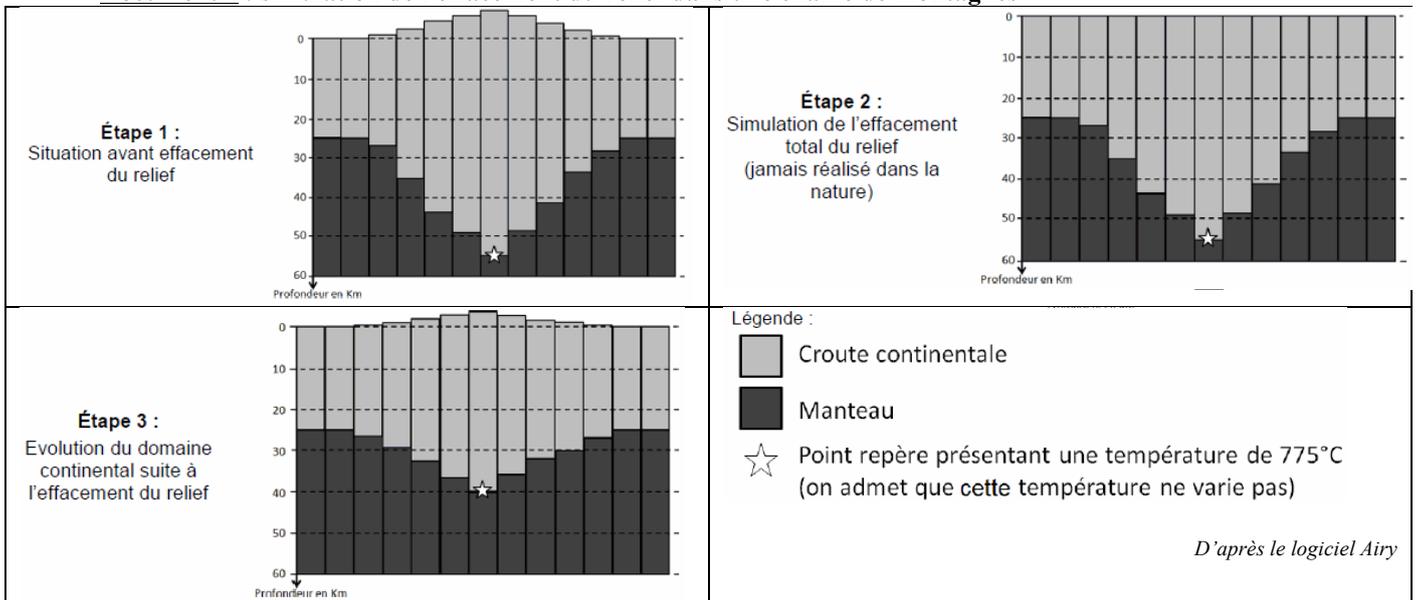
Au niveau d'une chaîne de montagnes, des forces compressives provoquent l'épaississement de la croûte continentale. Mais après épaissement, les forces compressives peuvent devenir inférieures aux forces de volume alors liées au poids du relief. Dans ces conditions, la croûte continentale ne s'épaissit plus mais, au contraire, s'étale sous l'effet de la gravité.

Schéma représentant les forces de volume et forces compressives dans une chaîne de montagnes

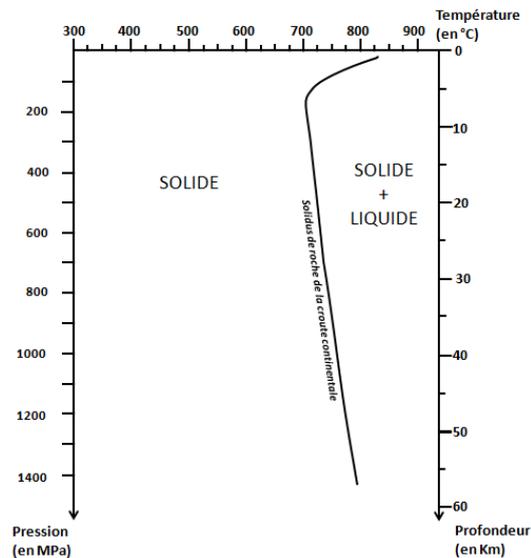


D'après R.Augier, Evolution tardi-orogénique des cordillères bétiques (Espagne): apports d'une étude intégrée, Thèse, 2004

Document 4 : simulation de l'effacement du relief dans une chaîne de montagnes



Document 5 : diagramme pression - température permettant de déterminer les domaines de l'état physique de roches de la croûte continentale



D'après La banque de schéma SVT académie de Dijon

La peinture murale de Çatalhöyük

Les vestiges de Çatalhöyük (Turquie), vieux de plusieurs milliers d'années, constituent l'une des plus anciennes villes connues. On y a découvert la peinture murale suivante :



L'interprétation de cette peinture fait l'objet d'une controverse. Selon certains chercheurs elle représenterait une peau de léopard au-dessus de motifs géométriques. Pour d'autres, il s'agirait d'un volcan en éruption explosive surplombant un plan de la ville. Si cette seconde hypothèse est exacte, alors cela signifie que les habitants de Çatalhöyük qui ont réalisé cette peinture ont assisté à l'éruption.

A l'aide de l'exploitation des documents proposés et de vos connaissances, identifier les arguments qui plaident en faveur de la seconde hypothèse.

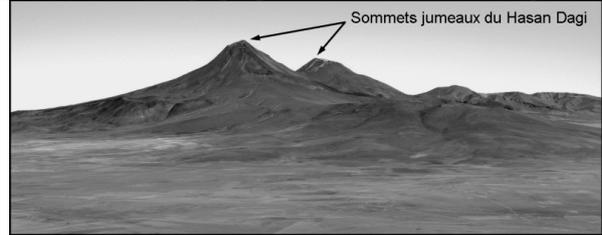
Document 1 : quelques éléments régionaux

Document 1.a : représentation de l'ancienne ville de Çatalhöyük à l'époque de la peinture



D'après <http://leavingbabylon.files.wordpress.com/2010/09/catal2.jpg>

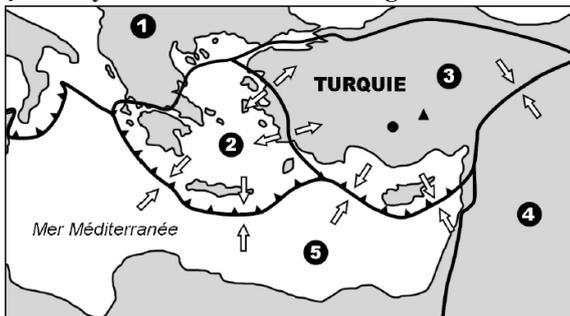
Document 1.b : topographie du mont Hasan Dagi



D'après Google Earth, facteur d'élévation x 1,3

Le mont Hasan Dagi est situé à 130 km du site de Çatalhöyük. Cette montagne est notamment formée d'andésites et de rhyolites.

Document 2 : contexte géodynamique de Çatalhöyük et du mont Hasan Dagi



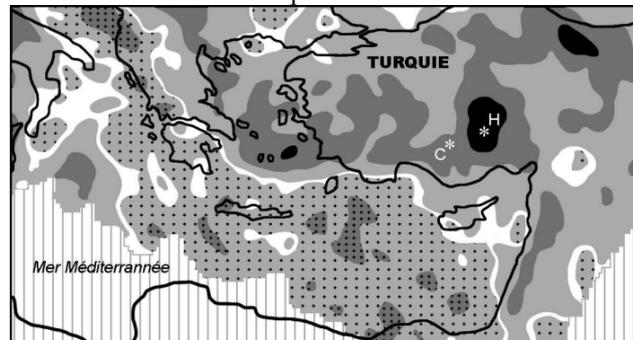
- ① Plaque Eurasiatique ③ Plaque Anatolienne ⑤ Plaque Africaine
- ② Plaque Hellénique ④ Plaque Arabique

Subduction de la plaque Africaine ▲ Mont Hasan Dagi
● Vestiges de Çatalhöyük

D'après IAG (2007-2011) et Y. Dilek et al., Geological Society of London, 2009

Document 3 : écart de la vitesse des ondes sismiques par rapport à la normale (en %), à une profondeur de 50 km

Les ondes ont une vitesse plus faible dans un milieu chaud.



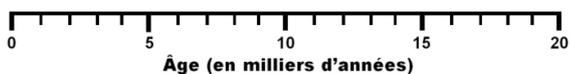
200 km
C = Çatalhöyük H = Hasan Dagi
Données non disponibles

D'après I. Koulakov et al., Geophysical Journal International, 2009

Document 4 : résultats de différentes méthodes de datations

Document 4.a : datation de trois cristaux de zircons trouvés dans les andésites situées sur l'un des sommets du mont Hasan Dagi

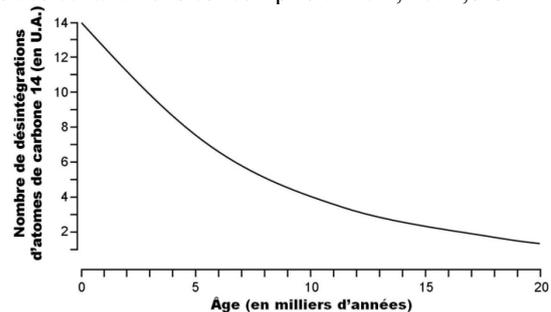
- Zircon n°1
- Zircon n°2
- Zircon n°3



D'après A. K. Schmitt et al., PLOS ONE, 2014

Document 4.b : datation au carbone 14 de charbons de bois associés à la peinture murale de Çatalhöyük

Le nombre de désintégrations d'atomes de ¹⁴C dans ces échantillons est compris entre 4,2 et 4,8 U.A.



0 = actuel

2^{ème} PARTIE – Ex1 - Pratique d'un raisonnement scientifique dans le cadre d'un problème posé. 3 points.

A partir des informations fournies dans le document ci-dessous, montrer que l'on a dans cette région des preuves d'un mouvement de compression à l'origine des Pyrénées.

Document 1 : Photographies du cirque de Barrosa dans les Pyrénées

	<p>Schistes Dévonien moyen (-390 Ma à -375 Ma)</p> <p>Calcaires blancs Dévonien inférieur (-410 Ma à -390 Ma)</p> <p>Pérites Silurien (-435 Ma à -410 Ma)</p> <p>Calcaires Crétacé inférieur (-135 Ma à -95 Ma)</p>
<p>Photo d'ensemble du cirque de Barrosa et âges des formations</p>	
	 <p>Localisation</p>
<p>Photo de détail du pic de la Munia (vu d'un autre angle)</p>	

Sources photographiques : commons.wikimedia.org

Exercice 1.

On cherche, à partir de l'exemple de la chaîne de collision himalayenne, à valider la subduction de LO et de LC.

Doc1. Document pas facile à manier puisqu'il faut le raccorder à la problématique... Quelques pistes :

- les chevauchements indiqués : les picots sont dirigés du côté de la plaque chevauchante. Ainsi, on peut deviner que la plaque Indo-Australienne plonge sous la plaque Eurasienne (trois séries de chevauchements parallèles visibles).

- Les sédiments marins et les ophiolites (cortège de roches de la LO dont basaltes en coussins, en filons, gabbros et péridotites) montrent qu'il y a eu auparavant une LO qui a disparu. La seule explication envisageable est : par subduction.

- Les granites situés au nord de la chaîne, et alignés parallèlement aux sédiments marins et ophiolites semblent confirmer la subduction de la LO (mais on ne connaît pas la nature des granites, et tous les granites du monde ne sont pas liés à un contexte de subduction).

Doc2. La tomographie sismique présente une vaste zone d'anomalies positives de vitesses sous l'Himalaya, zone qui se prolonge environ jusqu'à 600 km de profondeur (proche de la limite asthénosphère- manteau inférieur). Cela signifie que la vitesse des ondes est accélérée, et donc qu'elles traversent un milieu froid.

Il s'agit a priori de la trace d'une plaque plongeante. Un autre argument vient confirmer cette hypothèse : ce sont les foyers sismiques (alignés suivant un plan qui suit la zone froide, jusque vers 200 km de profondeur. Sa nature ne peut être déterminée ici (mais il s'agit de LC et de LO plus en profondeur).

On devine cependant le sens de subduction : c'est la plaque Indo-Australienne qui plonge sous la plaque Eurasie.

Doc3 mis en relation avec le doc4.

On observe une photographie d'une roche appartenant à la CC récoltée à l'ouest de l'Himalaya. On remarque un minéral, la coésite, inclus dans du quartz (les deux minéraux ont même formule chimique et sont polymorphes). Le doc4 nous montre les domaines de stabilité des deux minéraux. Le quartz correspond à la forme de BP-MP voir HP (jusqu'à 2 à 3 GPa suivant la température du milieu) soit 80 à 100 km de profondeur. La coésite, quant à elle, apparaît au-delà de ces profondeurs donc à UHP.

Cela montre donc que cette roche de la CC est descendue au moins au delà d'une centaine de km de profondeur, soit très profondément (l'épaisseur standard d'une CC étant de 30 à 35 km) et va donc dans le sens d'une subduction continentale.

Conclusion.

Au niveau de l'Himalaya, la subduction peut être confirmée par divers arguments.

- La subduction océanique : traces de l'ancienne LO à la suture entre les deux plaques, granites de subduction, tomographie sismique ;
- La subduction continentale par la présence de coésite dans des roches de nature continentale, les divers chevauchements, la tomographie sismique.

Exercice 2.

On cherche à expliquer la formation de granites tardifs (= post-collision) donc différents de granites consécutifs au fonctionnement d'une zone de subduction ou suite à l'épaississement crustal (Cf. énoncé).

Doc1. On pratique une expérience de simulation sur la morphologie d'une chaîne de montagnes. On emploie pour cela un matériau mou (facilement lessivable, et qui mime le relief) sur lequel on pulvérise de l'eau. On remarque qu'au cours du temps, l'altitude du relief diminue, plus particulièrement en bas du dôme initialement constitué. La totalité du relief (dôme compris) finit par diminuer d'altitude (environ 2 à 3 cm sur les 4 initiaux au maximum) au cours du temps.

Cela montre qu'au cours du temps, l'érosion participe à la diminution de la hauteur des reliefs.

Doc2. On étudie cette fois la chaîne de collision de l'Himalaya, et plus particulièrement deux fleuves dont le bassin d'alimentation provient en grande partie de cette chaîne. Ce sont le Gange et le Brahmapoutre. Ces fleuves se jettent dans l'océan Indien au niveau du Golfe du Bengale. On remarque d'ailleurs un vaste dépôt de sédiments dans le Golfe : ils se déposent jusqu'à plus de 3000 km de l'embouchure des deux fleuves (il est indiqué d'ailleurs que ces 2 fleuves ont apporté dans le delta $1,27 \cdot 10^7$ km³ de sédiments en 50 millions d'années).

Ainsi, les eaux de ces deux fleuves ont transporté d'énormes quantités de sédiments de diverses tailles : ions solubles, particules (débris)... En reliant au document 1, on peut dire que ces sédiments proviennent de l'altération physique et chimique des reliefs himalayens. L'eau de ces deux fleuves constitue alors un vecteur de transport de ces sédiments, qui se déposent alors dans le Golfe du Bengale. C'est l'érosion.

Doc3. Il reprend partiellement un schéma du livre : le relief s'épaissit tant que les forces horizontales (compressives) sont supérieures aux forces verticales (poids des reliefs et poussée d'Archimède).

Lorsque les forces compressives diminuent et/ou deviennent inférieures au poids et à la poussée d'Archimède, le relief s'écroule (ce qui peut arriver lorsque l'altitude + la racine crustale deviennent trop importants). Cela se manifeste notamment en surface par des failles normales.

Cela montre ici que la tectonique participe aussi à la destruction des reliefs (et donc au retour vers une CC d'épaisseur standard).

Doc4. Il propose des simulations de la disparition des reliefs.

L'état initial montre la racine crustale (55km pour le point repère) auquel répond en surface la chaîne de montagnes que l'on peut visualiser (quelques milliers de mètres).

L'étape 2 montre uniquement un effacement des reliefs positifs (donc l'action de l'érosion montrée dans le document 1). La racine crustale ne bouge pas (le point repère reste à 55 km de profondeur).

L'étape 3 montre également un effacement des reliefs, mais à la fois par le haut (érosion) et par le bas (remontée de la racine crustale concomitante à l'érosion, voir document 3). Le point repère initialement situé à 55 km de profondeur remonte alors, et on le retrouve à 40 km de profondeur dorénavant.

A noter que dans les trois cas, la température du point repère ne varie pas et reste aux alentours de 775°C.

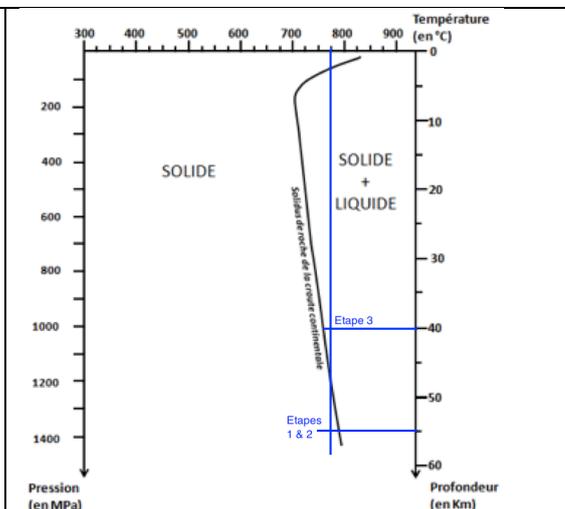
Ce document confirme ainsi que le démantèlement des reliefs se fait par un double processus : érosion et tectonique.

Document 5 mis en relation avec le doc4.

Ce document n'a de sens que si il est mis en relation avec le précédent. Il s'agit d'un diagramme PT permettant de déterminer l'état physique de roches de la CC. On remarque également le solidus d'une roche de la CC (ligne qui sépare le domaine solide de solide + liquide, CAD que la FP débute).

Quand on reprend les coordonnées de notre point repère dans les étapes 1 et 2, puis 3 (le mieux est de reprendre et compléter le document), cela donne :

On voit que dans les étapes 1 et 2, les conditions PT ne sont pas réunies pour franchir le solidus : la roche de la CC ne fond pas. En revanche, dans l'étape 3, le solidus est franchi, et il y a fusion partielle. Comme ce stade est atteint tardivement dans l'histoire de la chaîne de montagnes, on a les conditions favorables pour l'obtention de granites tardifs.



Conclusion.

Deux processus sont responsables de la diminution d'altitude des chaînes de montagnes :

- le premier, l'érosion (qui se traduit pas une altération, un transport puis une sédimentation) débute dès l'apparition des premiers reliefs ;
- le second, la tectonique arrive plus tardivement dans l'évolution des reliefs : suite à une extension, l'altitude des reliefs diminue et la racine crustale remonte.

Cela permet la remontée de roches initialement présentes à grande profondeur dans la racine crustale. La décompression engendrée, associée à une température qui ne varie que peu, leur permet de franchir leur solidus et de subir la FP ce qui peut conduire à la mise en place de granites tardifs.

Exercice 3.

On demande de valider l'hypothèse qui affirme que la ville turque a connu une explosion proche il y a quelques milliers d'années.

Doc1a. Représentation de la ville qui ressemble à la peinture (motifs géométriques).

Doc1b. Avec aussi un volcan situé à une centaine de km qui ressemble à la peinture (sommets jumeaux). Volcan andésitique et rhyolitique.

Document 2. Zone située à la jonction de plusieurs plaques tectoniques, dont l'africaine, l'arabique, et l'anatolienne pour ce qui concerne la ville. A proximité, la plaque africaine entre en subduction sous la plaque anatolienne (ce que l'on peut relier à la nature des roches du volcan : volcanisme acide de subduction).

Document 3. La vitesse des ondes sous la ville est ralentie (valeur à donner) : ceci est à relier à la présence d'un milieu chaud (à l'aplomb du volcan). Au niveau de la Méditerranée, c'est plutôt l'inverse (à relier cette fois-ci à un milieu froid). Cela confirme la subduction (et aussi le fait que c'est la plaque froide africaine qui plonge sous l'anatolienne).

Document 4a. Les andésites ont été datées via les zircons qu'elles contiennent. Age compris entre 7500 et 11000 ans environ.

Document 4b. La datation au carbone 14 montre un nombre de désintégrations compris entre 4,2 et 4,8 UA : par lecture graphique, cela correspond à un âge de 9000 ans environ, ce qui indique l'âge de la peinture murale et est cohérent avec la datation des zircons.

Conclusion : la présence d'un volcanisme de subduction à proximité de la ville, vraisemblablement actif il y a une dizaine de milliers d'années et contemporain de la peinture confirme donc la deuxième hypothèse. Ce volcanisme, associé à une remontée de magma, s'est effectué à l'interface entre les plaques africaine et anatolienne.

Exercice 4.

On cherche des preuves de compression dans le massif pyrénéen.

La première partie du document montre le cirque de Barrosa. On remarque une succession verticale de formation de différents âges, avec de bas en haut : Crétacé (jeune), Silurien (vieux), Dévonien inférieur (plus jeune) et moyen (encore plus jeune).

On observe donc un contact anormal (vieux sur formation plus jeune) : c'est la trace d'un chevauchement, marqueur tectonique de l'épaississement crustal associé aux chaînes de montagnes, donc aux mouvements de compression

(Schéma possible).

La deuxième partie montre le pic de la Munia : on y distingue une formation rocheuse non identifiée, plissée (donc non horizontale).

Le pli est là aussi un marqueur tectonique de l'épaississement crustal associé aux chaînes de montagnes, donc aux mouvements de compression

(Schéma possible).

Conclusion. On a donc ici deux preuves d'un mouvement de compression à l'origine des Pyrénées :

- un chevauchement ;
- un pli.