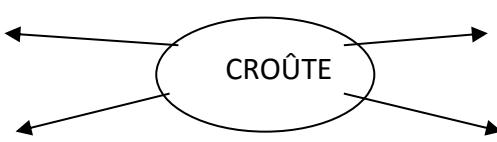


PROGRAMME DE REVISIONS - TERM S/2016

PARTIES DU PROGRAMME - ENSEIGNEMENT OBLIGATOIRE	ENTRAINEMENT
THEME 1 - LA TERRE DANS L'UNIVERS – LA VIE – L'EVOLUTION DU VIVANT	
THEME 1B – LE DOMAINE CONTINENTAL ET SA DYNAMIQUE	
Chp I: CARACTERISATION DU DOMAINE CONTINENTAL : lithosphère continentale, reliefs et épaisseur crustale, densité, âge.	Semaine 11-17 avril EXOS Annabac GEOL 1
<ul style="list-style-type: none"> ➔ Une lithosphère en équilibre <ul style="list-style-type: none"> ○ Caractéristiques de la lithosphère continentale ○ Densité de la croûte continentale ➔ Une épaisseur crustale liée à une tectonique convergente <ul style="list-style-type: none"> ○ Apport de la sismologie ➔ Âge de la croûte et radiochronologie 	
Chp II: CONVERGENCE LITHOSPHERIQUE : formation des chaînes de montagnes.	Semaine 18-24 avril EXOS Annabac GEOL 1
<ul style="list-style-type: none"> ➔ Convergence et COLLISION <ul style="list-style-type: none"> ○ Formation d'une chaîne de montagne ○ Indices tectoniques ○ Indices pétrographiques ○ Les Alpes et l'Himalaya, deux chaînes de collision ➔ Subduction ante-collision <ul style="list-style-type: none"> ○ Les OPHIOLITES : Témoins d'une subduction ante-collision ○ Les marqueurs d'une subduction ○ Transformations minéralogiques, indices d'un enfoncement crustal ○ Densités lithosphériques : un moteur de la subduction ➔ Le MAGMATISME des zones de subduction : une production de matériaux <ul style="list-style-type: none"> ○ Magmatisme associé et création de nouveau matériau continental ○ Mécanisme de fusion partielle et remontée des magmas ➔ Bilan schématique subduction – collision <ul style="list-style-type: none"> ○ Evolution de la lithosphère : Erosion et réajustement isostasique 	Semaine 25 avril-1 mai EXOS Annabac GEOL 1
Chp III: La DISPARITION DES RELIEFS.	Semaine 4-10 mai (+ Géothermie) EXOS Annabac GEOL 1
<ul style="list-style-type: none"> ➔ Altération et érosion <ul style="list-style-type: none"> ○ De la roche aux sédiments ○ Altération chimique des minéraux ➔ Transport et sédimentation <ul style="list-style-type: none"> ○ L'EAU, agent principal d'érosion, de transport et de sédimentation ➔ Le cycle des matériaux de la croûte continentale <ul style="list-style-type: none"> ○ Notion de recyclage de la croûte continentale 	
CARACTERISTIQUES Physico-chimiques	

Datation d'un granite Durée: 20 min

Un spectromètre de masse a mesuré dans les minéraux d'un granite les nombres d'atomes (N) de ^{87}Sr , ^{86}Sr et ^{87}Rb . Les résultats sont exprimés sous la forme d'un rapport isotopique. Le taux de strontium actuel correspond à :

$$\left(\frac{N^{87}\text{Sr}}{N^{86}\text{Sr}} \right)_{\text{mesuré}} = (e^{\lambda t} - 1) \left(\frac{N^{87}\text{Rb}}{N^{86}\text{Sr}} \right)_{\text{mesuré}} + \left(\frac{N^{87}\text{Sr}}{N^{86}\text{Sr}} \right)_{\text{initial}} \quad \text{Avec la constante de désintégration } \lambda = 1,42 \cdot 10^{-11}$$

$$\text{Cette équation est celle d'une droite } (y = ax + b), \text{ avec } t = \frac{\ln(a+1)}{\lambda}.$$

La méthode des isochrones est utilisée pour déterminer l'âge du granite (doc. 1).

Doc 1 Méthode des isochrones

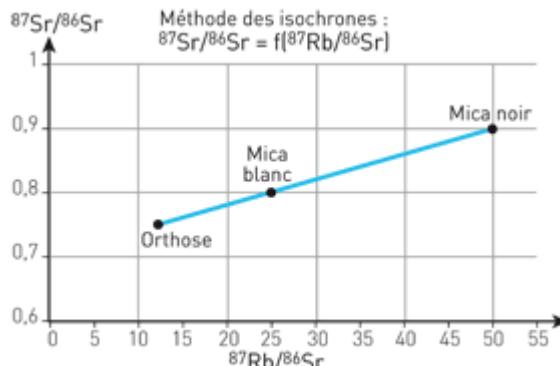


Table de valeurs de la fonction

Coefficient directeur de l'isochrone a	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,01
Âge du granite t (millions d'années)	70,4	141	211	281	351	421	491	561	631	701

1. Montrez que les trois minéraux proviennent bien d'un même magma.

2. Déterminez l'âge absolu de ce granite.

CORRIGÉ : Datation d'un granite

1. Les points relatifs aux trois minéraux du granite sont disposés suivant une droite. Ils ont donc le même âge, ce qui signifie qu'ils peuvent provenir de la cristallisation d'un même magma. Cette droite recoupe l'axe des ordonnées à 0,70, ce qui donne le rapport $\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$ initial dans le magma à l'origine du granite.

2. On détermine graphiquement le coefficient directeur de la droite :

$$a = \frac{(0,90 - 0,70)}{50} = \frac{0,20}{50} = 0,004$$

$$t = \frac{\ln(a+1)}{\lambda}$$

D'après la table de valeur de la fonction, l'âge du granite est : $t = 281 \text{ Ma}$

Comprendre la signification d'une courbe isochrone Durée: 20 min

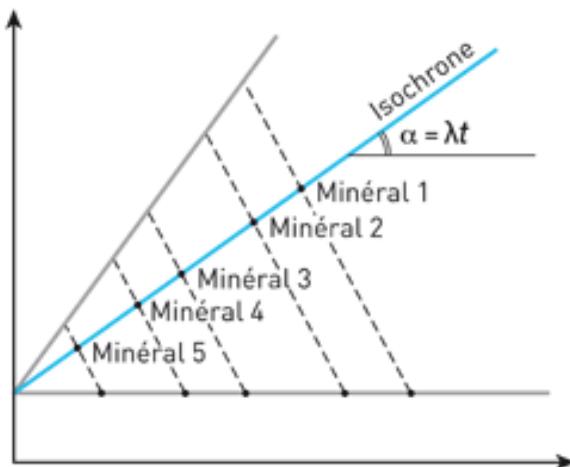
1. On mesure l'âge t_1 d'un granite (par exemple) par la méthode Rb/Sr.

Placez les légendes appropriées sur les axes du graphique (doc. 1).

2. On imagine les droites qu'on aurait tracées si le granite avait été plus vieux (temps t_2) ou s'il venait de se former (temps t_0).

Placez les légendes correspondantes sur les droites du graphique.

Doc 1 Diagramme isochrone à compléter.



Légendes à placer :

Temps t_0
Temps t_1
Temps t_2 ($t_2 > t_1$)
 $\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$ mesuré
 $\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$ mesuré
 $\frac{^{87}\text{Sr}_0}{^{86}\text{Sr}}$

3. Identifiez les réponses exactes.

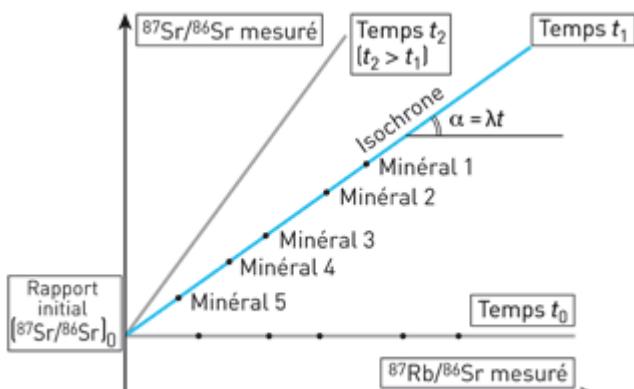
- Au temps t_0 , les minéraux avaient tous le même rapport $\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$.
- Au temps t_0 , les minéraux avaient tous le même rapport $\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$.
- Au temps t_1 , le rapport $\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$ dans chaque minéral a augmenté par rapport au rapport initial.
- Au temps t_2 , la pente de la droite isochrone a augmenté car les atomes du ^{87}Rb se sont désintégrés et leur nombre a diminué dans les minéraux.
- Plus les minéraux avaient initialement de ^{87}Rb (ex : minéral 1), plus leur rapport $\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$ a augmenté rapidement au cours du temps.

CORRIGÉ :

Comprendre la signification d'une courbe isochrone

Doc 17 Diagramme isochrone légendé

3. a. Faux. b. Vrai. c. Vrai car une partie du ^{87}Rb s'est désintégrée en ^{87}Sr . d. Vrai. e. Vrai.



ANNABAC GEOL 1

Qcm Durée: 15 min

Indiquez la ou les réponses exactes parmi les propositions suivantes.

1. Ce terme désigne un minéral :

- a. Gabbro
- b. Pyroxène
- c. Amphibole
- d. Granite
- e. Périclase
- f. Olivine
- g. Andésite
- h. Plagioclase
- i. Quartz

2. Cette roche est caractéristique de la lithosphère océanique :

- a. Gabbro
- b. Granodiorite
- c. Basalte
- d. Périclase
- e. Gneiss

3. La subduction est :

- a. dans certains cas, la plongée d'une plaque océanique sous une plaque océanique.
- b. dans certains cas, la plongée d'une plaque continentale sous une plaque océanique.
- c. la plongée d'une plaque océanique dans l'asthénosphère.
- d. la conséquence du refroidissement et de l'épaississement de la plaque océanique lors de son éloignement par rapport à l'axe de la dorsale.
- e. un phénomène qui entraîne la production de magma.

4. Lorsqu'elle entre en subduction, la lithosphère océanique est :

- a. riche en minéraux métamorphiques hydroxylés.
- b. déshydratée.
- c. plus dense que l'asthénosphère.
- d. moins dense que l'asthénosphère.
- e. chaude.

5. Il y a formation de magma au niveau d'une zone de subduction :

- a. vers 100 km de profondeur sous l'arc volcanique.
- b. vers 150 km de profondeur sous l'arc volcanique.
- c. vers 300 km de profondeur sous l'arc volcanique.
- d. quand la plaque qui plonge se réchauffe.
- e. parce que la plaque qui plonge se déhydrate.
- f. lorsque la périclase située au-dessus de la croûte subduite fond.
- g. lorsque la périclase de la plaque subduite passe son solidus hydraté.

6. La croûte continentale :

- a. ne peut pas subduire car elle est moins dense que l'asthénosphère sous-jacente.
- b. peut subduire jusqu'à 100 km de profondeur au moins.
- c. se désolidarise du manteau sous-jacent, s'écaille et forme un prisme lorsqu'elle ne peut pas subduire.

7. Les roches crustales caractéristiques d'une racine de collision sont :

- a. les périclases.
- b. les gabbros.
- c. les granodiorites.
- d. les andésites.
- e. les granites.
- f. les gneiss.
- g. les migmatites.

1. b. Pyroxène ; **c.** Amphibole ; **f.** Olivine (caractéristique de la péridotite et des roches de la croûte océanique : gabbro/basalte) ; **h.** Plagioclase ; **i.** Quartz (caractéristique des roches de la croûte continentale comme le granite ou la granodiorite).

2. a. Gabbro (croûte) ; **c.** Basalte (croûte) ; **d.** Péridotite (manteau).

3. a. La subduction est, dans certains cas, la plongée d'une plaque océanique sous une plaque océanique ; **c.** la plongée d'une plaque océanique dans l'asthénosphère ; **d.** la conséquence du refroidissement et de l'épaississement de la plaque océanique lors de son éloignement par rapport à l'axe de la dorsale ; **e.** un phénomène qui entraîne la production de magma.

4. a. Lorsqu'elle entre en subduction, la lithosphère océanique est riche en minéraux métamorphiques hydroxylés ; **c.** est plus dense que l'asthénosphère.

a. Il y a formation de magma au niveau d'une zone de subduction vers 100 km de profondeur sous l'arc volcanique ; **b.** mais aussi vers 150 km ; **e.** parce que la plaque qui plonge se déhydrate ; **f.** lorsque la péridotite située au-dessus de la croûte subduite fond ; **g.** lorsque la péridotite de la plaque subduite passe son solidus hydraté.

6. b. La croûte continentale peut subduire jusqu'à 100 km de profondeur au moins ; **c.** se désolidarise du manteau sous-jacent, s'écaille et forme un prisme lorsqu'elle ne peut pas subduire.

7. Les roches crustales caractéristiques d'une racine de collision sont : **e.** les granites ; **f.** les gneiss ; **g.** les migmatites.

ANNABAC GEOL 1

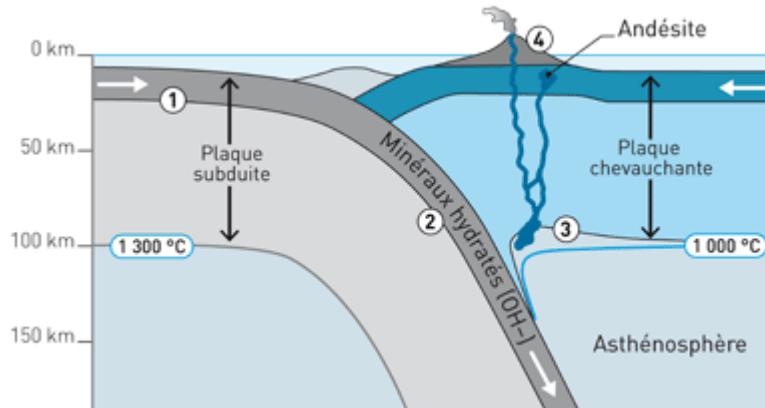
Typex Durée: 10 min

Le schéma (doc. 1) et le texte qui l'accompagne, comportent des erreurs ou des oubli. Corrigez-les.

Titre de la leçon : « Les mécanismes générateurs de magma au niveau des zones de subduction »

« Lorsqu'une plaque océanique entre en subduction (1), elle est hydratée. Au fur et à mesure que la plaque subducte, ces minéraux subissent un métamorphisme croissant, caractérisé par des températures élevées. Ces transformations minéralogiques conduisent à libérer de l'eau (2) qui, vers 50 km de profondeur, permet la fusion du manteau de la plaque plongeante (3). »

Doc 1 Schéma élève : Création de roches continentales dans une zone de subduction



Aide : Sur le schéma, 7 erreurs sont à trouver.

ANNABAC GEOL 1

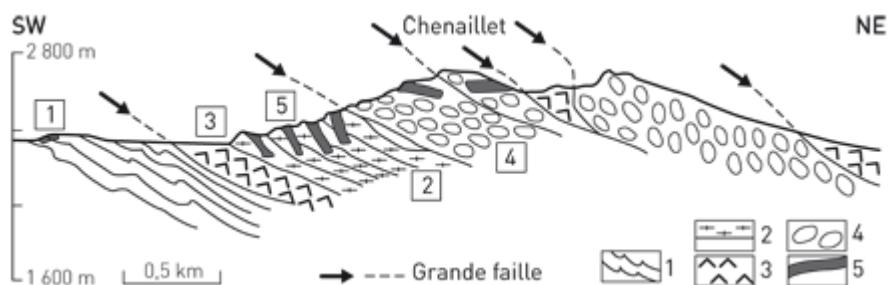
Un ancien océan alpin Durée: 20 min

Les géologues pensent que la chaîne des Alpes résulte de la fermeture d'un domaine océanique, conséquence de la convergence des plaques lithosphériques.

Expliquez en quoi le Chenaillet constitue l'un des éléments ayant permis de proposer cette hypothèse.

Doc 1 Coupe au niveau du massif du Chenaillet dans les Alpes

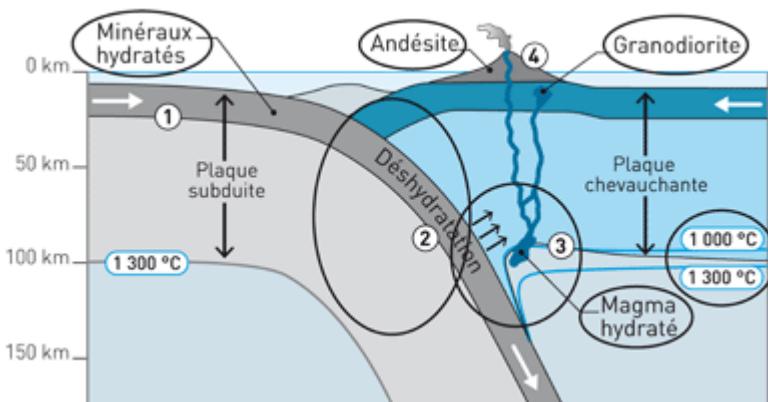
1. Sédiments océaniques. 2. gabbros. 3. Périclases serpentinitisées (hydratées). 4. basalte en coussins. 5. Filons de basalte.



Deux types d'indices sont à retrouver : ceux de nature pétrographique (nature des roches) et ceux de nature structurale.

CORRIGÉ : Typex

Doc 1 Schéma élève corrigé



« Lorsqu'une plaque océanique entre en subduction (1), elle est hydratée. Au fur et à mesure que la plaque subducte, ces minéraux subissent un métamorphisme croissant, caractérisé par des **pressions** élevées. Ces transformations minéralogiques conduisent à libérer de l'eau (2) qui, vers **100 km** de profondeur, permet la fusion du manteau de la plaque plongeante (3). »

CORRIGÉ : Un ancien océan alpin

Analyse 1 : La succession péridotite (manteau) / gabbros (croûte) / basaltes (croûte) est caractéristique de la lithosphère océanique (nature pétrographique).

Interprétation : Le massif du Chenaillet est un fragment de lithosphère océanique, c'est-à-dire une **ophiolite**.

Analyse 2 : L'ensemble péridotites-gabbros chevauche les sédiments océaniques, il est lui-même chevauché par des écailles de basaltes en coussins. Le Chenaillet est constitué de la superposition d'écailles de lithosphère océanique qui chevauchent des sédiments.

Interprétation : Ces écailles se sont mises en place lors d'une tectonique en compression, au cours de la convergence de deux plaques.

Conclusion

Le Chenaillet est un vestige de lithosphère océanique charrié sur la lithosphère continentale lors de la fermeture d'un ancien océan alpin.

Évolution de la lithosphère océanique et topographie du fond océanique: Durée: 30 min

Doc 1 Propriétés de quelques enveloppes terrestres en fonction de la distance à l'axe de la dorsale

Distance à l'axe de la dorsale (km)	160	800	2 000	4 800	8 000
Âge de la lithosphère océanique ($\times 10^6$ ans)	2	10	25	60	100
Flux thermique (10^{-2} W.m $^{-2}$) 1W=1J.m $^{-2}$.s $^{-1}$	20	11	7	5	5
Épaisseur de la croûte océanique*	5	5	5	5	5
Épaisseur du manteau lithosphérique océanique	8	24	41	66	87
Masse volumique de la lithosphère océanique (10^3 kg.m $^{-3}$)	3,127	3,222	3,25	3,268	3,275
Masse volumique de l'asthénosphère (10^3 kg.m $^{-3}$)	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25

* Les sédiments ne sont pas pris en compte dans le calcul de l'épaisseur.

Informations complémentaires :

- Flux thermique = quantité de chaleur dégagée par unité de temps pour 1 m 2 de surface terrestre
- Masse volumique de la croûte = $2,85 \times 10^3$ kg.m $^{-3}$
- Masse volumique du manteau lithosphérique = $3,3 \times 10^3$ kg.m $^{-3}$

Sélectionnez les informations données dans le document 1 et aidez-vous de vos connaissances pour réaliser un schéma de l'évolution de la lithosphère océanique depuis l'axe de la dorsale jusqu'à l'une de ses marges continentales.

CORRIGÉ : Évolution de la lithosphère océanique et topographie du fond océanique

Parmi les nombreuses indications de densité, celles nécessaires à la compréhension de l'évolution de la lithosphère océanique sont relatives à la lithosphère dans son ensemble et à l'asthénosphère.

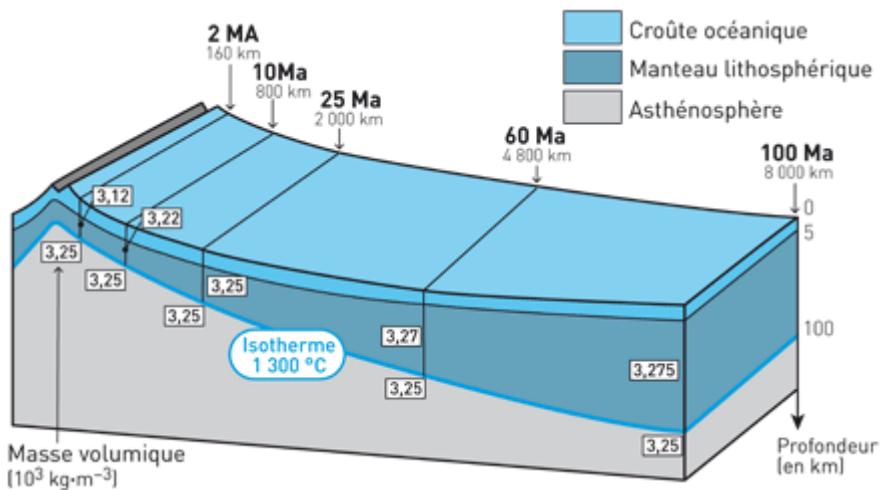
Interprétation sous forme de schéma

Évolution de la lithosphère océanique au cours du temps

Analyse

En s'éloignant de l'axe de la dorsale :

- l'âge de la lithosphère océanique augmente, elle vieillit ;
- le flux thermique diminue ;
- l'épaisseur de la croûte océanique reste constante ;
- l'épaisseur du manteau lithosphérique augmente ;
- la masse volumique de la lithosphère augmente ;
- la masse volumique de l'asthénosphère reste constante.



Structures visibles dans une chaîne de montagnes Durée: 20 min

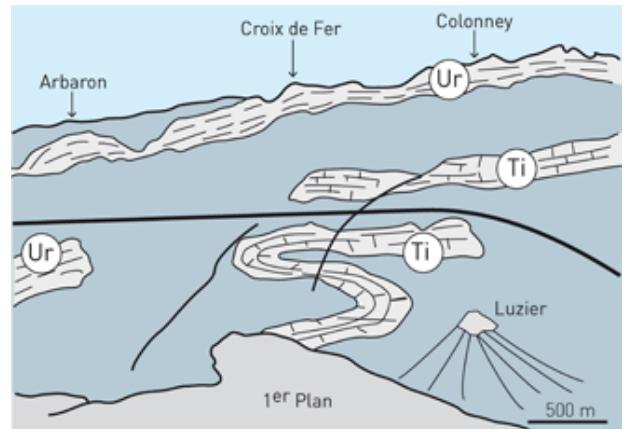
I. Vrai ou faux ? Indiquez les propositions exactes, corrigez celles qui sont fausses.

1. Les calcaires sont des roches sédimentaires qui se mettent en place dans des bassins lacustres ou marins.
2. Initialement les couches plissées étaient horizontales : leur plissement résulte d'une tectonique en compression.
3. À la verticale de la Croix de Fer et au voisinage on trouve une série sédimentaire non déformée, contenant notamment à sa base des terrains du Tithonien, et à son sommet de l'Urgonien.
4. Les deux types de déformations visibles sur cet affleurement se retrouvent sur l'ensemble de la chaîne et sont responsables d'un raccourcissement et d'un épaissement des séries sédimentaires.
5. La série sédimentaire supérieure est une nappe de charriage.
6. Le chevauchement en entraînant la superposition anormale des deux ensembles sédimentaires est à l'origine d'un raccourcissement et d'un épaissement.
7. On observe un pli couché au niveau de certains calcaires d'âge urgonien.
8. Les terrains chevauchés et chevauchants étaient initialement juxtaposés.
9. La série sédimentaire supérieure s'est formée en se déposant par-dessus les terrains plissés.
10. Un mouvement tectonique a conduit la série sédimentaire sup^{re} à recouvrir les terrains sur lesquels elle repose.
11. Il y a un contact anormal entre le pli en S d'âge Tithonien et les terrains du même âge situés au-dessus.

Doc 1 Le massif de Platé dans les Alpes

Ur : Calcaire massif de l'Urgonien (- 130 à - 110 Ma)

Ti : Calcaires du Tithonien (- 150 à - 145 Ma)



CORRIGÉ : Structures visibles dans une chaîne de montagnes

I. **1.** Vrai. **2.** Vrai. **3.** Vrai. **4.** Vrai. **5.** Vrai. **6.** Vrai. **7.** Faux : On observe un pli couché au niveau de certains calcaires d'âge tithonien. **8.** Vrai. **9.** Faux : La série supérieure (3) s'est formée à la même période que les terrains plissés, elle a été charriée par-dessus ces terrains plissés. **10.** Vrai. **11.** Vrai.

II. **1.** Les calcaires sont des roches sédimentaires qui se mettent en place dans des bassins lacustres ou marins. **7.** On observe un pli couché au niveau de certains calcaires d'âge **tithonien**. **2.** Initialement les couches plissées étaient horizontales : leur plissement résulte d'une tectonique en compression. **3.** À la verticale de la Croix de Fer et au voisinage, on trouve une série sédimentaire non déformée, contenant notamment à sa base des terrains du Tithonien, et à son sommet de l'Urgonien. **11.** Il y a un contact anormal entre le pli en S d'âge tithonien et les terrains du même âge situés au dessus puisqu'il s'agit de la même série sédimentaire doublée. **10.** Un mouvement tectonique a conduit la série sédimentaire supérieure à recouvrir les terrains sur lesquels elle repose. **9.** La série sédimentaire supérieure **a été charriée par-dessus** les terrains plissés. **5.** La série sédimentaire supérieure est une nappe de charriage. **8.** Les terrains chevauchés et chevauchants étaient initialement juxtaposés. **6.** Le chevauchement en entraînant leur superposition anormale est à l'origine d'un raccourcissement et d'un épaissement. **4.** Les deux types de déformations visibles sur cet affleurement se retrouvent sur l'ensemble de la chaîne et sont responsables d'un raccourcissement et d'un épaissement des séries sédimentaires.

ANNABAC GEOL 1

Production de magma dans les Andes Durée: 45 min

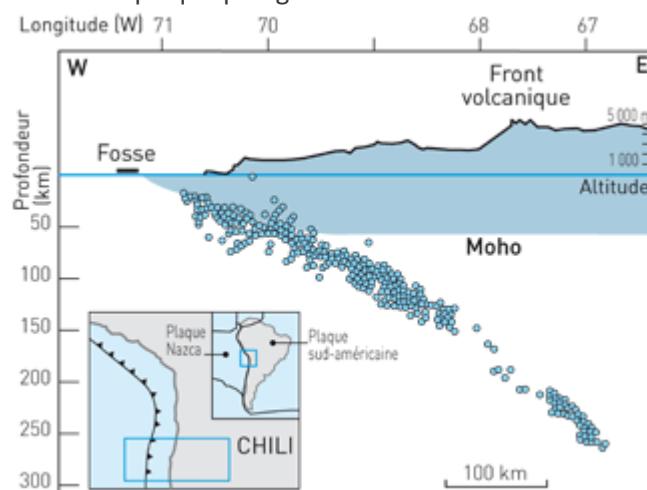
Les Andes se caractérisent par un volcanisme majoritairement explosif lié à la forte teneur en vapeur des magmas produits. Les roches volcaniques produites présentent fréquemment en plus de leurs minéraux majoritaires (plagioclases, pyroxènes et quartz), d'autres minéraux tels que l'amphibole et la biotite (mica noir).

- **Formules**

– Formule de la biotite : $K(Mg, Fe)_3(OH, F)_2(Si_3AlO_{10})$

– Formule de la hornblende (amphibole brune) : $(Ca, Na, K)_2(Mg, Fe_2+, Fe_3+, Al)_5[Si_6(Al, Si)_2O_{22}](OH, F)_2$

Doc 1 Répartition des séismes au toit de la plaque plongeante dans la zone de subduction de la cordillère des Andes



- **Caractéristiques de quelques associations minérales de haute pression**

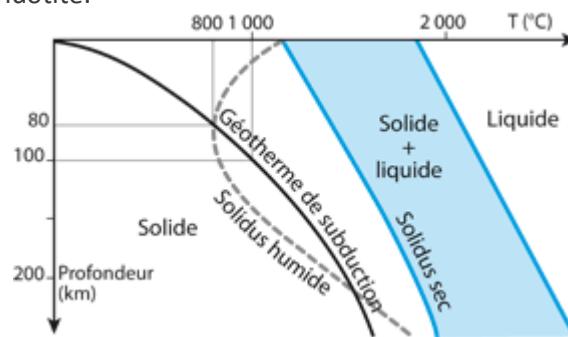
Ces associations sont communes dans les ophiolites subduites puis exhumées présentes dans les chaînes de collision.

- *Ophiolites de type schiste bleu* : présence de glaucophane (amphibole bleue), stable entre 15 et 40 km de profondeur.
- *Ophiolites de type éclogite* : Grenat + Pyroxène vert de type « Jadéite », association caractéristique au-delà de 40 km de profondeur.

Glaucophane $Na_2(Fe^{2+}_3Al_2)Si_8O_{22}(OH)_2$ - Grenat $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$ - Jadéite $NaAlSi_2O_6$.

Doc 2 Fusion de la péridotite et du basalte dans différentes conditions

La fusion des basaltes et gabbros de la croûte océanique a lieu dans les mêmes conditions de température, de pression et d'hydratation que celle de la péridotite.



A partir des informations extraites des documents et de vos connaissances :

I. Représentez ou indiquez sur le document 1 :

– la zone de fusion à l'origine du magma, la migration de ce magma et le nom des roches produites ;

(N'oubliez pas que la migration du magma est verticale).

– le nom du mécanisme qui permet la production du magma.

II. Décrivez ce qui, dans les informations apportées par les documents, permet d'affirmer que le magma provient de la fusion de la plaque chevauchante et non de celle de la plaque subduite.

C'est une question difficile car elle implique un **raisonnement précis et structuré**.

Diviser : sélectionner, un par un, les indices apportés par les différents documents en cherchant l'élément de réponse qu'ils apportent.

Lier : faire des corrélations entre ces différents indices et vos connaissances.

Conclure : réaliser la synthèse des corrélations établies afin de répondre à la question.

CORRIGÉ : Production de magma dans les Andes

I. Doc 1 Formation de magma sous l'arc volcanique des Andes

G : granodiorites.

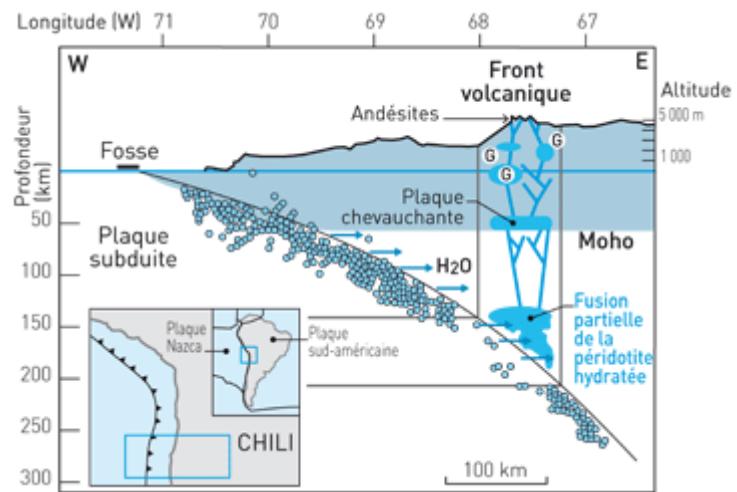
II. 1. Analyse des manifestations volcaniques et des roches associées :

– Les Andes se caractérisent par un volcanisme majoritairement explosif lié à la forte teneur en vapeur des magmas produits.

– Les roches volcaniques produites présentent des minéraux hydroxylés :

la biotite (mica noir) $K(Mg, Fe)_3(OH, F)_2(SiAlO_{10})$

et l'amphibole $(Ca, Na, K)_2(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al)_5[Si_6(Al, Si)_2O_{22}](OH, F)_2$



Conclusion

Le magma qui donne naissance à l'arc volcanique est un **magma riche en eau**, ce qui conduit à la formation de minéraux hydroxylés dans les roches et à un volcanisme explosif.

2. Mise en relation des documents

– À partir de la coupe, on a pu mettre en évidence que **la fusion partielle se situe entre 140 et 200 km de profondeur**.

– Analyse des ophiolites métamorphiques issues des zones de subduction

Les roches de la croûte océaniques sont transformées en **éclogites** à ces profondeurs, leur teneur en eau est très faible, les minéraux grenat et jadéite ne présentent pas de groupes OH.

Conclusion

Il est peu probable que leur fusion donne un magma aussi hydraté que ce qui est décrit, d'autant plus que rien n'indique une hydratation secondaire du magma au niveau de la croûte de la plaque chevauchante.

3. Analyse du document 2

La température de fusion des gabbros, basalte et péridotite à 150 km de profondeur est située autour de 1 500 °C. La température de fusion de ces roches est abaissée à 1 000 °C en présence d'eau, ce qui correspond à la température estimée au niveau du manteau de la plaque chevauchante. La plaque subductante située à ces profondeurs est plus froide.

Bilan

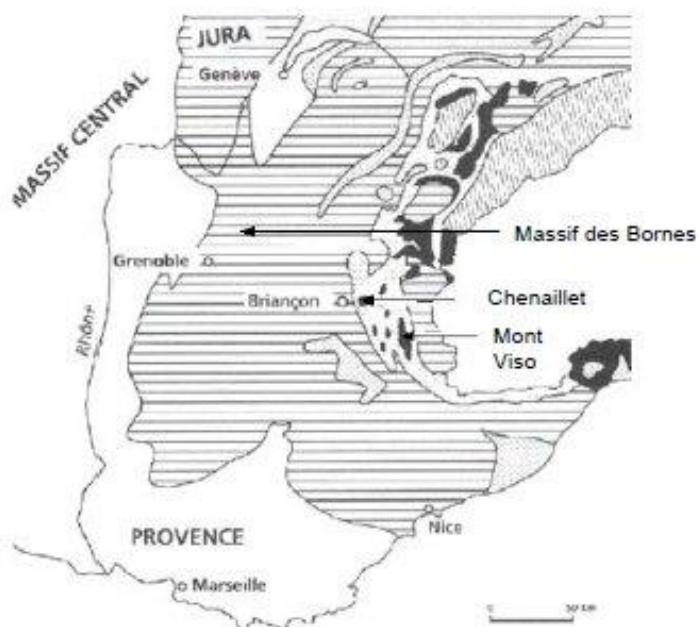
La seule solution pour que les roches de la croûte ou du manteau fondent est donc qu'elles soient hydratées. Entre 140 et 200 km de profondeur, les seules roches hydratées à la température de 1 000 °C sont les péridotites du manteau chevauchant qui a reçu l'eau libérée par la croûte océanique au cours de sa subduction.

Partie 2 : second exercice (5 points) – Exemple n°1
Thème 1-B : Le domaine continental et sa dynamique

Sujet

On cherche à montrer comment des données de terrain peuvent permettre de comprendre des événements géologiques anciens.

Document de référence : Carte simplifiée des Alpes



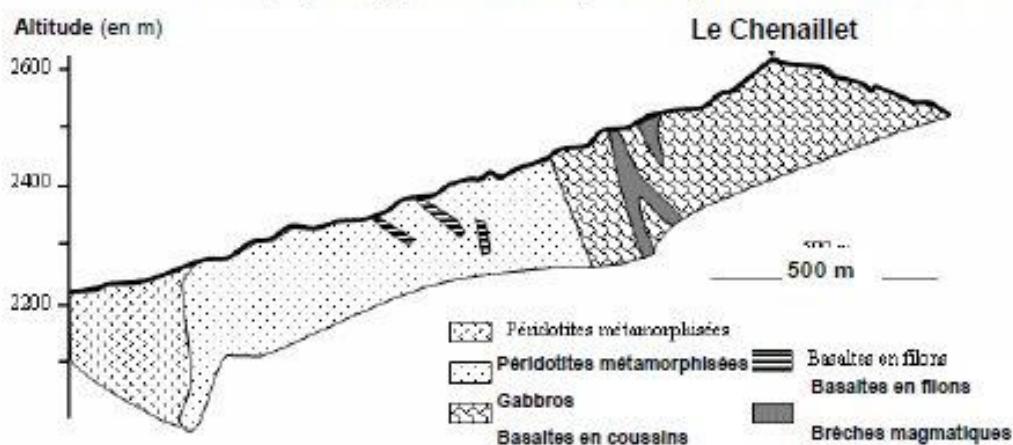
UNITÉS ALPINES :

Originaires	de la marge continentale européenne	
	de l'océan alpin	
	de la marge continentale africaine	

Source : R. Cirio, Centre Briançonnais de Géologie Alpine (CBGA)

Document 1

Coupe géologique schématique des ophiolites du Chenaillet

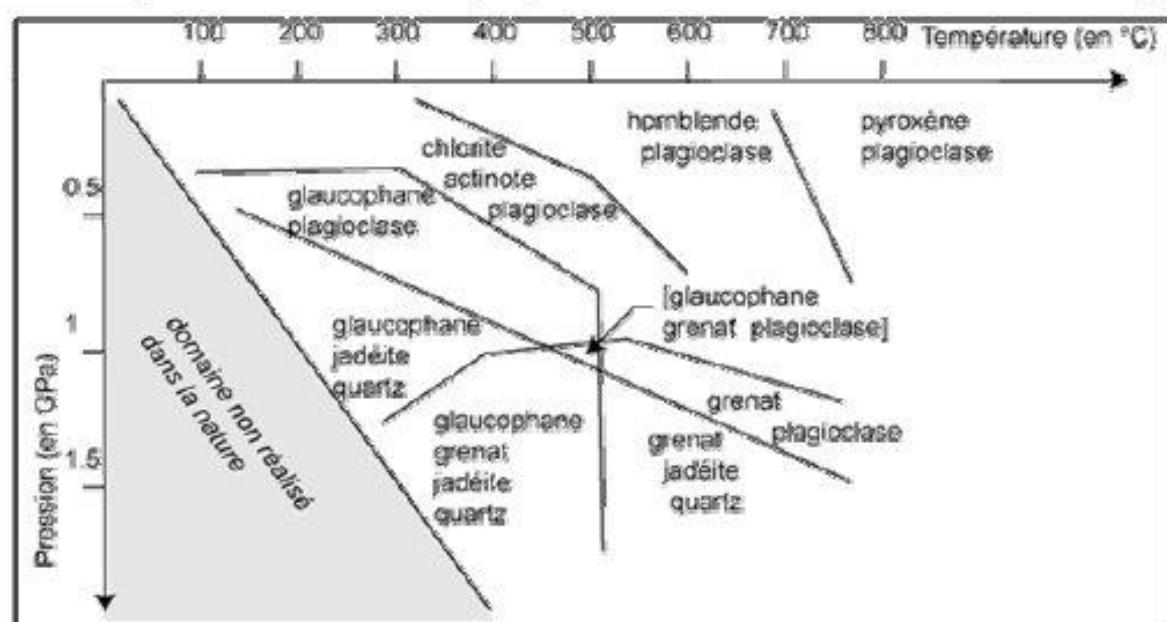


Les basaltes supérieurs sont âgés de 100 millions d'années

Les plus vieux sédiments océaniques (non figurés sur la coupe) qui surmontent les basaltes ont 65 millions d'années

Source : "Comprendre et enseigner la planète terre", Caron et al, Ophrys

Document 2 : Domaines de stabilité de quelques associations de minéraux de la croûte océanique



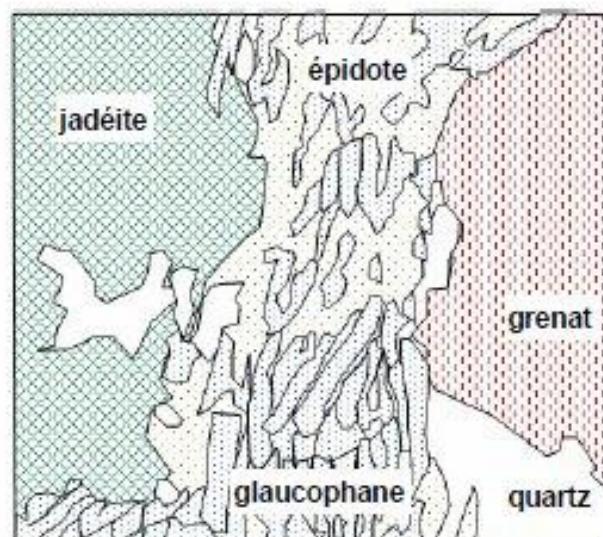
Remarque : les transformations minérales étant très lentes, des minéraux formés dans un domaine de température et pression donné peuvent être encore présents même si la roche n'est plus dans ce domaine (minéraux reliques).

Source : Centre Briançonnais de Géologie Alpine

Document 3 : Observation microscopique d'un métagabbro du Mont Viso (Alpes italiennes) et son schéma interprétatif.

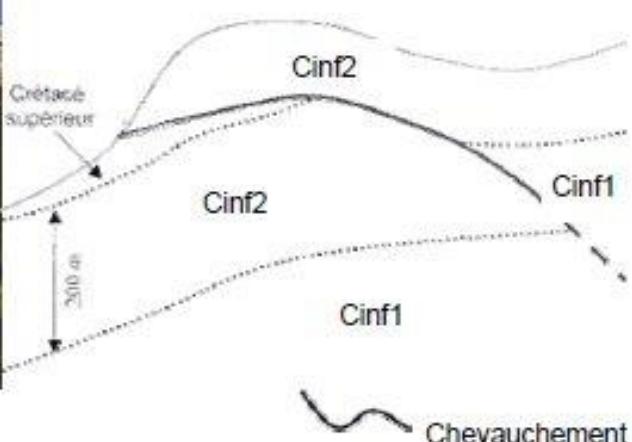
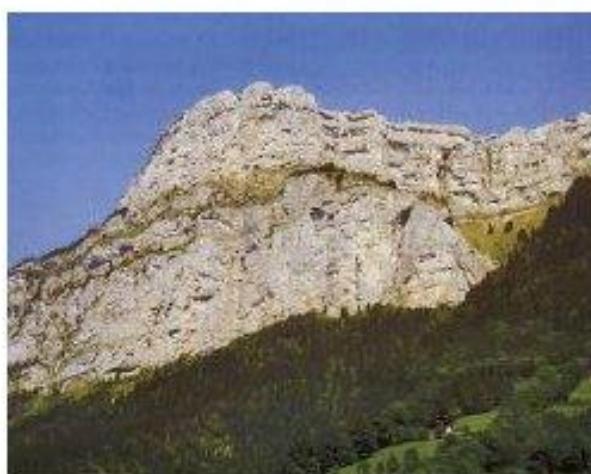


0,5 mm



Document 4 : Rochers de Leschaux dans les Alpes (Massifs des Bornes, Haute Savoie, Nord de Grenoble) et croquis d'interprétation.

(Crédit photographique : Christian NICOLLET / UBP Clermont-Ferrand)



Cinf 1 et Cinf2 : couches datées du Crétacé inférieur.

Cinf 1 est une couche plus ancienne que Cinf2. Elle est constituée d'épaisses masses de calcaires blancs à Rudistes et Orbitolinidés (mollusques et foraminifères marins fossiles).

Vous avez effectué une excursion géologique dans les Alpes et rapporté des échantillons et des photographies.

En vous appuyant sur ces données de terrain et d'autres informations présentes dans le dossier, rédigez un compte rendu de votre excursion, illustré par un ou plusieurs schémas, et pour montrer que les indices recueillis permettent de comprendre certaines étapes de l'histoire de la formation de cette chaîne de montagnes.

Votre réponse s'appuiera sur l'exploitation du dossier. Aucune étude exhaustive des documents n'est attendue.

Éléments de correction

Barème :

Démarche cohérente qui permet de répondre à la problématique	Tous les éléments scientifiques issus des documents et des connaissances sont présents et bien mis en relation. Le propos est étayé par un (des) schéma(s) bien choisi(s) scientifiquement rigoureux et bien construits.	5
	Les éléments scientifiques issus des documents et des connaissances, sont bien choisis et bien mis en relation mais incomplets, et le propos est étayé par un (des) schéma(s) bien choisi(s) scientifiquement rigoureux et bien construits. ou Les éléments scientifiques issus des documents et des connaissances, sont bien choisis, bien mis en relation et complets mais accompagnés de schéma(s) de médiocre qualité	4
	Des éléments scientifiques issus des documents et des connaissances bien choisis mais incomplets et insuffisamment mis en relation. Le propos est étayé par un (des) schéma(s) bien choisi(s) scientifiquement rigoureux et bien construits.	3
Démarche maladroite et réponse partielle à la problématique	Des éléments scientifiques issus des documents et des connaissances bien choisis mais incomplets et insuffisamment mis en relation. Le propos est étayé par un (des) schéma(s) de qualité médiocre.	2
	Des éléments scientifiques pertinents issus des documents et/ou des connaissances sans mise en relation. Présence d'un ou de plusieurs schémas de qualité médiocre.	1
Aucune démarche ou démarche incohérente	De très rares éléments scientifiques issus des documents ou des connaissances, sans mise en relation. Pas de schéma.	0

Éléments d'évaluation

Le compte rendu d'excursion demandé peut prendre la forme d'un texte argumenté illustré de schémas, ou bien d'une suite de schémas précisément annotés et commentés.

Critères	Indicateurs (éléments de correction)
Éléments scientifiques issus du document : (complets, pertinents, utilisés à bon escient en accord avec le sujet...)	<p>Doc1 : Les ophiolites du Chenaillet sont un morceau de plancher océanique au cœur des Alpes. Elles attestent de la présence à l'emplacement actuel des Alpes d'un océan aujourd'hui disparu.</p> <p>Doc3 : Les associations minérales dans l'échantillon de métagabbro récolté au Mont Viso (Grenat + glaucophane + Jadéite), interprétées grâce au document 2, sont un indice d'une subduction (métamorphisme HP, BT) du plancher de l'océan alpin.</p> <p>Doc 4: Le chevauchement important observé (qui provoque par exemple un contact anormal) atteste de forces de compression importantes que l'on peut orienter. Les fossiles du crétacé inférieur montrent l'origine océanique de ce calcaire.</p>
Éléments scientifiques issus des connaissances acquises	<p>Structure de la lithosphère océanique (basaltes en coussin, gabbros, péridotites, filons)</p> <p>Conditions de pression et de température lors d'une subduction.</p> <p>Déformation des roches liées à des forces de compressions</p>
Éléments de démarche	<ul style="list-style-type: none">Le devoir s'appuie sur l'exploitation des 3 types d'indices de terrain présents dans le dossier à 3 échelles différentes : de l'échantillon (Doc3), à l'affleurement (Doc4) et au massif de grande taille (Doc1).Les indices de terrain sont exploités pour répondre à la problématique (reconstitution d'évènements géologiques anciens).La chronologie des évènements géologiques reconstitués est établie.Le(s) schéma(s) a(ont) été choisi(s) judicieusement pour éclairer le propos (<i>log ophiolites et/ou schéma structural simplifié et/ou schéma de subduction et/ou schéma de chevauchement, failles inverses... indiquant les contraintes</i>) et est (sont) précisément annoté(s)

EXERCICE GEOLOGIE 1

Q2 B1 : Résolution d'un problème scientifique à partir de l'exploitation de documents en relation avec les connaissances : *Les Alpes*

On veut confronter des objets géologiques identifiés dans les régions du Chenaillet et du Queyras (Alpes françaises) à un modèle de l'histoire des Alpes. On dispose pour cela de données pétrographiques (document 1a), d'une grille pétrogénétique (document 1b) et des premières étapes d'un modèle actuel de l'histoire géologique des Alpes (document 2).

Question :

À partir de la mise en relation des informations tirées de l'analyse des documents 1a et 1b, montrez que les roches G1 et G2 témoignent de certaines des étapes du modèle actuel et simplifié de l'histoire des Alpes présentées dans le document 2.

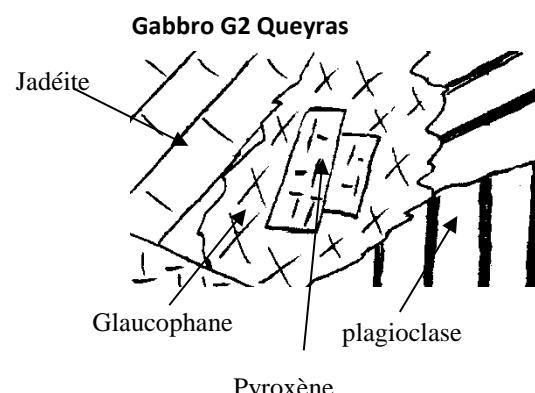
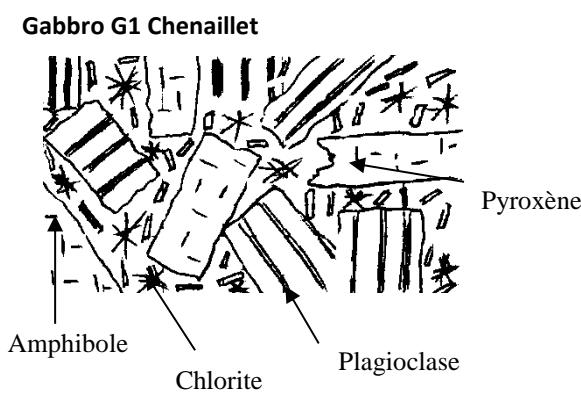
Positionnez G1 et G2 sur la grille 1b et sur les schémas du document 2, que vous rendrez avec la copie.

Le document 1a correspond à l'examen de lames minces de gabbros ophiolitiques G1 et G2 échantillonnés aujourd'hui dans la chaîne alpine franco-italienne :

G1 massif du Chenaillet à 2600 m

G2 massif du Queyras à 2900 m.

Document 1a



On précise que les minéraux de plagioclase et de pyroxène des roches G1 et G2 sont des minéraux reliques d'un gabbro originel.

Le document 1b est une grille pétrogénétique simplifiée et obtenue expérimentalement à partir des assemblages minéralogiques des roches de la croûte océanique (type basaltes, gabbros) soumis à des conditions de températures et de pression nouvelles.

M = domaine de stabilité de l'association à plagioclase + pyroxène

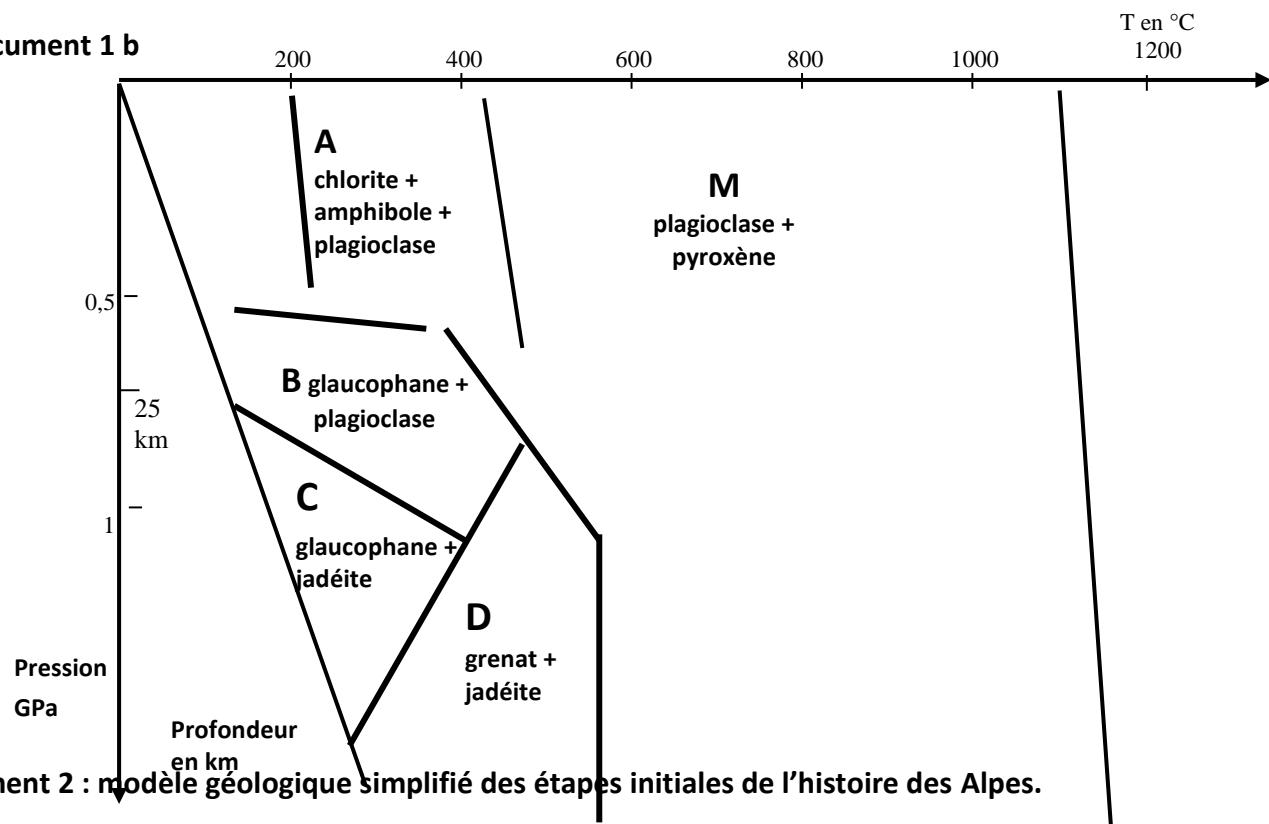
A = domaine de stabilité de l'association à chlorite + amphibole + plagioclase.

B = domaine de stabilité de l'association à glaucophane + plagioclase.

C = domaine de stabilité de l'association à glaucophane + jadéite.

D = domaine de stabilité de l'association à grenat + jadéite + glaucophane.

Document 1 b



Document 2 : modèle géologique simplifié des étapes initiales de l'histoire des Alpes.

Schéma (a) - 200 Ma



Schéma (b) - 155 Ma

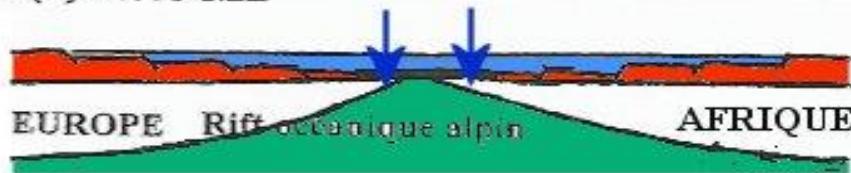
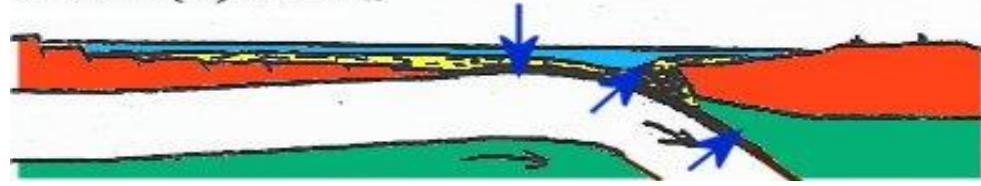


Schéma (c) - 100 Ma



Schéma (d) - 80 Ma



Correction EXERCICE GEOL 1

Q2 B1 : Résolution d'un problème scientifique à partir de l'exploitation de documents en relation avec les connaissances : Les Alpes

Les roches G1 et G2 sont des gabbros ophiolitiques, donc des roches ayant appartenu à un plancher océanique plus ou moins métamorphisé. Leur étude va permettre de découvrir dans quelles conditions elles se sont formées et par conséquent quelles étapes de l'histoire des Alpes elles représentent.

1 – Le gabbro G1 :

La lame mince (doc.1a) montre la présence de 4 minéraux, dont 2 minéraux reliques : le pyroxène et le plagioclase qui sont donc les minéraux du **gabbro océanique originel**, formé au niveau de la dorsale.

Les 2 autres minéraux, c'est-à-dire la chlorite et l'amphibole montre que le gabbro originel a subi des transformations métamorphiques : c'est donc un **métagabbro**.

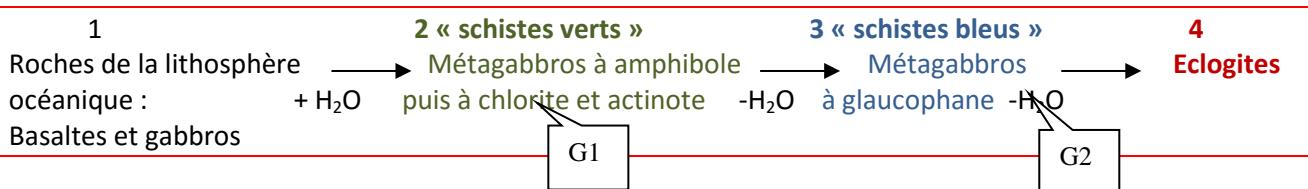
La grille pétrogénétique (doc.1b) montre que le domaine de stabilité de l'association chlorite et amphibole est le **domaine A** qui correspond à des températures comprises entre 200 et 400°C environ pour une pression inférieure à 0,5 GPa donc environ 15 km. Il s'agit d'un **métamorphisme BP-BT**.

Ce gabbro G1 est un témoin de la croûte océanique refroidie et hydratée, comme le montre la présence de chlorite et d'amphibole : il s'agit donc d'une « **vieille** » **croûte océanique déjà bien éloignée de son lieu de formation**, c'est-à-dire la dorsale (voir doc.2 sur lequel on peut placer G1 en (c) vers la limite océan – marge et en (d) juste avant la plongée de la croûte par subduction).

2 – Le gabbro G2 :

La lame mince (doc. 1a) nous montre qu'il s'agit également d'un **métagabbro**, avec les mêmes minéraux reliques et comme minéraux du métamorphisme : la glaucophane et la jadéite.

Le doc.1b nous montre que ces 2 minéraux néoformés sont caractéristiques du domaine de **stabilité C** indiquant une température à peu près identique à celle du domaine A, mais une pression beaucoup plus forte correspondant à une profondeur supérieure à 25 km, témoignant d'un **métamorphisme HP-BT**. Cette profondeur importante nous montre que **ce métagabbro a subi une subduction** qui correspond donc à la subduction de la croûte océanique représentée sur le schéma (d) du doc.2.



3 - Synthèse :

L'examen de ces 2 lames minces et de leur interprétation grâce à la grille pétrogénétique permet de reconstituer les 2 premières étapes de l'histoire alpine résumée sur le doc.2 :

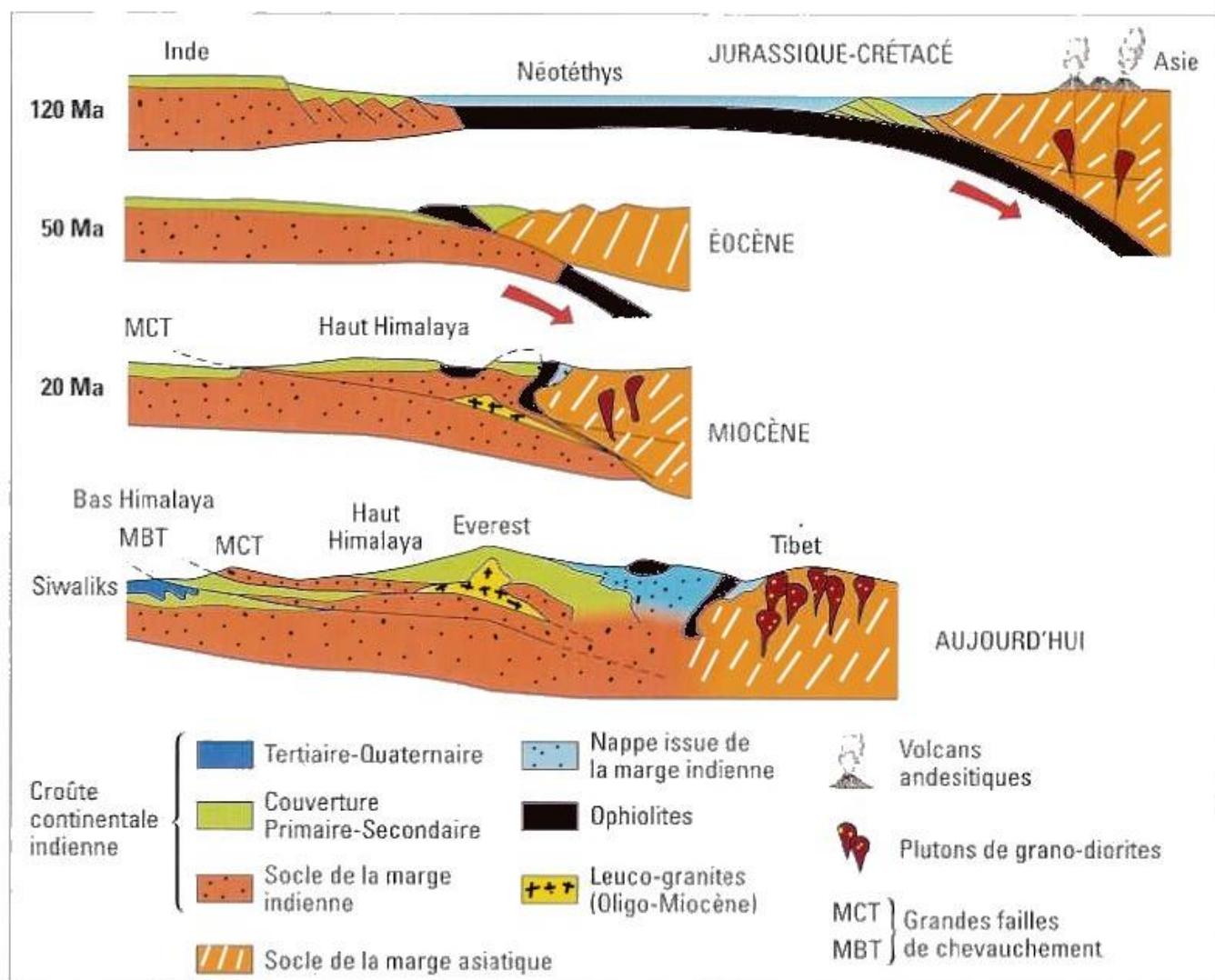
- Il y a –200 Ma, un mouvement de divergence apparaît : il crée d'abord un rift continental puis un véritable océan. Le plancher océanique, dont le gabbro fait partie, se crée au niveau de la dorsale, puis s'éloigne en subissant le métamorphisme à l'origine du métagabbro G1 à chlorite et à amphibole.
- Cette expansion océanique se poursuit jusqu'à – 80 Ma, date à laquelle la lithosphère océanique devenue trop dense s'enfonce par subduction sous la lithosphère continentale. Cette subduction est responsable d'une très forte augmentation de pression qui crée les 2 nouveaux minéraux du métagabbro G2, la jadéite et la glaucophane.
- A la fin de la disparition de l'océan alpin par subduction, la collision des 2 lithosphères continentales a créé les reliefs alpins et remonté en altitude ces témoins de la lithosphère océanique plus ou moins métamorphisée : les gabbros ophiolitiques G1 et G2.

EXERCICE GEOLOGIE 1

Q2 B2 : Résolution d'un problème scientifique à partir de l'exploitation de documents en relation avec les connaissances : *La chaîne Himalayenne*.

Exploitez le document ci-dessous et, à l'aide de vos connaissances, montrez que l'Himalaya est une chaîne de montagnes dont la formation se rapproche en partie des chaînes de type « Cordillère des Andes » et en partie de type « Alpes ».

La chaîne Himalayenne



Q2 B2 : Résolution d'un problème scientifique à partir de l'exploitation de documents en relation avec les connaissances : La chaîne Himalayenne.

A- Observations documentaires:

1) Présence d'un volcanisme andésitique et d'un platonisme granitique sur la plaque eurasiatique tandis que la plaque océanique indienne passe sous la plaque eurasiatique.

Déduction : **Le métamorphisme** lié au passage en profondeur de la plaque indienne est à l'origine de la **fusion partielle** du manteau lithosphérique sus-jacent. Il se forme un magma, qui va donner les andésites en surface et les plutons de granites.

2) Présence d'ophiolites 70 Ma plus tard.

Déduction : **La suture ophiolitique** est le résultat d'une **disparition du plancher océanique**.

3) La croûte de la plaque indienne se casse suivant des failles presque planes (MCT, puis MBT). Des nappes sont décollées et plissées.

Déduction : **Les plissements** (tectonique ductile) et les grands **chevauchements** (tectoniques cassante) sont les expressions d'une **collision continentale**.

B- Synthèse : L'Himalaya est une chaîne de montagne « mixte ».

1) -La partie NNE de la chaîne himalayenne (Tibet) est une **chaîne de subduction** qui s'est formée très tôt dans l'histoire de l'Himalaya (Jurassique). Elle est le résultat de la convergence de la plaque lithosphérique indienne (indo-australienne en réalité) et de la plaque eurasiatique. Elle est représentée par un **magmatisme andésitique** (et par des plutons de granites) et correspond à la partie "**andine**". de la chaîne.

La présence de ces roches caractéristiques des zones de subduction s'explique par l'origine du magma: il naît de la déshydratation de la plaque lithosphérique subductée.

Les mécanismes d'**érosion** font apparaître aujourd'hui des plutons granitiques qui se sont formés en profondeur.

2) --Dans la partie médiane et sud de l'Himalaya, des structures de type "**alpin**". sont présentes.

Au sud du Tibet, on observe des **ophiolites** : c'est un ensemble qui associe des gabbros, des basaltes et des serpentines (péridotites transformées). Cette association de roches est une **ancienne lithosphère océanique**.

Sa situation actuelle, dans les reliefs himalayens, témoigne d'une convergence lithosphérique.

Des **régions entières ont été plissées et charriées**. Ces figures tectoniques sont également des indices d'un **mouvement de compression**. Cet ensemble de déformations est à l'origine de l'épaississement de la croûte sous l'Himalaya.

Conclusion:

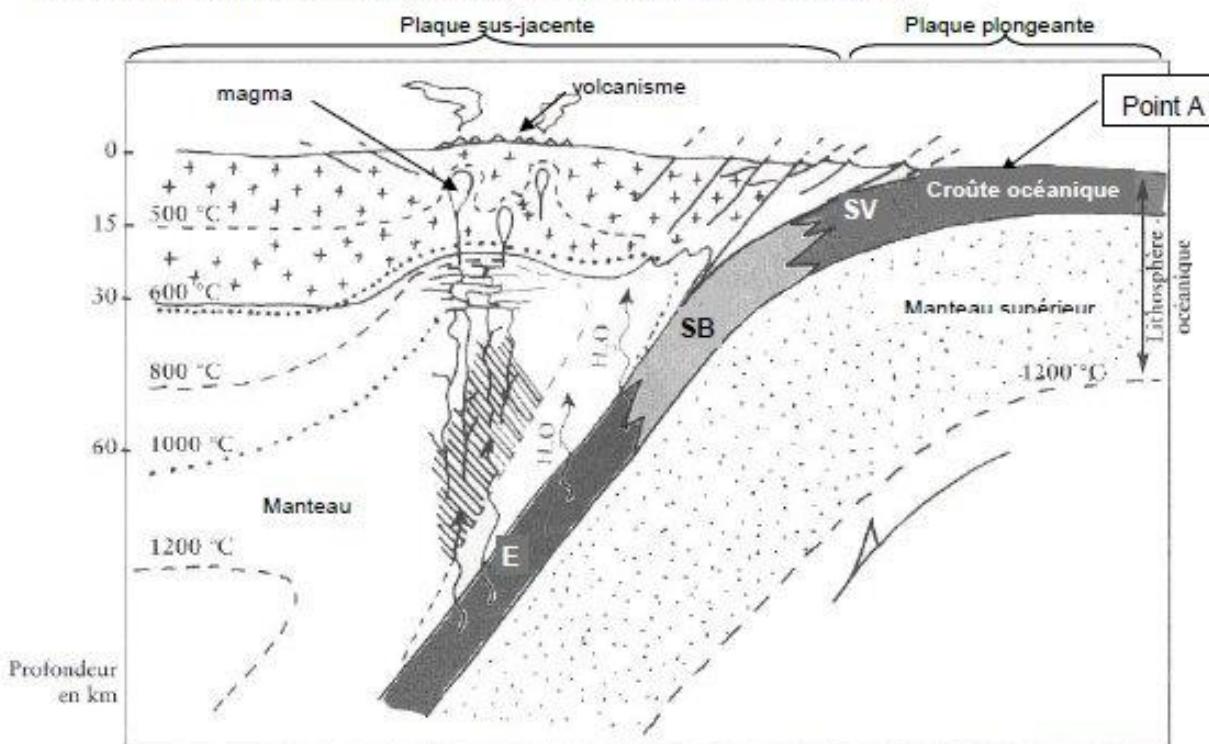
L'Himalaya enregistre donc **deux étapes géologiques** successives correspondant à deux types de marges convergentes: une **subduction** du Jurassique à l'Éocène (type andin) et une **collision** du Miocène l'actuel (type alpin).

Partie 2 : premier exercice (3 points) – Exemple n°3
Thème 1-B : Le domaine continental et sa dynamique

Sujet

On s'intéresse aux compositions minéralogiques des roches présentes dans une zone de subduction et au moteur de la subduction (document de référence).

Document de référence : Coupe schématique dans une zone de subduction



On précise que le manteau est composé de péridotites et la croûte océanique de basaltes et de gabbros.

Légende :

- Zone de fusion partielle de la péridotite hydratée
- SV faciès à schistes verts
- SB faciès à schistes bleus
- E faciès à éclogitesroches

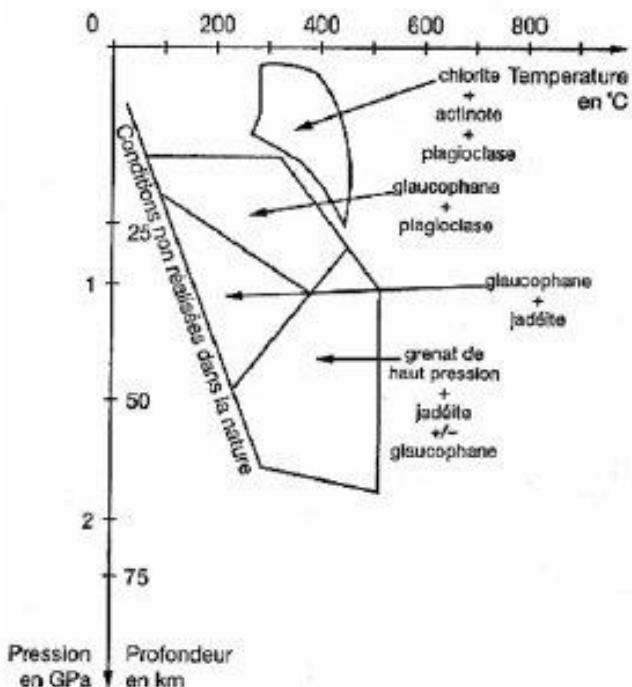
On cherche à comprendre certains mécanismes en jeu dans les zones de subductions en exploitant les données présentées dans les documents suivants.

Cochez la proposition exacte pour chaque question sur la feuille annexe.

Document 1 : Composition minéralogique d'un gabbro en fonction des conditions de pression et de température

En laboratoire, on soumet des échantillons de gabbros à des conditions de pression et de température variables. Les résultats sont présentés sur le graphique ci-dessous.

On rappelle que le gabbro, lorsqu'il se forme, contient presque exclusivement des plagioclases et du pyroxène.



Deux réactions du métamorphisme engendrées par une augmentation de pression :

- Plagioclase + chlorite* + actinote* → glaucophane + eau
- Plagioclase + glaucophane → grenat + jadéite + eau

*chlorite et actinote sont des minéraux hydratés.

Document 2 : Densités de quelques roches rencontrées dans une zone de subduction

Roches			Densité
lithosphère	Basaltes, gabbros		2,85
	Métagabbro en faciès schistes verts		3,3
	Métagabbro en faciès schistes bleus		3,4
	Eclogites		3,5
asthénosphère	Péridotites		3,25

Document 3 : Quelques caractéristiques de la lithosphère et de l'asthénosphère

Age de la lithosphère (en 10^6 ans)	2	10	15	25	30	40	60	80	100
Distance à l'axe de la dorsale (en km)	160	800	1 200	2 000	2 400	3 200	4 800	6 400	8 000
Épaisseur de la lithosphère océanique (en km)	Croûte	5	5	5	5	5	5	5	5
	Manteau	8	24	31	41	45	53	66	77
Masses d'une colonne de lithosphère océanique de surface égale à 1 m^2 (en 10^3 tonnes)	40,7	93,5	116,6	149,5	162,8	189,2	232,1	268,4	301,4
Masses d'une colonne d'asthénosphère de même surface et de même épaisseur (en 10^3 tonnes)	42,3	94,3	117,0	149,5	162,5	188,5	230,7	266,5	299,0

Les masses de la lithosphère océanique et de l'asthénosphère sont établies pour une colonne de surface égale à 1 m^2 .

Annexe

Question 1. Un métagabbro de la croûte océanique prélevé par forage au point A (voir document de référence), très loin de l'axe de la dorsale, contient les assortiments de minéraux suivants ...

- Plagioclases + chlorites + actinotes
- Plagioclases + glaucophanes
- Glaucophanes + jadéites
- Grenats + jadéites + glaucophanes

Question 2. Un métagabbro à plagioclase et glaucophane soumis à une augmentation de pression, à température constante, acquiert de la ...

- jadéite et s'enrichit en eau
- jadéite et libère de l'eau
- chlorite et libère de l'eau
- chlorite et s'enrichit en eau

Question 3. On considère les roches suivantes :

- (A) métagabbro à chorite et actinote ;
- (B) Gabbro à plagioclases et pyroxènes ;
- (C) métagabbro à glaucophane et plagioclases ;
- (D) métagabbro à grenats et jadéite ;
- (E) péridotite

Le classement de ces roches par ordre de densités croissantes est :

- E < A < B < C < D
- B < A < C < D < E
- E < B < A < C < D
- B < E < A < C < D

Question 4. Le point à partir duquel la lithosphère océanique peut commencer à s'enfoncer dans l'asthénosphère peut être établi en comparant...

- l'épaisseur de la croûte et celle du manteau
- l'âge de la croûte et celui du manteau
- la masse d'une colonne de lithosphère et celle d'une colonne d'asthénosphère (de même surface)
- l'épaisseur de la lithosphère et celle de l'asthénosphère

Question 5. L'âge exprimé en millions d'années, à partir duquel la lithosphère océanique disparaît en s'enfonçant dans l'asthénosphère est...

- 10
- 25
- 30
- 80

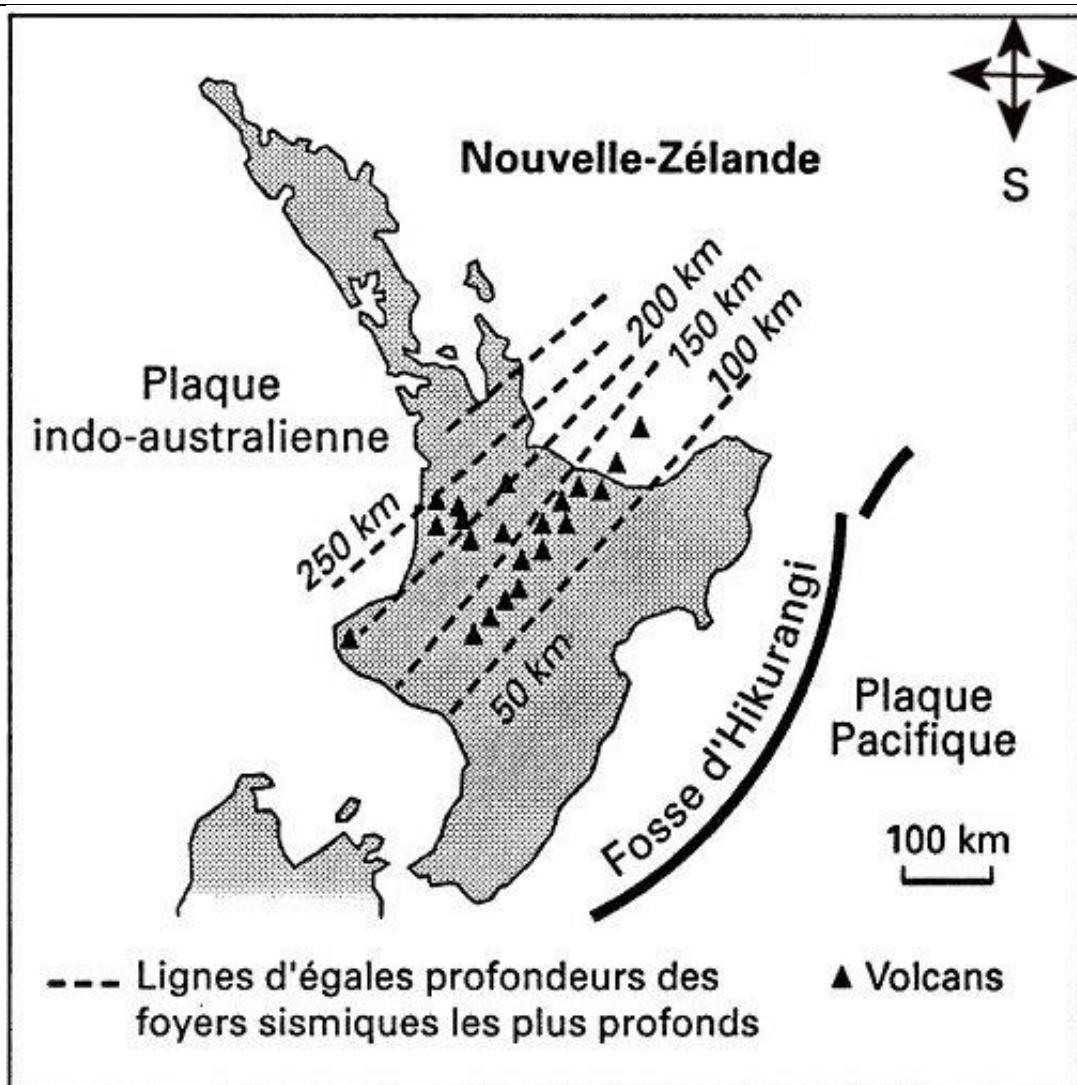
Éléments de correction

Réponses attendues	Barème
Q1 : Réponse 1	0,5 point
Q2 : Réponse 2	0,5 point
Q3 : Réponse 4	1 point
Q4 : Réponse 3	0,5 point
Q5 : Réponse 3	0,5 point

EXERCICE GEOLOGIE 1

Q2 A : extraire des informations d'un document : *La convergence lithosphérique et ses effets.*

Extraire du document ci-dessous les informations qui montrent que cette région est une limite convergente entre 2 plaques avec subduction d'une plaque sous l'autre. Afin d'expliquer le volcanisme observé, vous réaliserez une coupe géologique schématique de la région (nord-ouest/sud est; 1cm/100km).



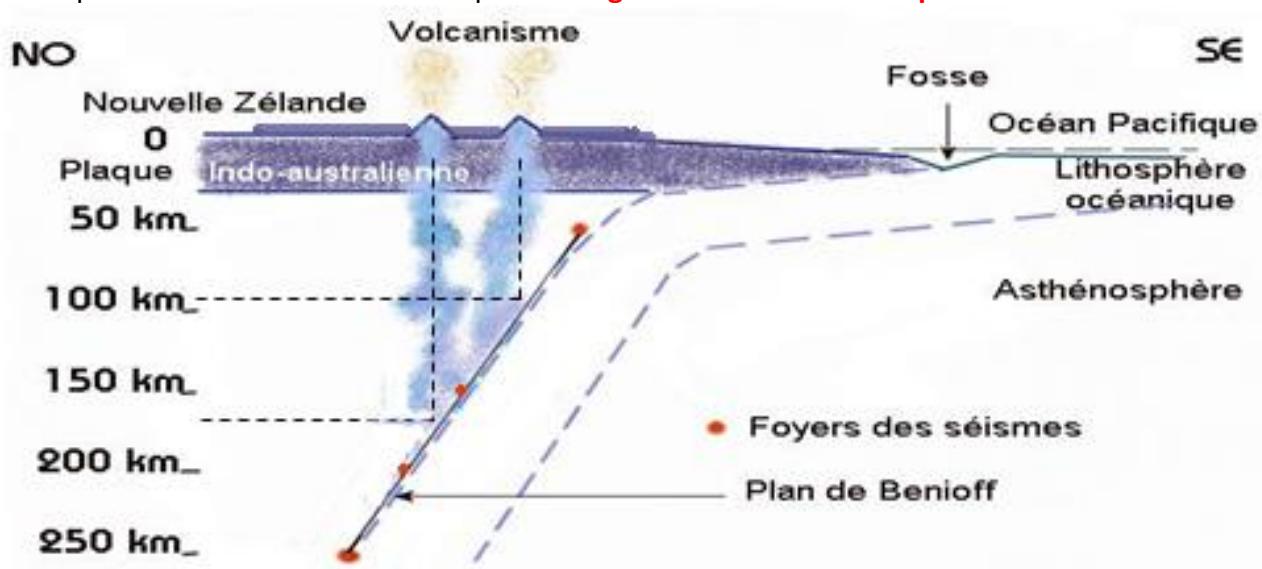
Q2 A : extraire des informations d'un document : *La convergence lithosphérique et ses effets.*

Informations tirées de l'étude de la carte

- Présence d'une **fosse** à la limite des 2 plaques Pacifique et Indo-australienne
- En Nouvelle-Zélande, présence de **volcans** alignés **parallèlement** à cette fosse
- **Lignes de foyers sismiques** toujours **parallèles à la fosse** mais suivant un **plan de benioff** en profondeur :
 - les plus superficiels sont les plus proches de la fosse
 - Les plus profonds sont les plus éloignés

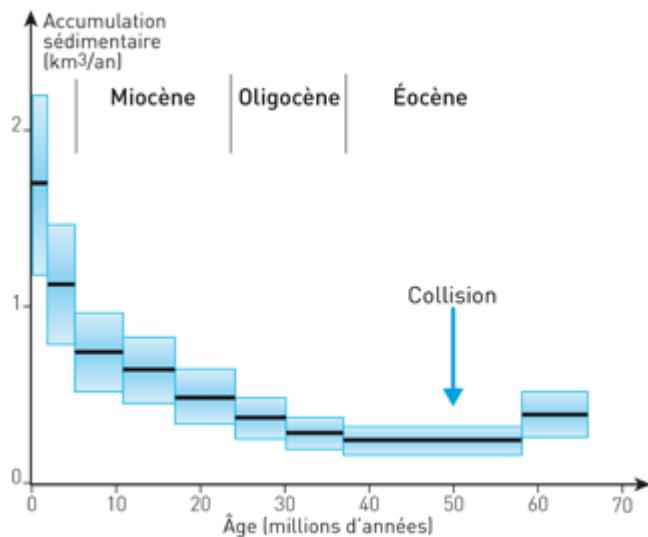
Bilan

- La présence de la **fosse** indique donc **la limite entre les 2 plaques**, c'est-à-dire la zone où une des 2 plaques plonge sous l'autre **par subduction**.
- La présence des **lignes de volcans et de séismes au NW** de la fosse indique que **c'est la plaque Pacifique qui s'enfonce sous la plaque Indo-australienne**.
- La répartition des **foyers sismiques matérialise** le plongement de la lithosphère océanique de la plaque Pacifique dans l'asthénosphère, selon **une surface inclinée appelée plan de Wadati-Bénioff**.
- La présence des **volcans** montre que **les magmas se forment à une profondeur d'environ 150 km.**

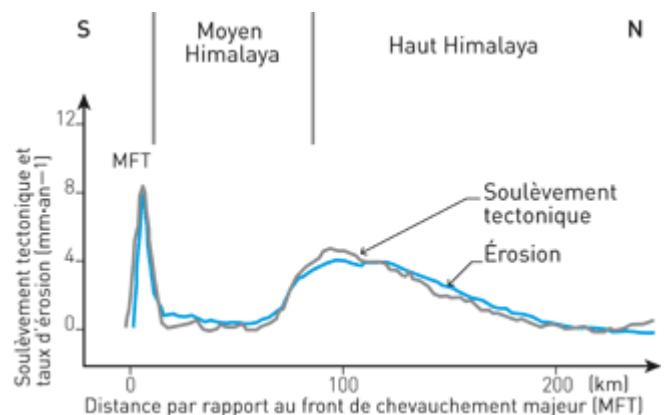


Recyclage des reliefs himalayens Durée: 20 min

Doc 1 Taux d'accumulation des sédiments himalayens dans les bassins tectoniques depuis 70 Ma



Doc 2 Couplage entre tectonique et érosion pour la chaîne himalayenne (estimé par une modélisation numérique validée par des mesures de terrain)



Trouvez les réponses exactes en exploitant les documents.

1. Le document 1 montre que :

- La collision Inde/Asie a débuté il y a 50 Ma.
- Le volume de sédiments émis chaque année, issu de l'érosion du Tibet, est constant depuis 50 Ma.
- L'érosion de la chaîne a tendance à s'atténuer actuellement.
- L'érosion de la chaîne est deux fois plus importante depuis 2 Ma qu'il y a 10 Ma.
- Avant la collision, les reliefs liés à la subduction étaient également soumis à une érosion forte.

2. Le document 2 montre que :

- Les zones qui s'élèvent actuellement sont situées au niveau du front de chevauchement majeur frontal et au niveau des zones du haut Himalaya (zones internes du prisme de collision).
- La largeur de la barrière himalayenne entre l'Inde et l'Asie est de 200 km.
- La longueur de la barrière himalayenne entre l'Inde et l'Asie est de 200 km.
- La chaîne s'élève en moyenne de 4 mm par an.
- La hauteur de la chaîne reste constante partout.
- Plus le soulèvement tectonique est important, plus l'érosion l'est également.

CORRIGÉ : Recyclage des reliefs himalayens

1. Les propositions exactes sont **a, d et e**.

Vous devez savoir qu'un prisme de collision est formé par l'empilement de grandes unités tectoniques. Les chevauchements sont matérialisés par les « fronts de chevauchement ». Sur la carte, on voit que la distance entre le front de chevauchement principal et l'arrière de la chaîne, c'est-à-dire ce qui correspond à la largeur de la chaîne, fait à peu près 200 km.

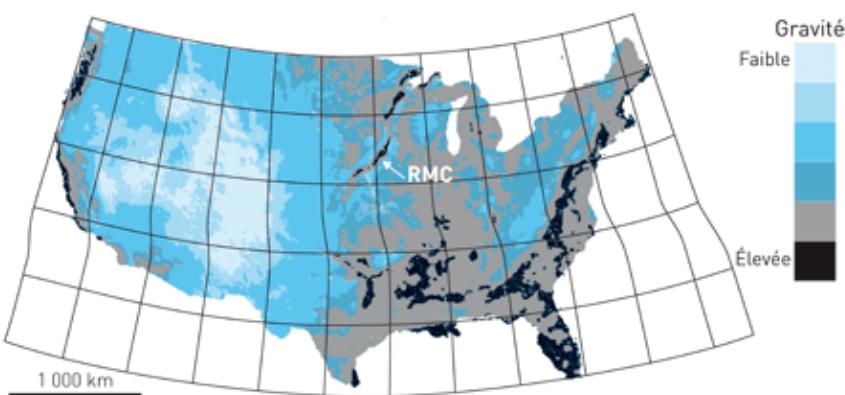
2. Les propositions exactes sont **a, e et f**.

ANNABAC GEOL 1

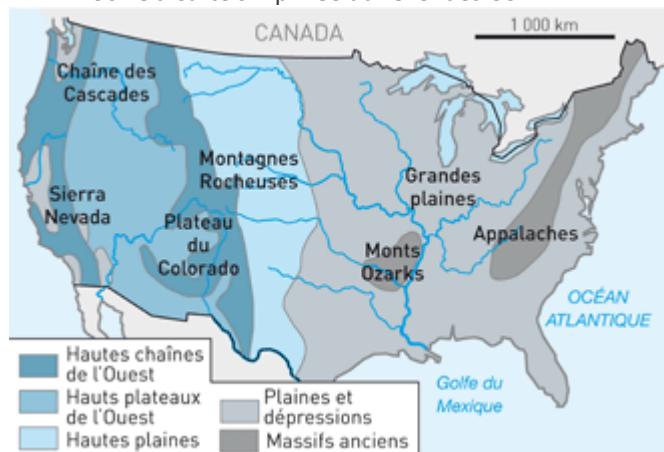
Isostasie et gravimétrie Durée: 40 min

Les géologues utilisent des gravimètres, constitués d'un poids suspendu à un ressort, pour mesurer la force de gravité à certains endroits de la surface terrestre. Une **anomalie gravimétrique** se produit là où la valeur de la gravité ne correspond pas à la valeur attendue calculée. Une anomalie positive indique que la force gravitationnelle est plus forte que ce qu'on attendait, une anomalie négative, qu'elle est plus faible. On rappelle que la force de gravité est d'autant plus importante que la masse du corps sur lequel elle s'exerce est élevée. Ainsi une anomalie positive indique la présence en profondeur de roches ayant une masse volumique (donc une densité) élevée, alors qu'une anomalie négative indique la présence en profondeur de roches ayant une masse volumique moins élevée que la moyenne des roches habituellement trouvées à cette profondeur.

Doc 13a Carte des anomalies gravimétriques des USA



Doc 13b Carte simplifiée du relief des USA



I. Faites correspondre chaque proposition de la **liste A** à une ou plusieurs propositions de la **liste B**.

Liste A

1. Zone de gravité élevée à l'est
2. Zone de gravité élevée en bordure ouest du continent
3. Zone de gravité faible à l'ouest
4. Rift médiо-continental (RMC), gravité élevée
5. Zone de gravité normale à l'est

Liste B

- a. Zone montagneuse qui contient un excédent de roches peu denses (granitoïdes, sédiments continentaux).
- b. Zone dans laquelle le Moho est situé plus bas que sa profondeur moyenne.
- c. Zone d'anciennes montagnes érodées.
- d. Zone qui contient des roches du socle formées à quelques km de profondeur, remontées en surface par rééquilibrage isostatique après érosion.
- e. Zone qui contient des roches plus denses que la densité moyenne des roches des continents.
- f. Zone volcanique, riche en basalte. g. Zone continentale proche de la fosse de subduction océan/continent nord-américaine.
- h. Grandes plaines et lacs. i. Appalaches. j. Montagnes Rocheuses.
- k. Zones de marges passives, où la lithosphère amincie, subside.

II. Expliquez les anomalies gravimétriques au niveau de la marge active au nord-ouest.

Corrigé Isostasie et gravimétrie :

I. 1. e. 2. e, g, k. 3. a, b, j. 4. e, f, h. 5. c, d, i

II. La bordure ouest américaine est une marge active : la plaque océanique pacifique dense passe sous la plaque américaine, ce qui explique la forte anomalie positive. Du matériel très dense passe en subduction sous la marge.

III. Une montagne est formée par déformation des roches crustales qui s'épaissent. Par isostasie, la zone de la plaque épaisse s'enfonce dans l'asthénosphère. Elle présente, par rapport aux roches des régions voisines moins déformées, un excès de roches peu denses, ce qui est à l'origine des anomalies gravimétriques négatives enregistrées.