

# Thème Le domaine continental et sa dynamique

# Chapitre I Caractérisation du domaine continental

## - I - Les caractéristiques de la lithosphère continentale

### 1) La nature de la croûte continentale

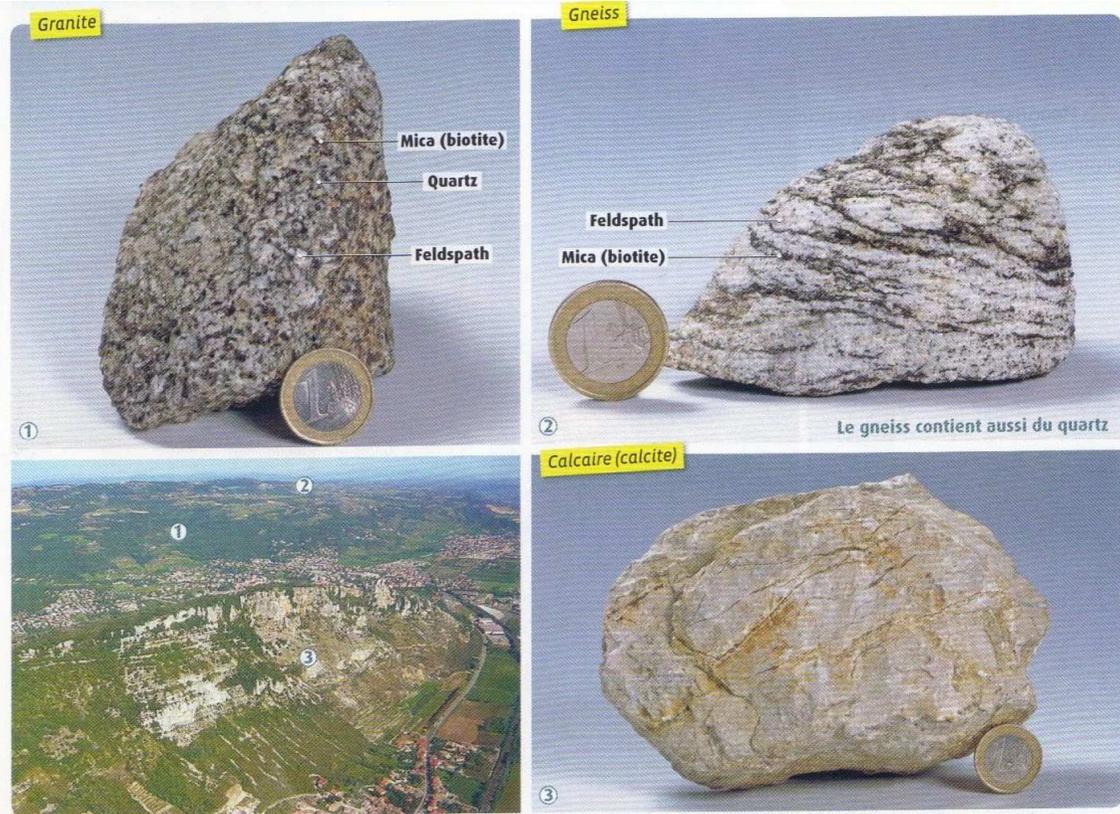
Rappels sur la croûte océanique



lame mince de gabbro



lame mince de basalte



**1 Les roches de la bordure orientale du Massif central (région de Valence).** Au premier plan, la montagne de Crussol, au second plan, les monts du Vivarais. Ces reliefs sont constitués de roches diverses, dont des échantillons sont présentés.

La partie supérieure de la croûte continentale, échantillonnée sur des affleurements et à l'occasion de forages, comprend :

- des **roches sédimentaires** (11,0% du volume) comme les calcaires, les grès et les argiles. Ce type de roches est formé essentiellement à partir de sédiments enfouis et durcis.
- des **roches magmatiques** (44,5%) comme les granites. Ce type de roches résulte du refroidissement d'un magma.
- des **roches métamorphiques** (44,5%) comme les gneiss, dont la composition chimique est proche de

celle d'un granite. Ce type de roches provient de la transformation à l'état solide d'autres roches sous l'effet de variations de la pression et de la température. Les roches sédimentaires forment une couverture superficielle reposant sur un socle magmatique et métamorphique. Cette couverture, épaisse de plusieurs kilomètres dans les grands bassins sédimentaires, a parfois entièrement disparu du fait de l'érosion. La croûte continentale inférieure, échantillonnée grâce à des remontées volcaniques ou tectoniques, est constituée essentiellement de roches métamorphiques.

**2 Les roches de la croûte continentale.**

## 2) La densité de la croûte continentale

Densité : masse volumique d'un matériau rapportée à la masse volumique de l'eau ( $1\text{g/cm}^3$ )

Densité de la croûte continentale = 2,7

Densité de la croûte océanique = 2,9

Densité du manteau lithosphérique = 3,3

=> la LC est moins dense que la LO

### 3) La datation de la croûte continentale

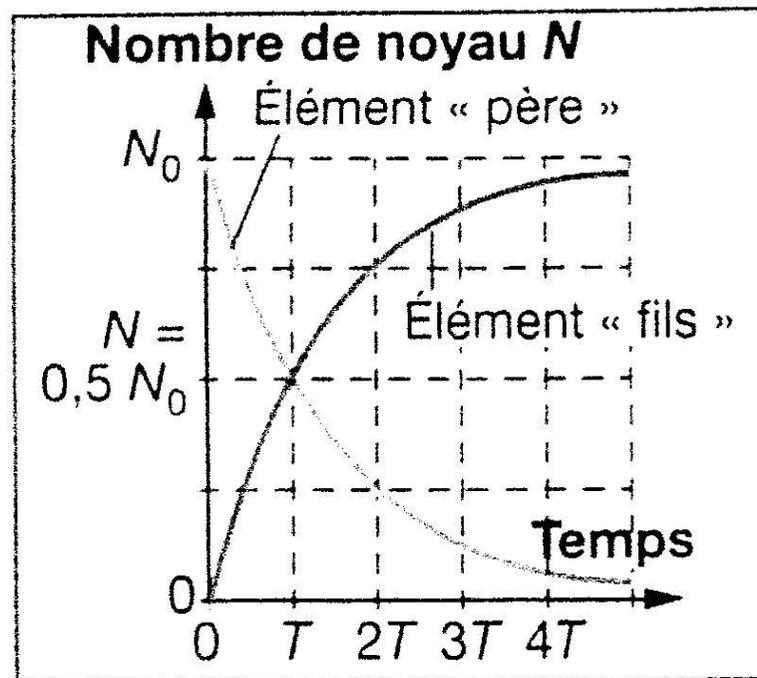
#### a) Les principes de la radiochronologie

**Isotopes** : éléments chimiques de même numéro atomique mais de masse légèrement différente

**Isotope radioactif** : élément chimique instable qui se désintègre spontanément en un élément chimique stable (non radioactif) en émettant un rayonnement

Mesure de la décroissance des isotopes radioactifs d'une roche.

Isotopes naturels contenus dans les roches : éléments pères P => désintégration en éléments fils F, stables



Au fur et à mesure que le temps s'écoule, le nombre d'atomes de l'élément père diminue et celui de l'élément fils augmente : la décroissance d'un élément radioactif est donc fonction du temps.

Chaque élément est caractérisé par sa période  $T$  de demi-vie, c'est-à-dire le temps au bout duquel 50% de l'élément radioactif s'est désintégré.

La désintégration de l'élément père suit une loi exponentielle de la forme :

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$t = \frac{\ln N_0 / N}{\lambda}$$

$\lambda$  : constante de désintégration

$N$  : élément radioactif père à l'instant  $t$

$N_0$  : élément radioactif père à l'instant 0

$$\lambda \text{ du Rb} = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$$

⇒ isotopes choisis en fonction de la période de temps que l'on cherche à explorer

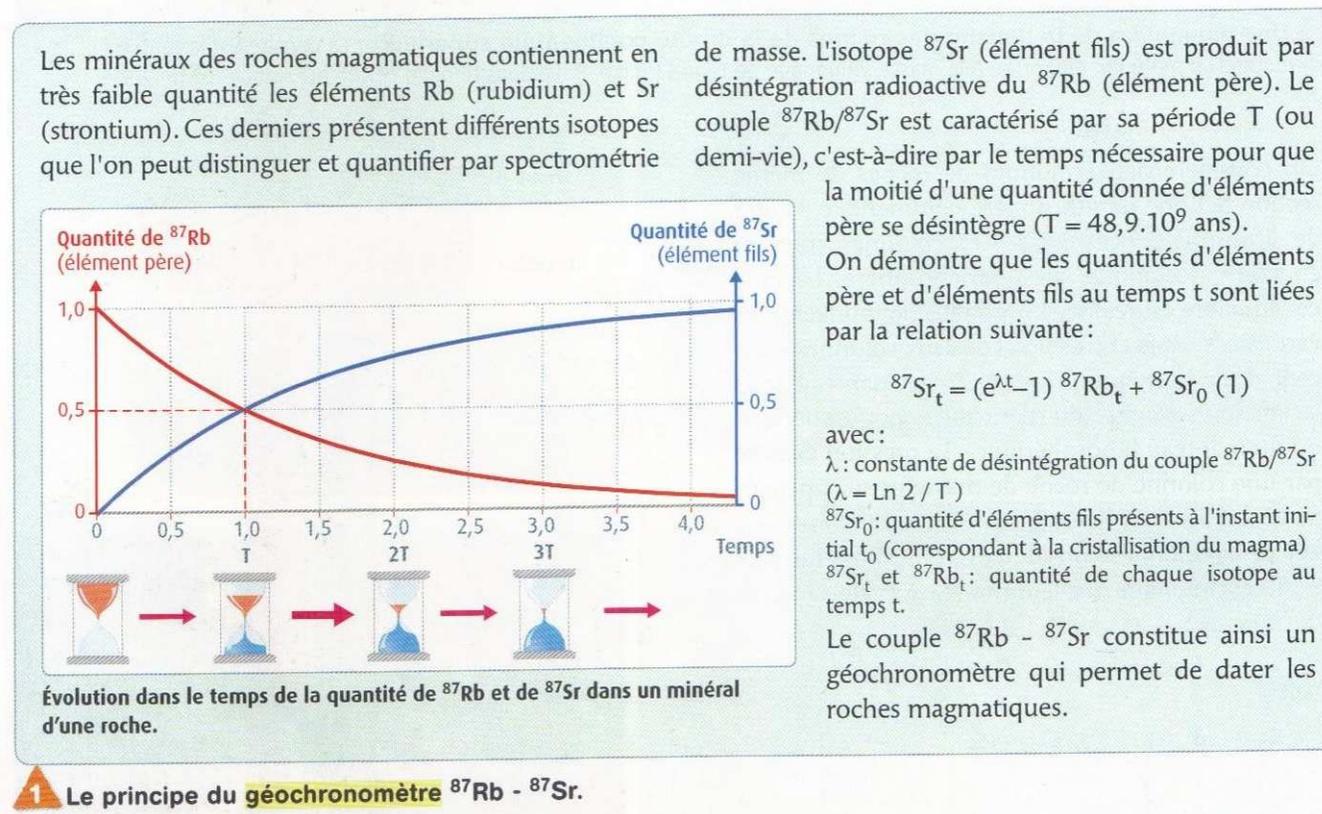
⇒ datation des roches d'origine magmatique ou métamorphique

⇒ durée mesurée = temps écoulé entre la fermeture du système et l'actuel

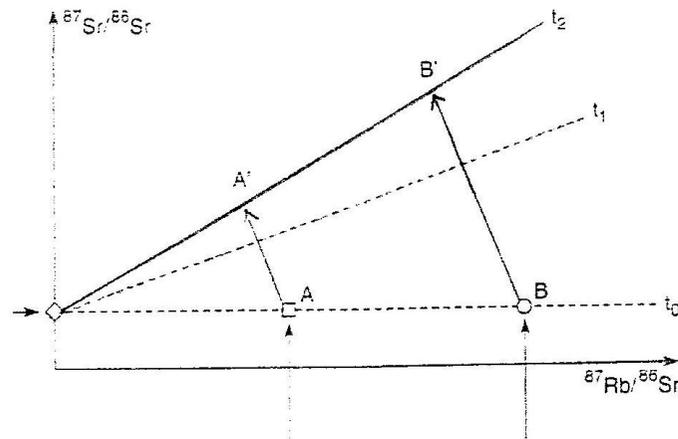
## b) La méthode au Rubidium - Strontium

Rubidium (Rb) et Strontium (Sr) : deux isotopes présents dans les roches de la croûte continentale

$^{87}\text{Rb}$  : se désintègre en  $^{87}\text{Sr}$



# Droite isochrone Rubidium - Strontium

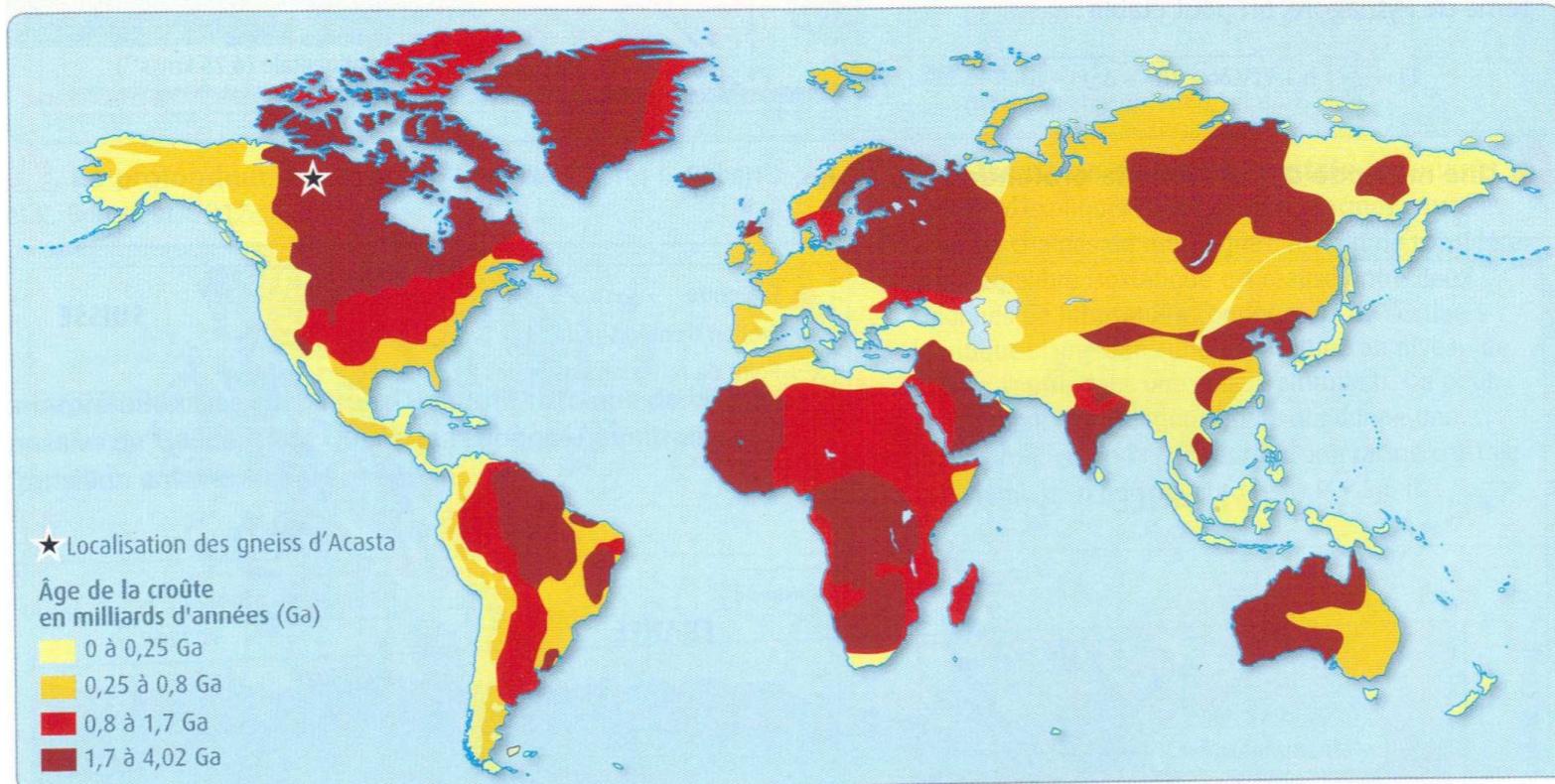


$t_0, t_1, t_2$  : Valeurs des rapports isotopiques au cours du temps dans deux minéraux A et B.

**A et B** : Les deux minéraux au temps  $t_0$ .

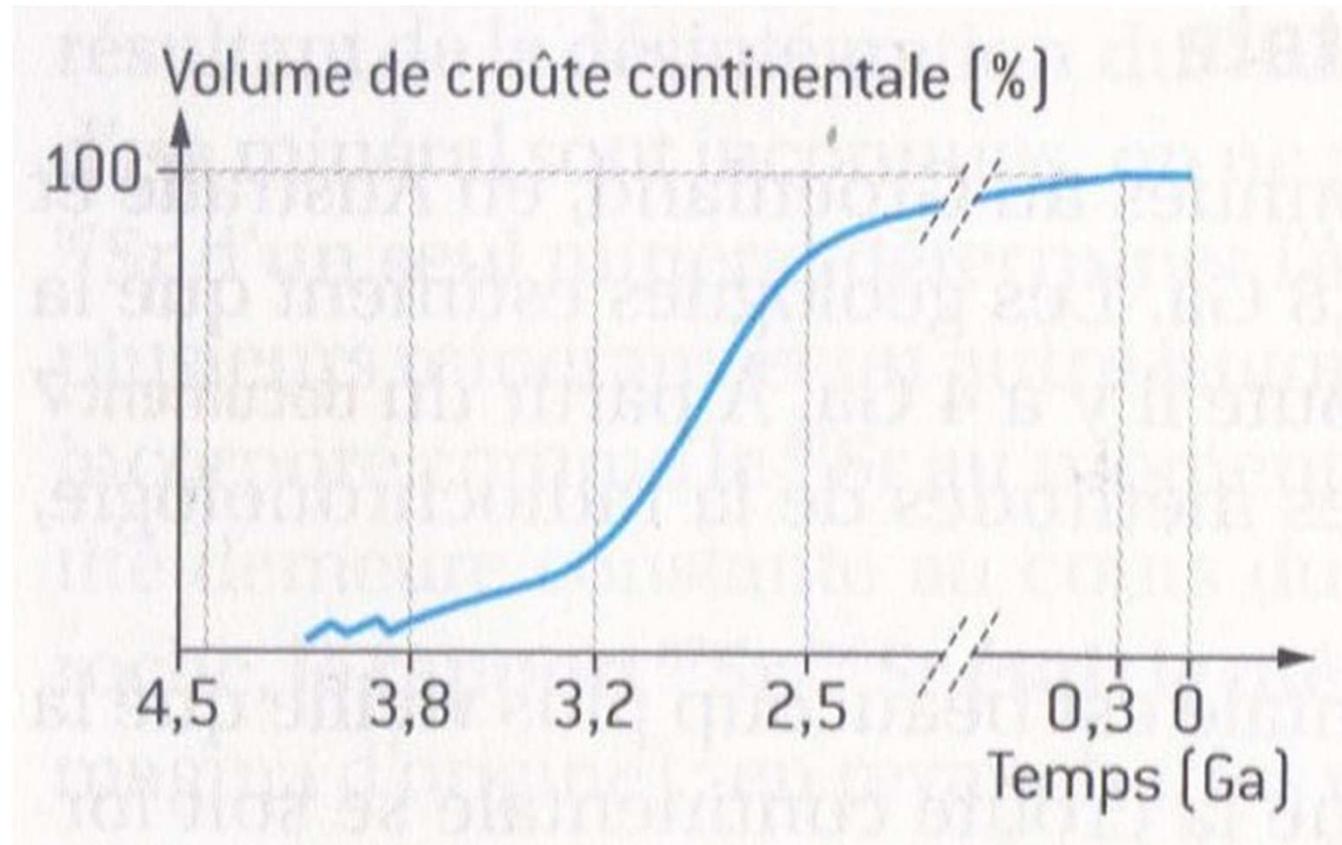
**A' et B'** : Les mêmes minéraux au temps  $t_2$ .

## c) Les âges de la croûte continentale

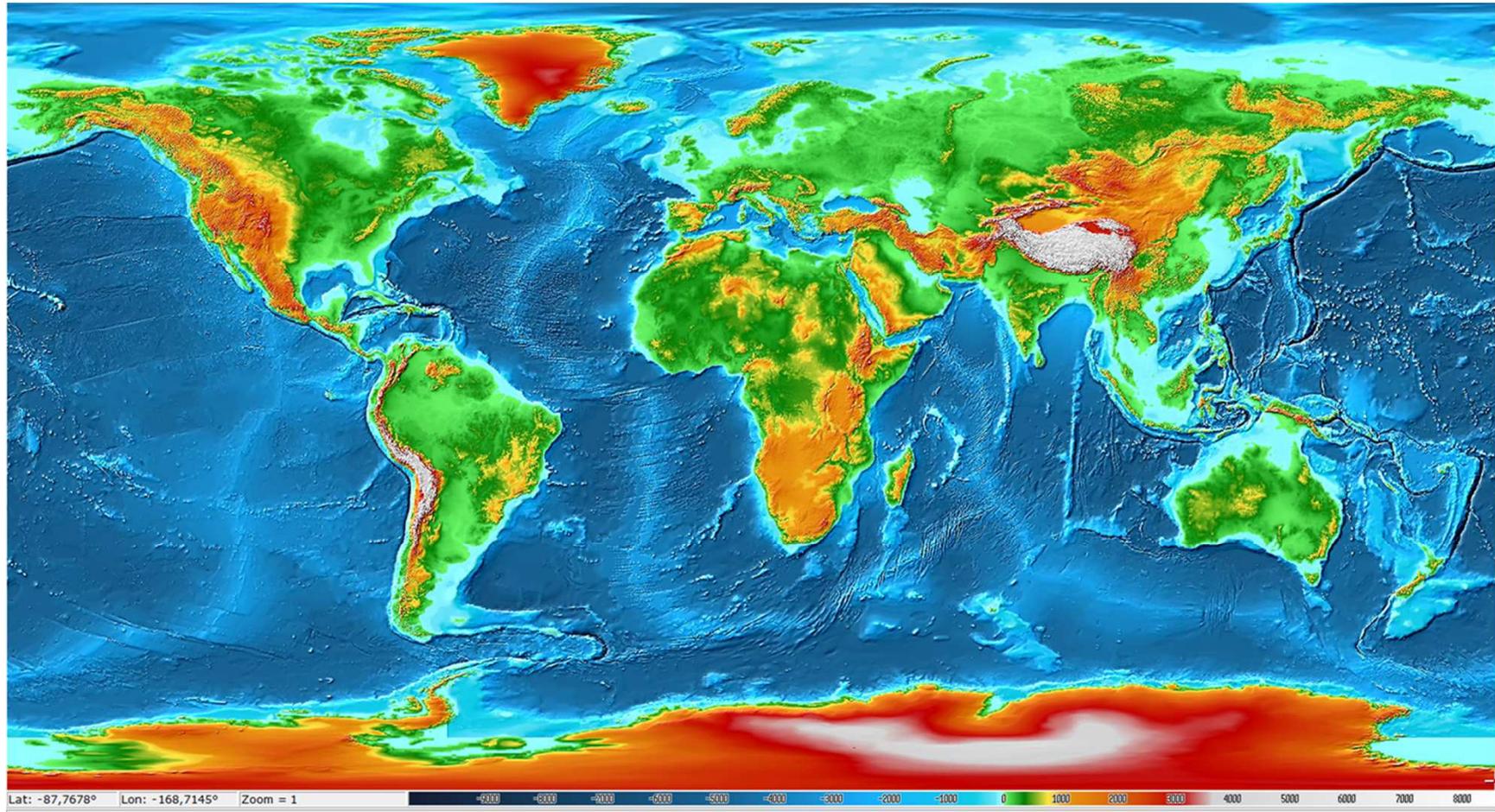


**4 L'âge de la croûte continentale.** Les roches dont l'âge est indiqué sont celles du socle de roches magmatiques et métamorphiques. La couverture sédimentaire qui, en de nombreux endroits, recouvre ce socle, n'a pas été prise en compte. Les roches les plus anciennes connues sur Terre sont les gneiss d'Acasta (Canada), âgés de 4,02 milliards d'années

## Evolution du volume de la croûte continentale au cours du temps, en % du volume actuel

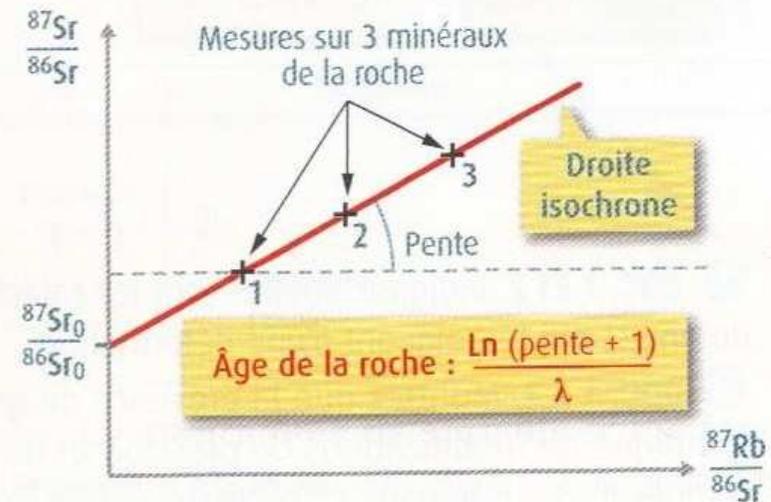


# Carte du relief du Monde



# Bilan

- La **radiochronologie** permet de dater la croûte continentale. Lors de la cristallisation d'un magma, les minéraux incorporent différents isotopes des éléments Rb et Sr en petite quantité. Dans la roche issue de la cristallisation, le  $^{87}\text{Rb}$ , instable, se désintègre en  $^{87}\text{Sr}$  au cours du temps, selon une loi exponentielle décroissante: les quantités de  $^{87}\text{Rb}$  et de  $^{87}\text{Sr}$  sont donc mathématiquement liées. La mesure par spectrométrie de masse de la quantité de  $^{87}\text{Rb}$  et de  $^{87}\text{Sr}$  dans différents minéraux d'une roche magmatique permet ainsi de déterminer son âge.
- La croûte continentale présente des roches d'âges variés, parfois supérieur à 4 Ga, alors que l'âge de la croûte océanique n'excède pas 200 Ma.

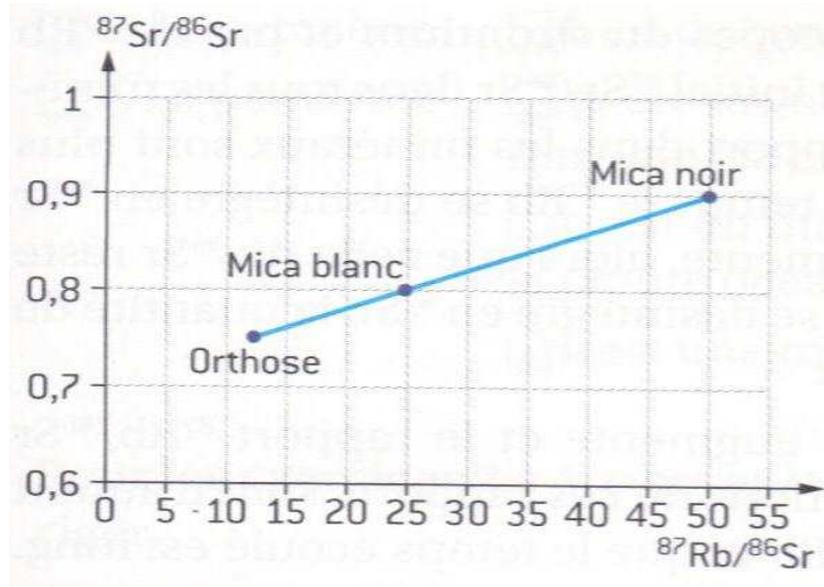


**Détermination graphique de l'âge d'une roche magmatique.**

Exercice : datation d'une roche par la méthode Rb / Sr

Certains minéraux du granite, comme l'orthose (feldspath potassique) et les micas (noir et blanc) incorporent lors de leur formation du  $^{87}\text{Rb}$ , un isotope radioactif du rubidium ainsi que  $^{87}\text{Sr}$  et  $^{86}\text{Sr}$ , isotopes stables du strontium. Le  $^{87}\text{Rb}$  se désintègre spontanément en  $^{87}\text{Sr}$ . En utilisant un spectromètre de masse, on a pu mesurer les rapports  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  et  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  dans trois minéraux d'un granite. La droite isochrone (document 1) indique les résultats obtenus.

**A partir des informations extraites du document 1, indiquer comment évoluent les rapports isotopiques  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  et  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  au cours du temps. En déduire l'évolution du coefficient directeur de la droite, puis calculer, à l'aide du document 2, l'âge du granite étudié.**



Document 1 : méthode des isochrones

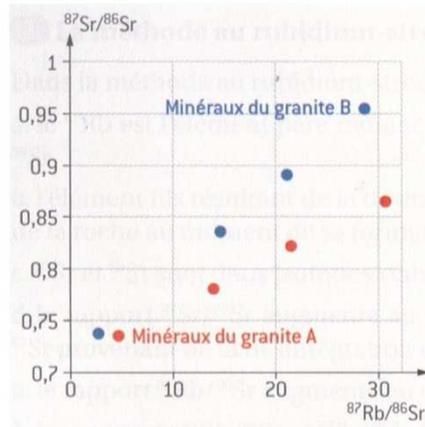
$$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = f(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})$$

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

Document 2

### Exercice : datation de deux granites

On a prélevé des échantillons de granite dans deux massifs A et B afin de déterminer leur âge. Pour chaque échantillon, on a établi les rapports  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  et  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  pour plusieurs minéraux.



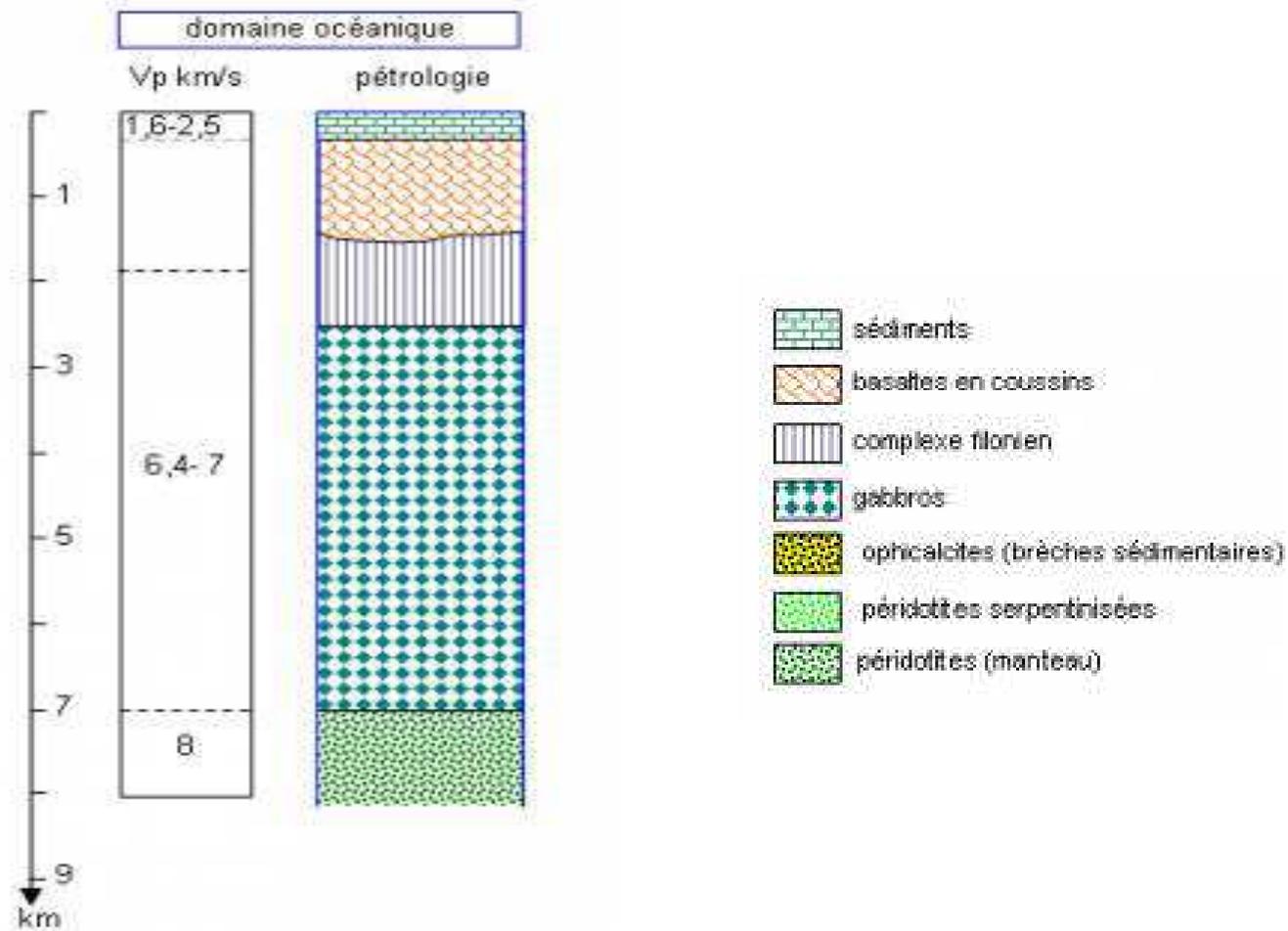
**A partir des informations du document ci-dessus et de vos connaissances, relever parmi les affirmations suivantes celles qui sont inexactes et les corriger.**

- Les rapports  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  des deux granites étaient différents au moment de leur formation.
- Si on avait pu mesurer les teneurs en  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{87}\text{Sr}$  et  $^{86}\text{Sr}$  des minéraux de ces deux granites au moment de leur formation, les points représentatifs des rapports se seraient disposés suivant une ligne droite horizontale et les deux droites auraient été quasiment confondues.
- La différence de pente des droites isochrones A et B est due au fait que les minéraux du granite A étaient plus riches en  $^{87}\text{Rb}$  que ceux du granite B.
- Le granite B est plus récent que le granite A.

## 4) L'épaisseur de la croûte continentale

Tableau comparatif CO / CC

Propriétés	Croûte continentale	Croûte océanique
Epaisseur moyenne	35 km	7 km
Densité	2,7	2,9
Composition	granitique	basaltique
Age des roches les plus âgées	4 Ga	200 Ma



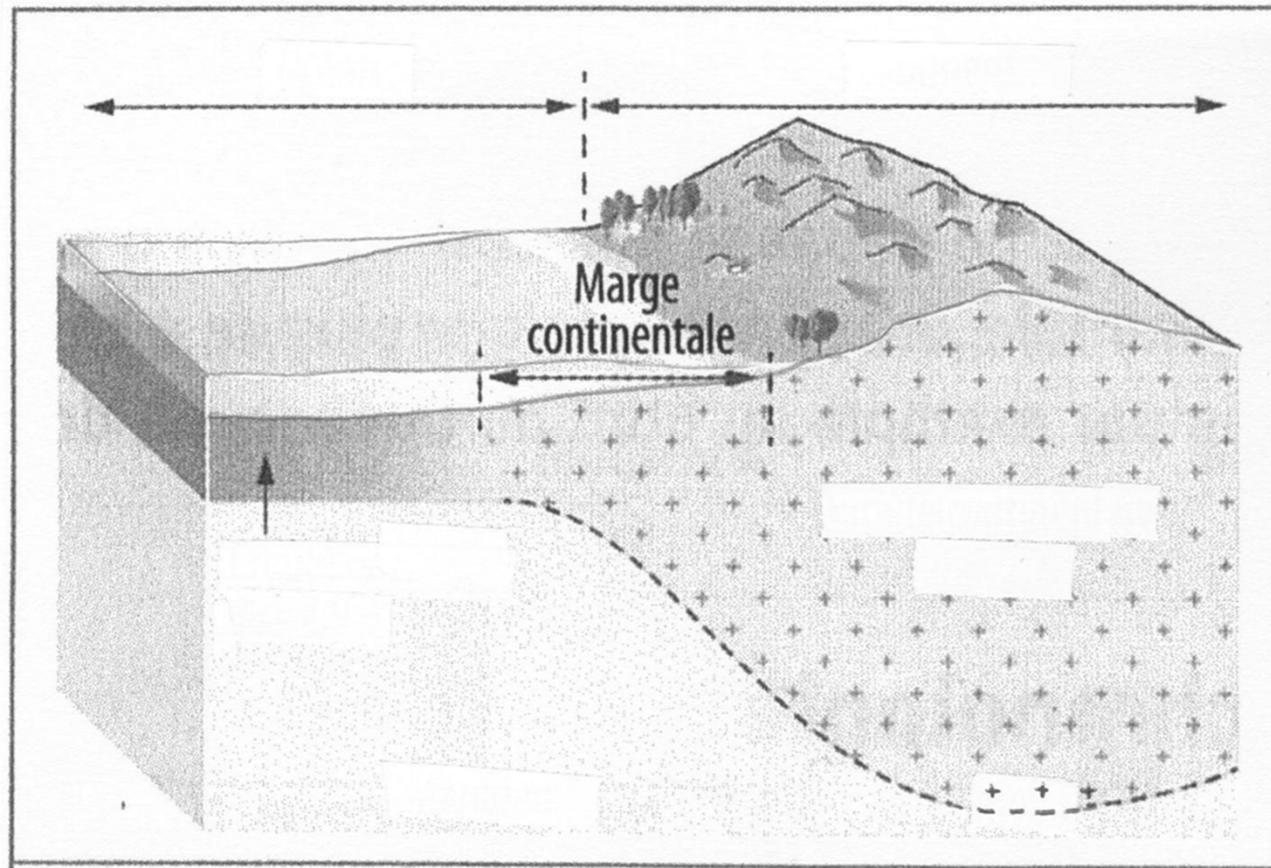
# Bilan

- La croûte continentale est essentiellement constituée de roches magmatiques et métamorphiques, avec une couverture superficielle de roches sédimentaires. Le modèle de l'isostasie permet de calculer qu'à l'équilibre isostatique, une croûte continentale d'altitude moyenne (+ 870 m) a une épaisseur d'environ 30 km, ce qui est confirmé par les mesures (voir unité 4). L'épaisseur moyenne de la croûte océanique est, elle, de 7 km.
- La croûte continentale se distingue donc de la croûte océanique par son épaisseur et sa densité, ce qui, dans le cadre de l'équilibre isostatique, explique les différences d'altitude moyenne entre océans et continents.

	Roches principales	Densité	Épaisseur /Altitude
Croûte continentale	Roches magmatiques (granites) et métamorphiques (gneiss)	2,8	30 km/+ 870 m
Croûte océanique	Roches magmatiques (basaltes et gabbros)	2,9	7 km/- 3 730 m

**Caractéristiques moyennes des croûtes océaniques et continentales.**

## Passage CC – CO au niveau d'une marge passive



## - II - Les reliefs continentaux

### 1) La notion d'isostasie

Continents : altitude moyenne + 840 m

Océans : profondeur moyenne – 3800 m

=> différences d'altitude moyenne entre les continents et les océans dues aux différences d'épaisseur et de densité des lithosphères continentale et océanique.

Isostasie : état d'équilibre de la lithosphère rigide sur l'asthénosphère plus déformable

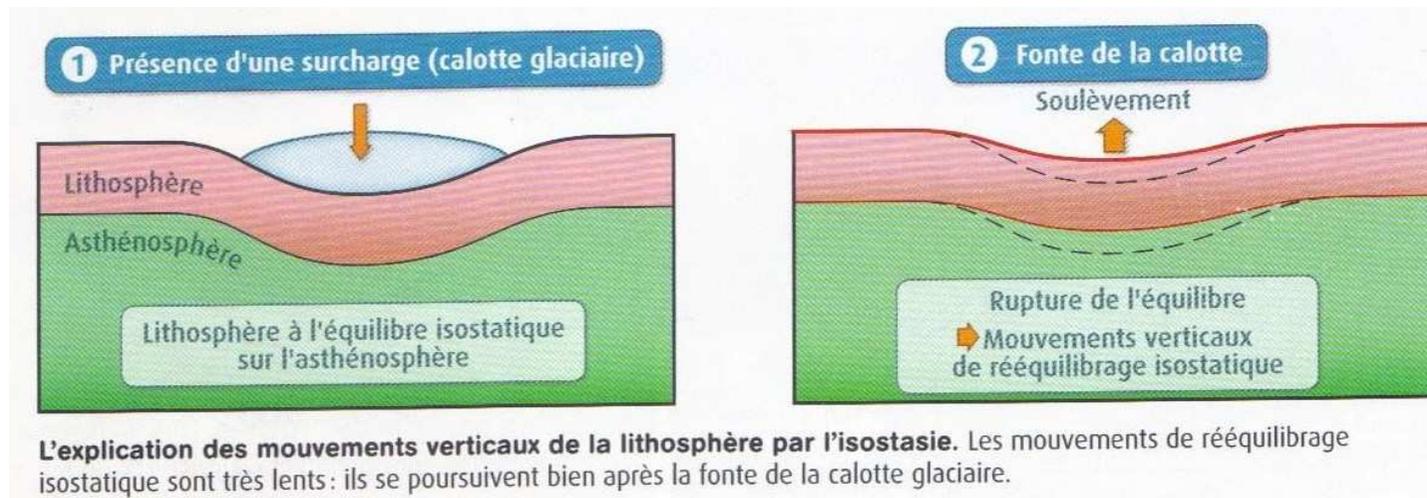
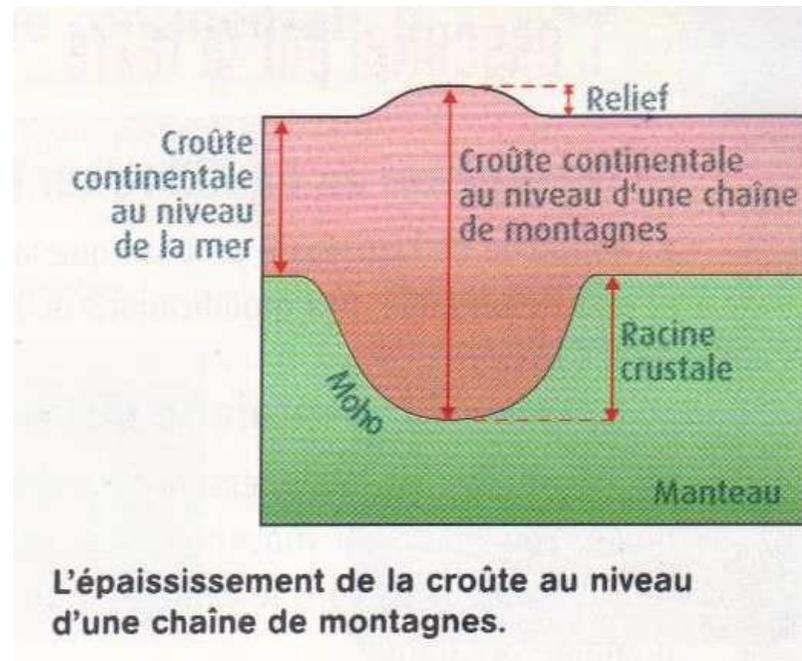
LO : + dense, donc s'enfonce davantage dans l'asthénosphère que la LC

LO : épaisseur + faible

⇒ la LO est à une altitude + basse que la LC

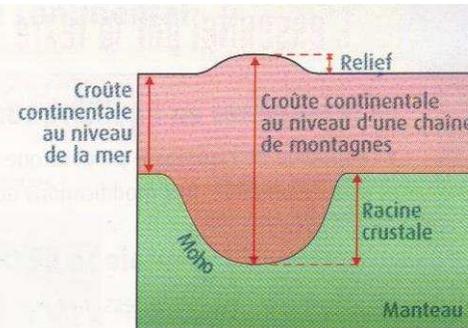
⇒ tout changement de densité et/ou d'épaisseur des lithosphères entraînera des mouvements verticaux que l'on qualifie de réajustement isostatique

## 2) Reliefs et racines



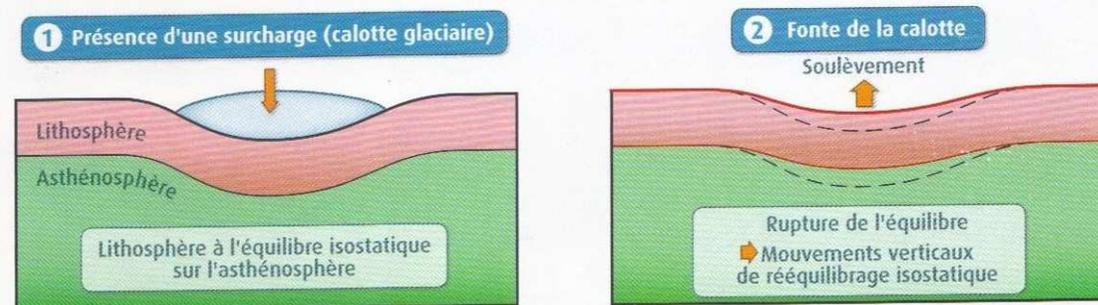
# Bilan

- L'étude de la propagation des ondes sismiques permet de localiser la limite croûte/manteau (**Moho**) et de déterminer l'épaisseur de la croûte continentale.
- Épaisse de 30 km en moyenne, la croûte continentale est plus mince au niveau des marges passives, et s'amincit à mesure que l'on s'approche de la croûte océanique. L'épaisseur de la croûte continentale est accrue au niveau des reliefs montagneux (jusqu'à 70 km). Cet épaissement est surtout lié à la présence d'une **racine crustale** en profondeur. Moins dense que le manteau, celle-ci permet la réalisation d'un équilibre isostatique malgré la surcharge créée en surface par le relief.



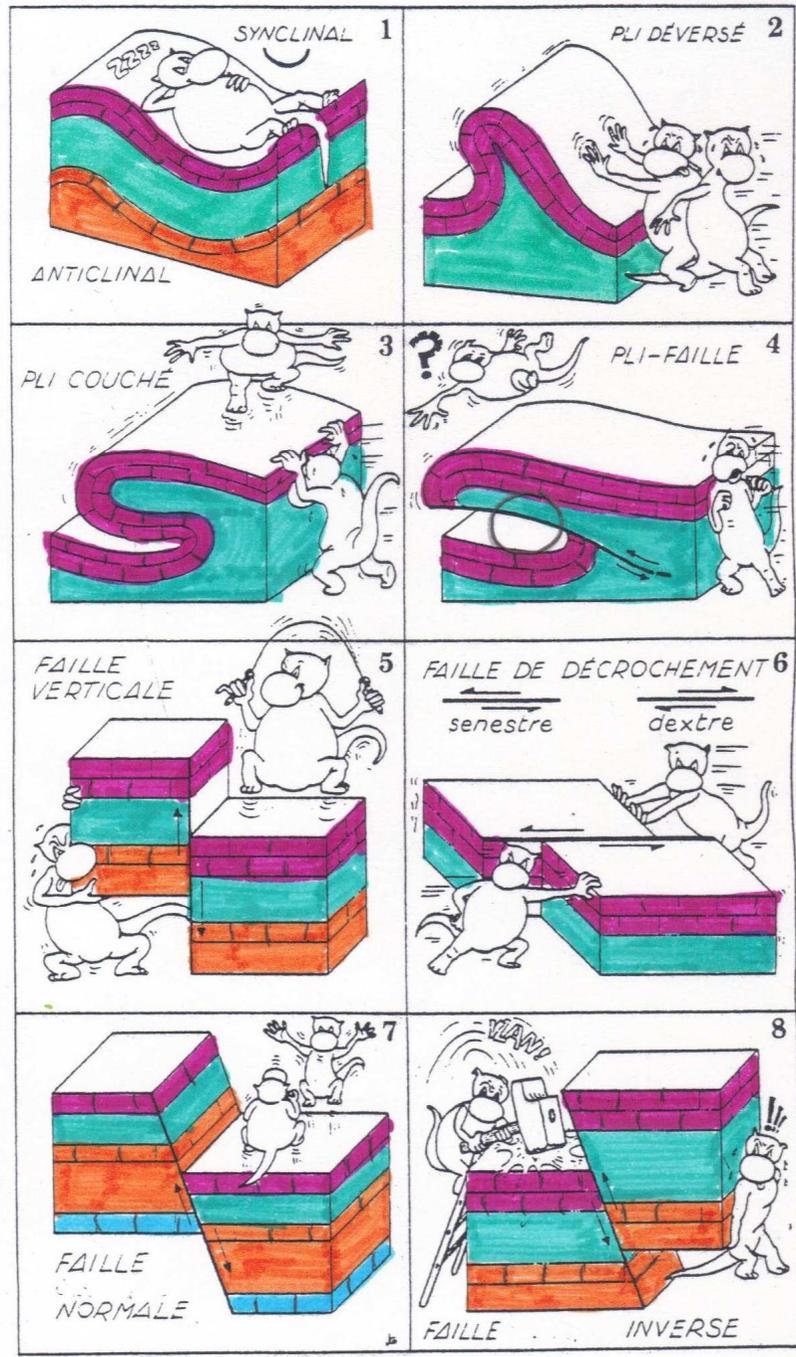
L'épaissement de la croûte au niveau d'une chaîne de montagnes.

- La lithosphère peut être affectée de mouvements verticaux consécutifs à la mise en place ou à la disparition d'une surcharge. Ainsi, en Scandinavie, on observe actuellement un soulèvement de la lithosphère, qui fait suite à la fonte d'une calotte glaciaire entre - 15 000 et - 7 000 ans.
- Ces mouvements attestent de la rupture provisoire d'un équilibre entre la lithosphère et l'asthénosphère : la lithosphère, rigide, repose en équilibre sur l'asthénosphère, plus déformable et plus dense. Le modèle qui décrit cet équilibre - dit isostatique - est l'**isostasie**.



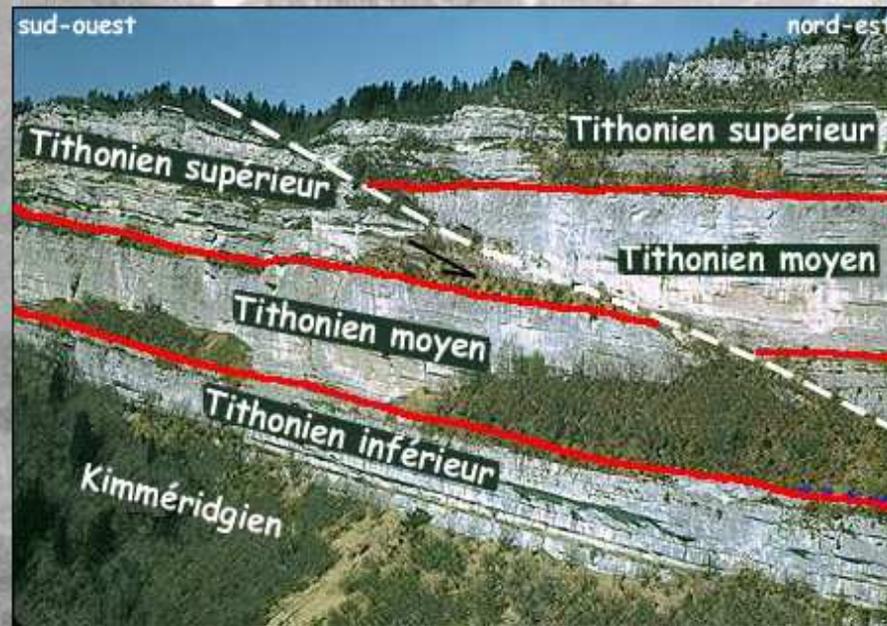
L'explication des mouvements verticaux de la lithosphère par l'isostasie. Les mouvements de rééquilibrage isostatique sont très lents : ils se poursuivent bien après la fonte de la calotte glaciaire.

### 3) Des indices tectoniques de l'épaississement crustal



# La falaise du Pas Guiguet

 autre région



Ces affleurements correspondent à des roches sédimentaires

Cette falaise du Pas Guiguet (vue prise d'avion) se trouve sur la corniche de Saint Eynard, située au nord de Grenoble.

Cette région fait partie du massif de la Chartreuse.

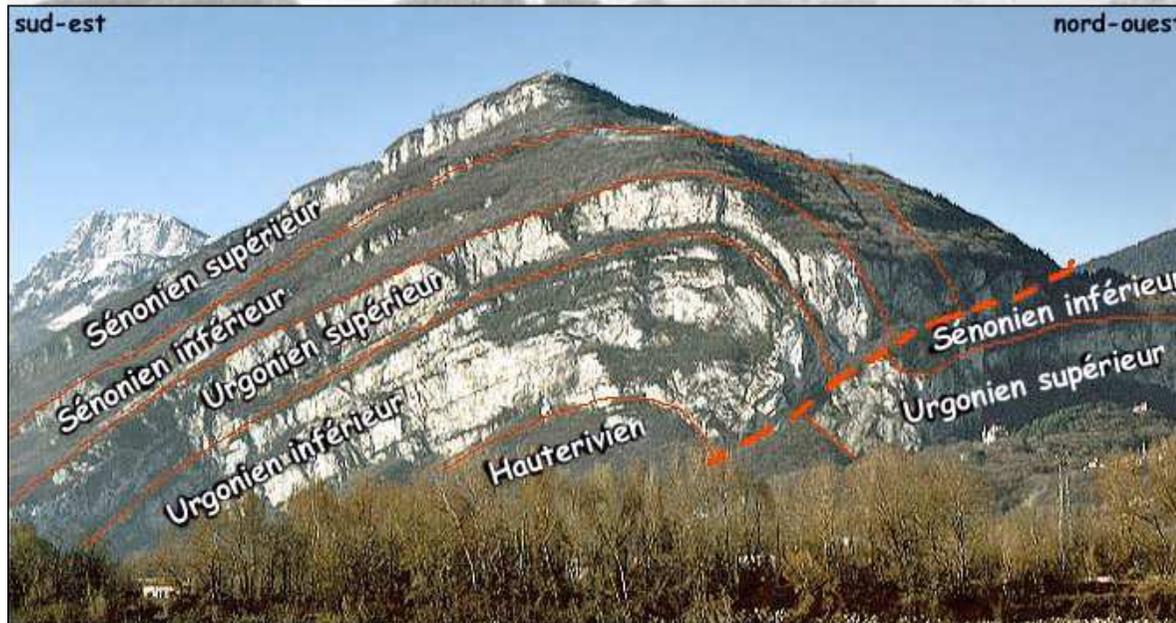
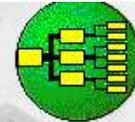
 autre paysage  
de la Chartreuse

Roches presque horizontales, présence d'une faille inverse (comportement cassant) : les 2 compartiments ont été soumis à un mouvement relatif, celui de droite a été surélevé et chevauche celui de gauche. Raccourcissement des terrains (20%), forces de compression.



# Le rocher de Sassenage

 [autre région](#)



Ces affleurements correspondent à des roches sédimentaires

Le rocher de Sassenage est situé à l'ouest de Grenoble, sur la rive gauche de la cluse de l'Isère.

Cette région fait partie du massif du Vercors.

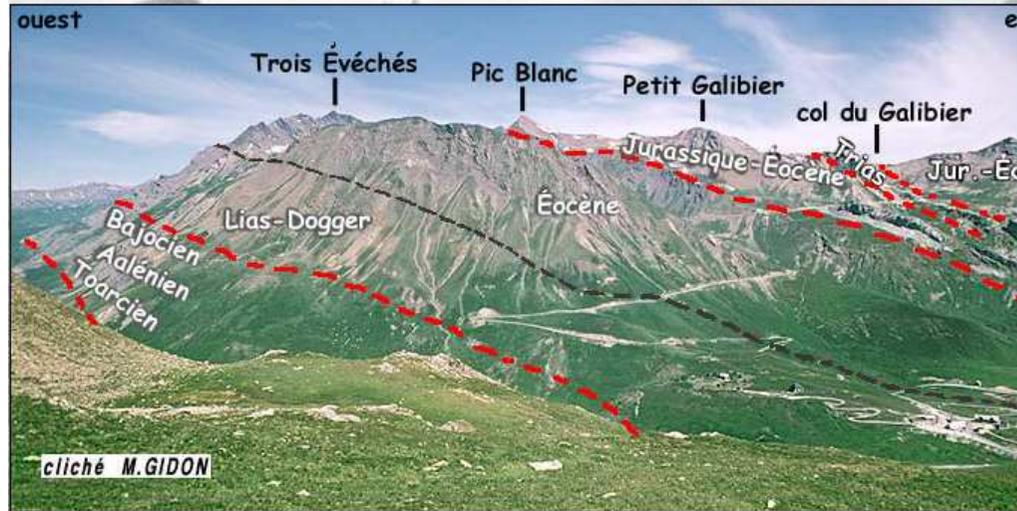
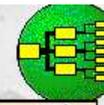
 [autre paysage du Vercors](#)

Pli dans les terrains sédimentaires. Roches déposées horizontalement, déformées de manière souple (comportement « plastique »). Ce plissement traduit un raccourcissement des terrains sous l'effet de forces de compression (environ 30%).



# Le col du Lautaret

autre région



Ces affleurements correspondent à des roches sédimentaires

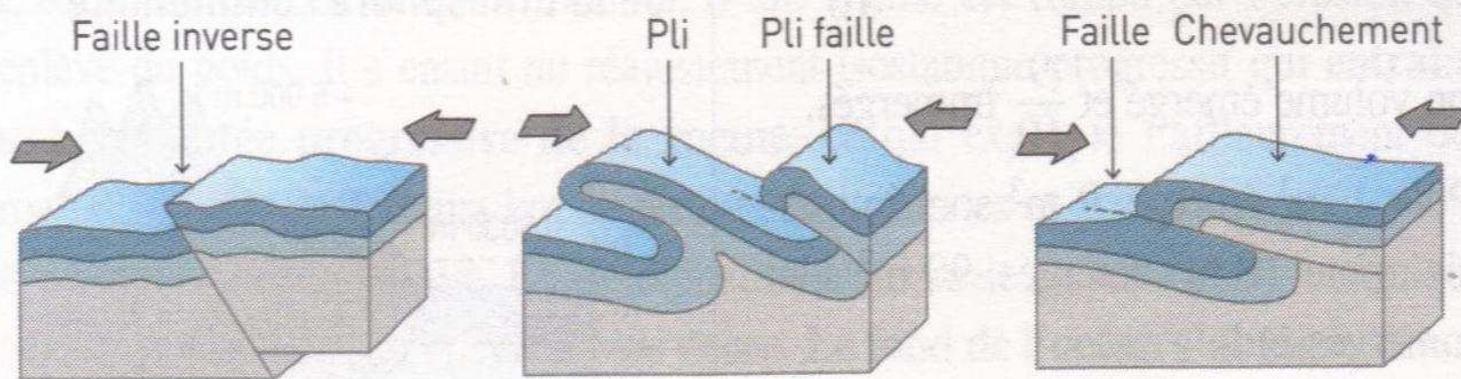


ères	système	sous-système	étages		
TERTIAIRE	23	Oligocène	Chattien	28	
			Rupélien	34	
	Paléogène =	Éocène	Priabonien	37	
			Bartonien	40	
	Nummulitique	Paléocène	Lutétien	46	
			Yprésien	53	
	SECONDAIRE = MÉSOZOÏQUE	65	supérieur	Thanétien	59
				Danien	65
		Crétacé	inférieur	Sénonien	88
				Turonien	91
			Cénomannien	95	
			Albien	108	
			Aptien	110	
			Urgonien	116	
			Hauterivien	122	
			Valanginien	130	
		Berriasien	135		
		Trithonien	141		
	supérieur = Malm	Kimméridgien	146		
		Oxfordien	154		
	Jurassique	moyen = Dogger	Callovien	160	
			Bathonien	167	
		inférieur = Lias	Bajocien	176	
			Aalénien	180	
			Toarcién	187	
			Pfienbachien	194	
			Sinemurien	201	
			Hettangien	205	
		supérieur	Rhétien	212	
			Norien	220	
		Trias	Carnien	230	
			Ladinien	235	
			Anisien	240	
			Scythien	245	

Âges en millions d'années

- Série datée du Toarcién au Bajocien (187 à 167 Ma), recouverte par une série datée du Lias à l'Eocène (205 à 34 Ma) : chronologie non respectée, contact anormal.
- Série Lias-Eocène en chevauchement sur le Bajocien : mouvement de grande ampleur amenant en superposition des roches initialement éloignées, charriage (autre marqueur d'une phase de compression).
- Séries Jurassique-Eocène (205 à 34 Ma) – Trias (245 à 205 Ma) – Jurassique-Eocène : succession de chevauchements, conduisant à la formation de reliefs importants.

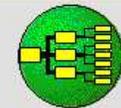
## Doc 2 Structures tectoniques visibles dans les chaînes de montagnes



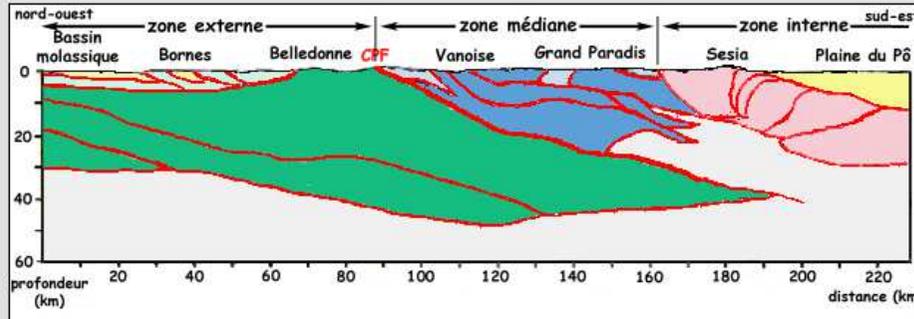
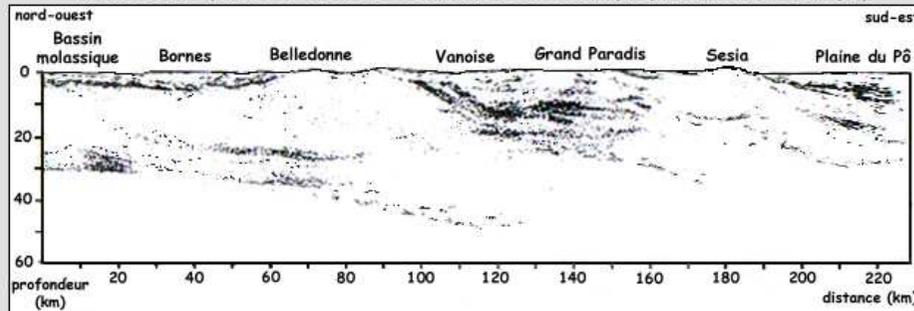


# Profil de sismique réflexion

 **datations**



Profil ECORS (Etude de la Croûte continentale et Océanique par Réflexion Sismique)



Interprétation synthétique du profil ECORS

Le programme ECORS correspond à une série de profils sismiques qui ont été réalisés en 1986-87. Ceci a permis d'obtenir une coupe de l'ensemble de la chaîne alpine.

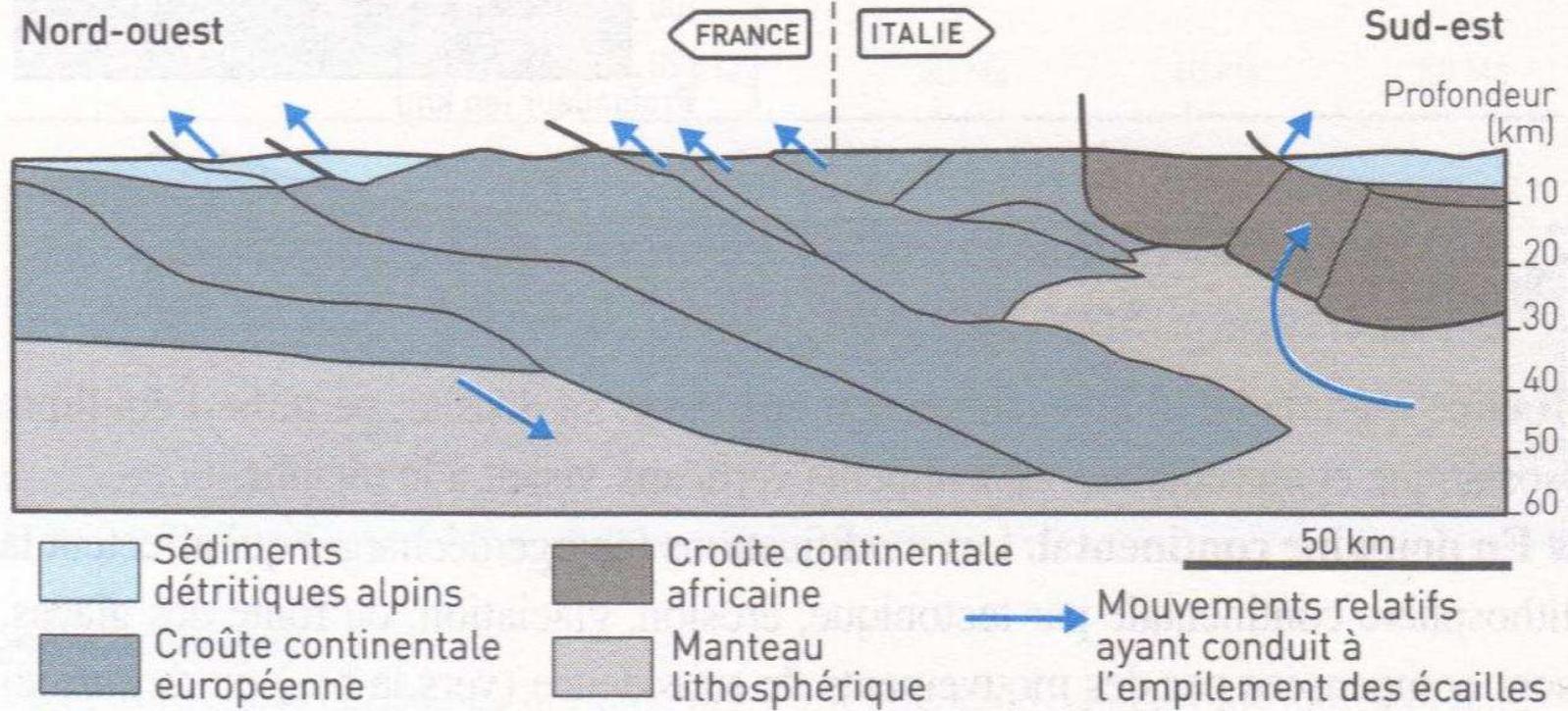
La sismique réflexion étudie la propagation d'ondes sismiques obtenues par de petites explosions ou des vibrations mécaniques à la surface du sol. Quand les ondes atteignent un réflecteur sismique, elles sont réfléchies et regagnent la surface où elles sont enregistrées.

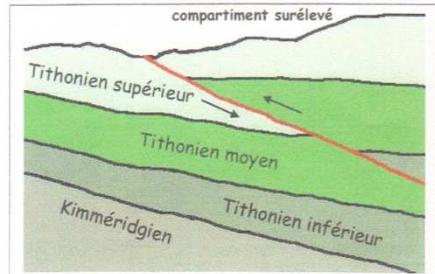
Un réflecteur sismique est une surface de discontinuité séparant des roches aux propriétés différentes. Le temps du trajet aller-retour des ondes permet d'estimer la profondeur des réflecteurs sismiques.

-  couverture sédimentaire récente (Tertiaire)
  -  couverture sédimentaire
  -  socle
  -  couverture sédimentaire
  -  socle
  -  socle
  -  manteau lithosphérique
- CPF chevauchement pennique frontal

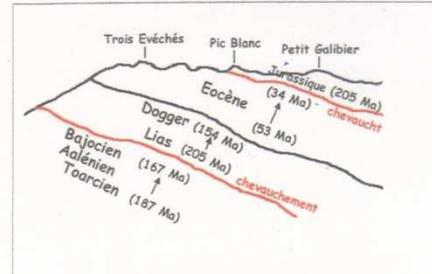
Les 2 extrémités du profil correspondent aux 2 plaques convergentes : la plaque européenne et la plaque africaine. Mouvement de compression est-ouest : la L européenne s'enfonce sous la L africaine. Moho à 50 km de profondeur, CC nettement épaissie : racine crustale. Racine crustale formée d'un empilement d'écailles de croûte, superposées les 1 sur les autres. Ecailles de manteau lithosphérique intercalées entre des écailles de croûte.

### Doc 3 Les écailles tectoniques de la racine crustale alpine

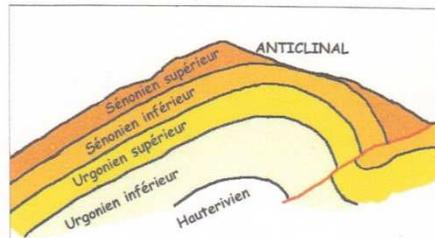




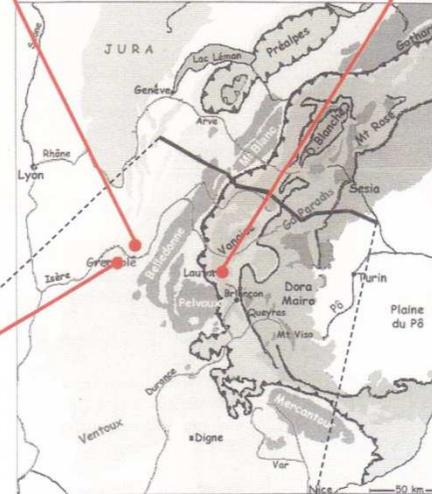
La falaise du Pas Guiguet (massif de la Chartreuse)



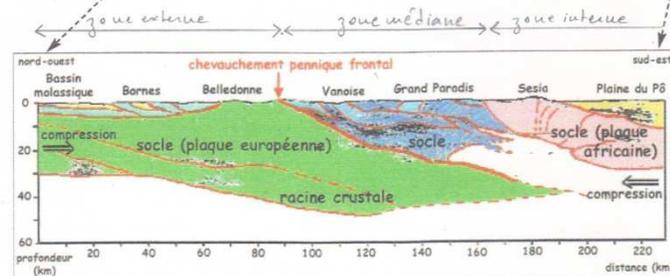
Le col du Lautaret



Le pli de Sassenage (massif du Vercors)



Carte simplifiée des Alpes



Le profil ECORS dans les Alpes

- couverture sédimentaire récente (Tertiaire)
- couverture sédimentaire } zone externe
- socle
- couverture sédimentaire } zone médiane
- socle
- socle zone tectonique
- manteau lithosphérique

## Conclusion

Dans les chaînes de montagnes, les formations sédimentaires sont souvent plissées (déformations souples). On observe également des failles inverses (déformations cassantes).

Les chevauchements et les nappes de charriage sont d'autres indices tectoniques de l'épaississement crustal : des terrains ayant subi un déplacement limité (chevauchement) ou de grande ampleur (nappe de charriage) reposent sur des terrains restés en place.

Ces chevauchements et nappes de charriage ont pour effet de superposer des terrains anciens sur des terrains plus récents.

L'ensemble de ces structures témoigne de l'existence de forces compressives et d'un raccourcissement dans les chaînes de montagnes.

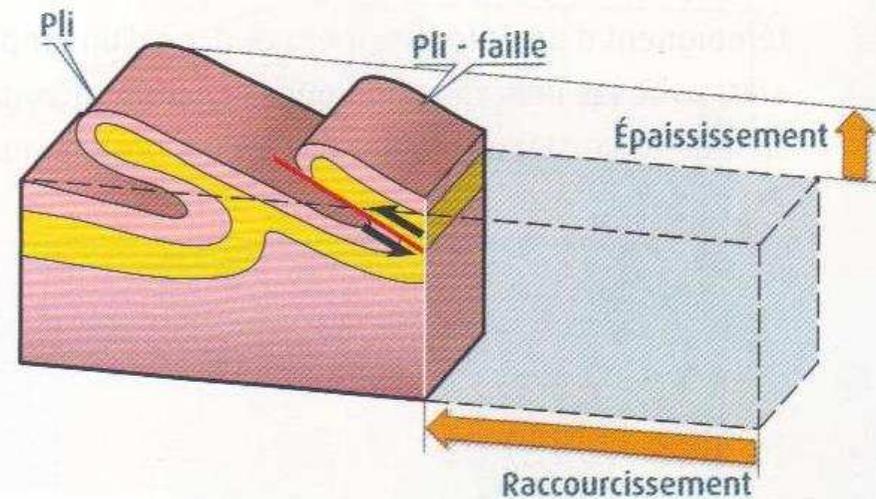
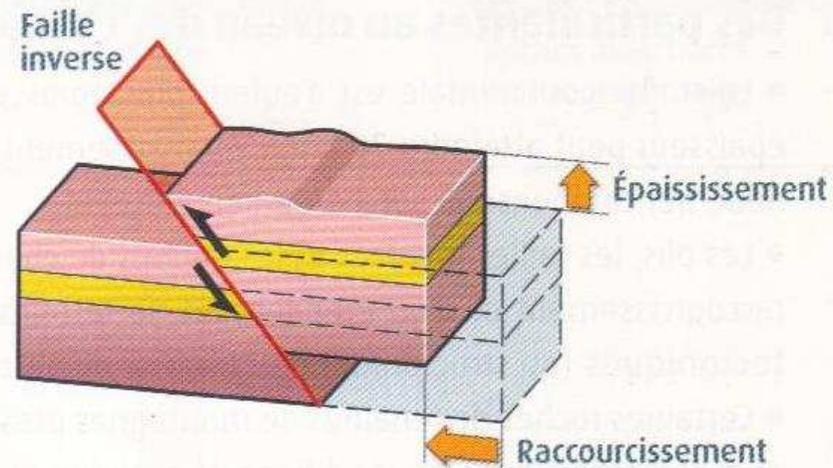
Les reliefs élevés, observés en surface, sont associés à un épaissement important de la croûte continentale en profondeur. Cette croûte pouvant atteindre 70 km de profondeur constitue une racine crustale.

La racine crustale est constituée par un empilement d'écailles tectoniques de croûte, superposées les 1 sur les autres et se chevauchant. Dans les Alpes, certaines écailles du manteau lithosphérique sont même intercalées entre des écailles de croûte.

# Bilan

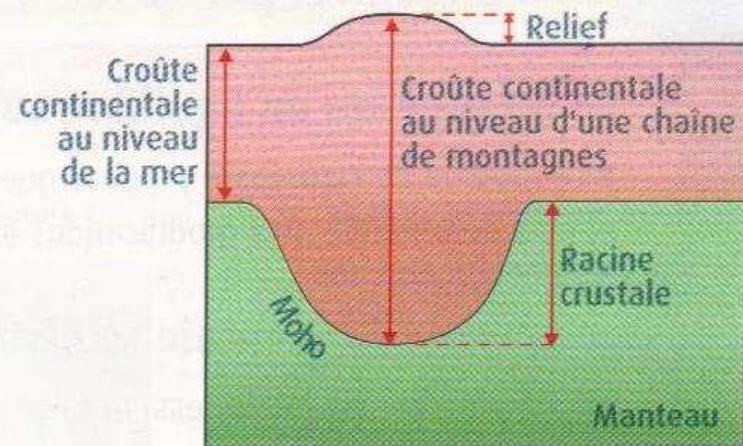
- Dans les chaînes de montagnes, on observe:
  - des **plis** et des **failles inverses**, qui sont des déformations s'accompagnant d'un raccourcissement et d'un épaissement par empilement de roches;
  - des nappes de charriage, qui résultent du déplacement de terrains. Ces derniers recouvrent d'autres terrains initialement éloignés et cet empilement de terrains entraîne un épaissement.
- Plis, failles inverses et **nappes de charriage** sont donc les indices tectoniques (ou structuraux) d'un raccourcissement associé à un épaissement de la croûte dans les chaînes de montagnes.

**Plis, failles inverses et épaissement de la croûte continentale.**



# Bilan

- L'étude de la propagation des ondes sismiques permet de localiser la limite croûte/manteau (**Moho**) et de déterminer l'épaisseur de la croûte continentale.
- Épaisse de 30 km en moyenne, la croûte continentale est plus mince au niveau des marges passives, et s'amincit à mesure que l'on s'approche de la croûte océanique. L'épaisseur de la croûte continentale est accrue au niveau des reliefs montagneux (jusqu'à 70 km). Cet épaissement est surtout lié à la présence d'une **racine crustale** en profondeur. Moins dense que le manteau, celle-ci permet la réalisation d'un équilibre isostatique malgré la surcharge créée en surface par le relief.



**L'épaissement de la croûte au niveau d'une chaîne de montagnes.**

## 4) Des indices pétrographiques de l'épaississement crustal



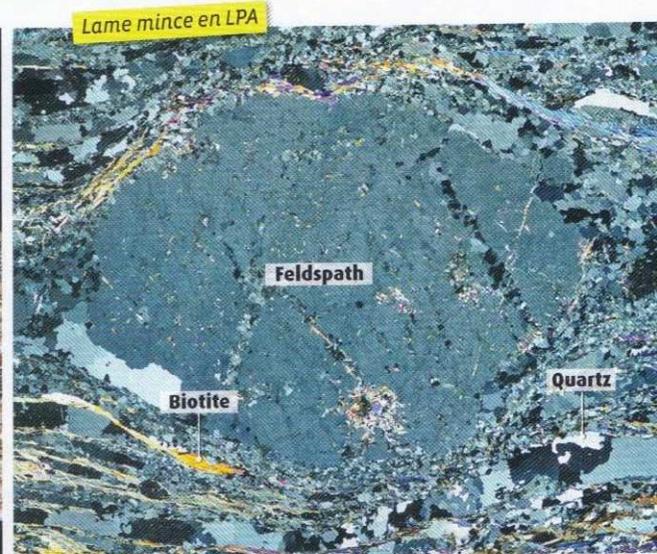
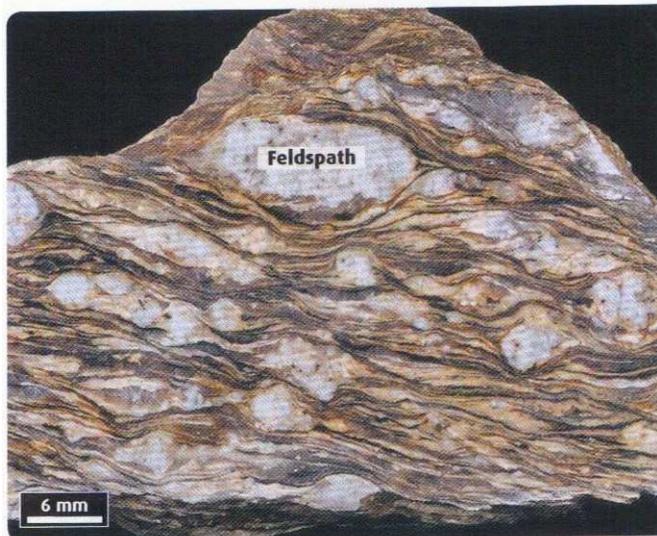
Interview de Patrick Cordier, chercheur en physique des matériaux.

**Une roche soumise à des contraintes inégales dans les différentes directions de l'espace peut se déformer.** La réponse à ces

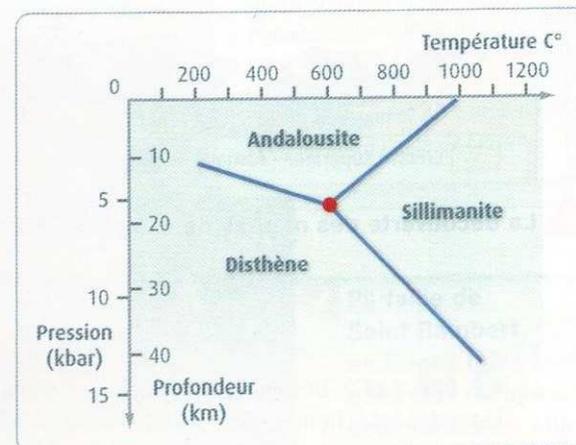
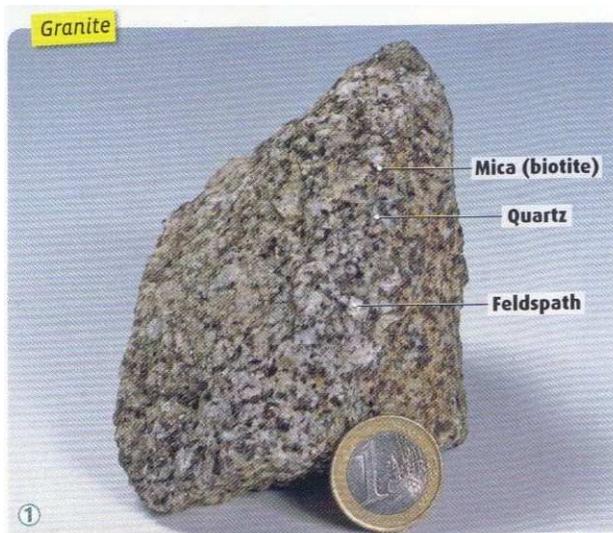
contraintes dépend de la pression (P) et de la température (T), et donc de la profondeur au sein du globe. Lorsque celle-ci augmente, la roche passe d'un comportement fragile à un comportement **ductile**: elle devient déformable sans casser. Le développement d'orientations préférentielles, l'aplatissement, l'étirement de certains minéraux sont des marques de ces déformations. Les minéraux d'une roche témoignent aussi des conditions P/T qu'elle a rencontrées et donc de la profondeur où elle a été portée. En effet, certains minéraux existent sous différentes formes cristallines, chacune étant stable dans un domaine donné de pression et de température. Aussi, lorsque les conditions P/T auxquelles une roche est soumise changent, certains minéraux se transforment. Ces transformations ont lieu à l'état solide. Le métamorphisme est l'ensemble des transformations minéralogiques et structurales à l'état solide d'une roche soumise à des conditions P/T différentes de celles de sa mise en place.

Les transformations métamorphiques s'accompagnent :

- de la formation de nouveaux minéraux, plus stables dans les nouvelles conditions de P et de T qui règnent en profondeur
- d'une déshydratation suite à des transformations minéralogiques



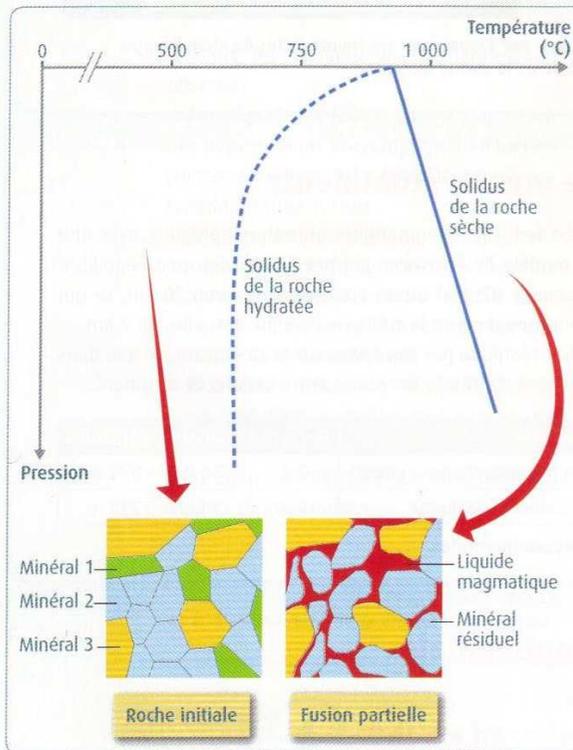
**1 Échantillon et lame mince d'un gneiss.** La roche a été récoltée dans une chaîne de montagnes. Le gneiss est une roche métamorphique issue de la transformation d'un granite. Comme le granite, le gneiss contient du quartz, des feldspaths et de la biotite (mica). Ce gneiss comprend en plus de la sillimanite.



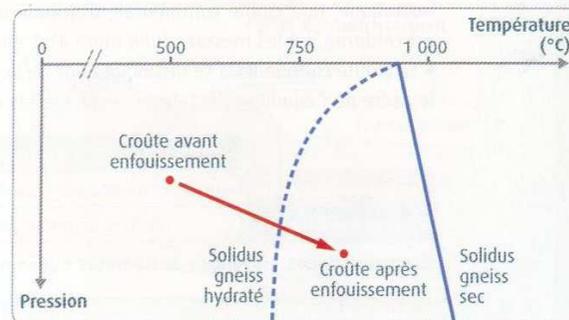
**3 Le diagramme de stabilité d'une famille de silicates d'alumine.** Ces minéraux, de même formule chimique, se présentent sous trois formes cristallines différentes: disthène, andalousite et sillimanite.



**4 Une migmatite de l'Altaï mongol.** Ce vaste massif montagneux situé aux confins de la Chine et de la Mongolie culmine à 4 500 m. Migmatite vient du grec « migma » qui signifie « mélange ». Sur l'échantillon, on repère des zones ayant l'aspect d'un granite (M) et d'autres montrant des traces de déformation (R), qui ont la composition d'un gneiss.



**5 La fusion partielle des roches.** Lorsque les conditions P/T auxquelles une roche est soumise changent, elle peut commencer à fondre. Sur le diagramme ci-contre, la courbe « solidus » sépare le domaine où la roche est solide de celui où coexistent liquide et solide. À une pression donnée, la présence d'eau abaisse la température du solidus. Lorsqu'une roche « franchit » son solidus, certains de ses minéraux fondent, formant un liquide magmatique, tandis que d'autres restent à l'état solide: on parle de fusion partielle.



**6 Les conditions de fusion d'un gneiss.** La flèche rouge représente l'évolution des conditions P/T lors de l'enfouissement de roches crustales hydratées qui est associé à la formation des nappes de charriage. Le liquide obtenu par fusion partielle peut former, après refroidissement, une roche comme le granite.

## Conclusion

Les roches métamorphiques comme le gneiss, trouvées dans les chaînes de montagnes, sont le résultat de transformations à l'état solide liées à une augmentation de la P et de la T d'une roche initiale.

Certaines roches comme les migmatites témoignent d'une fusion partielle liée à une augmentation de P et de T.

Enfouissement et empilement des nappes entraînent une augmentation de P et de T, dans des conditions favorables à l'apparition de ces roches. Elles sont donc des témoins pétrologiques d'un épaissement de la croûte continentale.

# Bilan

- Dans les chaînes de montagnes, affleurent des **roches métamorphiques**, c'est-à-dire ayant subi des transformations à l'état solide. Certains de leurs minéraux sont étirés et/ou disposés dans une orientation privilégiée : la roche est déformée. D'autres minéraux résultent de transformations liées à une augmentation de la pression et de la température auxquelles ces roches ont été soumises, et donc à leur enfouissement.
- Certaines roches témoignent d'une **fusion partielle** de la croûte. Celle-ci s'explique par une augmentation de la pression et de la température auxquelles ces roches ont été soumises, qui est liée à leur enfouissement.
- La présence de ces différentes roches constitue des indices pétrographiques d'un empilement de terrains (associé à l'enfouissement) et donc d'un épaissement de la croûte dans les chaînes de montagnes.

## La lithosphère en équilibre sur l'asthénosphère

- Le modèle de l'**isostasie** propose que la lithosphère, rigide, « flotte » en équilibre sur l'asthénosphère, plus dense et plus déformable. Des modifications de cet équilibre sont à l'origine de mouvements verticaux de la lithosphère.

## La croûte continentale se distingue de la croûte océanique

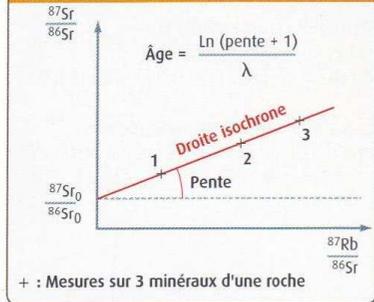
- La croûte continentale, essentiellement constituée de granite et gneiss, est moins dense que la croûte océanique. Son épaisseur moyenne est d'une trentaine de km, contre 7 km pour la croûte océanique. Ces différences expliquent, dans le cadre de l'isostasie, les différences d'altitude moyenne entre domaine continental et domaine océanique.
- Les roches magmatiques de la croûte continentale peuvent être datées par **radiochronologie** : elles contiennent des éléments chimiques instables comme  $^{87}\text{Rb}$ , qui se désintègre en  $^{87}\text{Sr}$  au cours du temps. Les quantités de  $^{87}\text{Rb}$  et de  $^{87}\text{Sr}$  sont liées et varient avec le temps : leur mesure permet de calculer l'âge de la roche. L'âge des roches de la croûte continentale est varié, jusqu'à plus de 4 Ga, alors que celui des roches de la croûte océanique n'excède pas 200 Ma.

## Des particularités au niveau des chaînes de montagnes

- La croûte continentale est d'autant plus épaisse que le relief est élevé. Dans les chaînes de montagnes, son épaisseur peut atteindre 70 km. L'épaississement est surtout lié à la présence d'une **racine crustale** en profondeur, qui compense la surcharge liée au relief.
- Les plis, les failles inverses et les nappes de charriages observés dans les chaînes de montagnes résultent d'un raccourcissement et d'un empilement de terrains qui expliquent l'épaisseur de la croûte. Ce sont des **indices tectoniques** (ou structuraux) de l'histoire d'une chaîne de montagnes.
- Certaines roches des chaînes de montagnes présentent des traces de fusion partielle, ou contiennent des minéraux caractéristiques de conditions de pression et de température élevées (roches métamorphiques). Ces roches témoignent d'un enfouissement et donc d'un empilement de terrains. Les **indices pétrographiques** convergent ainsi avec les indices tectoniques : c'est un raccourcissement et un empilement de terrains qui entraîne l'épaississement crustal à l'origine des reliefs positifs que sont les chaînes de montagnes.

## Caractérisation du domaine continental

### Croûte continentale d'âge variable (jusqu'à 4 milliards d'années)



### Croûte continentale moins dense et plus épaisse que la croûte océanique

Croûte océanique	Croûte continentale
Épaisseur moyenne = 7 km	Épaisseur moyenne = 30 km
Densité = 2,9	Densité = 2,8

### Croûte continentale épaissie au niveau des chaînes de montagnes en raison d'un raccourcissement et d'un empilement de terrains

#### Indices tectoniques



Faillles inverses, plis



Nappes de charriage

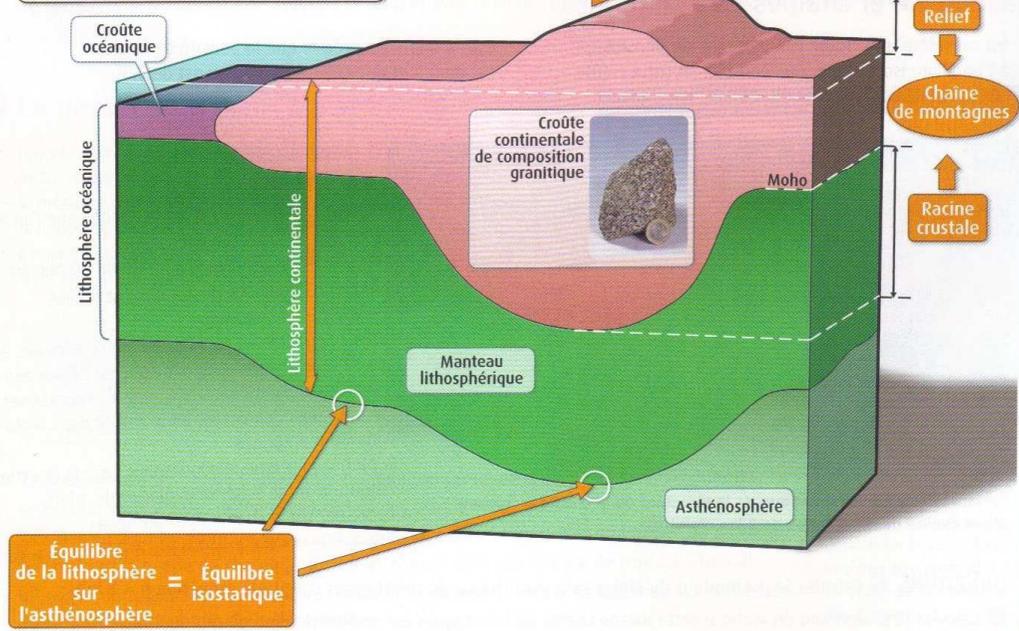
#### Indices pétrographiques



Roches métamorphiques



Roches avec traces de fusion partielle



## QCM

**Pour chaque proposition, identifiez la (ou les) bonne(s) réponse(s).**

### **1. La croûte continentale :**

- a. est plus épaisse et plus dense que la croûte océanique.
- b. a une composition globalement basaltique.
- c. est d'autant plus épaisse que les reliefs sont importants.
- d. est amincie dans les chaînes de montagnes et épaissie au niveau des marges passives.

### **2. L'équilibre isostatique :**

- a. est rompu dans une chaîne de montagnes en raison de la racine crustale.
- b. est rompu lorsqu'une calotte glaciaire se forme sur un continent.
- c. est rompu lors de la fonte d'une calotte glaciaire sur un continent.

d. est un état d'équilibre de la lithosphère rigide sur l'asthénosphère plus déformable.

e. est un état d'équilibre entre la croûte terrestre et le manteau lithosphérique.

### **3. Dans une chaîne de montagnes :**

a. l'épaississement de la croûte continentale est surtout dû au relief.

b. la profondeur du Moho est proportionnelle à l'altitude du relief.

c. l'épaississement de la croûte est lié à un raccourcissement et à un enfouissement.

d. les nappes de charriage contribuent à amincir la croûte continentale.

e. des traces de fusion partielle dans une roche témoignent d'une baisse de pression subie par cette roche.

## La datation d'une météorite

Utiliser des modes de représentation graphique

La météorite « Allende », tombée au nord du Mexique en 1969, contient des inclusions de petites sphères nommées chondres (doc. 1) qui ont une composition voisine de la composition moyenne de la Terre. Ce type de météorite, dit chondritique, s'est formé en même temps que le système solaire. Des mesures des rapports  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  et  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ont été réalisées dans différents chondres. Les résultats

sont présentés dans le doc. 2. Le  $^{87}\text{Rb}$  se désintègre en  $^{87}\text{Sr}$ , avec une constante de désintégration  $\lambda$  égale à  $1,42 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$ .

L'âge  $t$  d'une chondrite peut être déterminé à partir des rapports isotopiques  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  et  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  et de l'équation suivante :

$$[^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}]_t = (e^{\lambda t} - 1) [^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}]_t + ^{87}\text{Sr}_0 / ^{86}\text{Sr}_0$$



**1. Une météorite chondritique.** Ce type de météorite contient de petites sphères de minéraux (de 0,1 à 10 mm de diamètre) appelées chondres.

	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Chondre 1	0,00017	0,69877
Chondre 2	0,00075	0,69889
Chondre 3	0,00393	0,69899
Chondre 4	0,00432	0,69903
Chondre 5	0,00660	0,69925
Chondre 6	0,00853	0,69933
Chondre 7	0,05213	0,70214

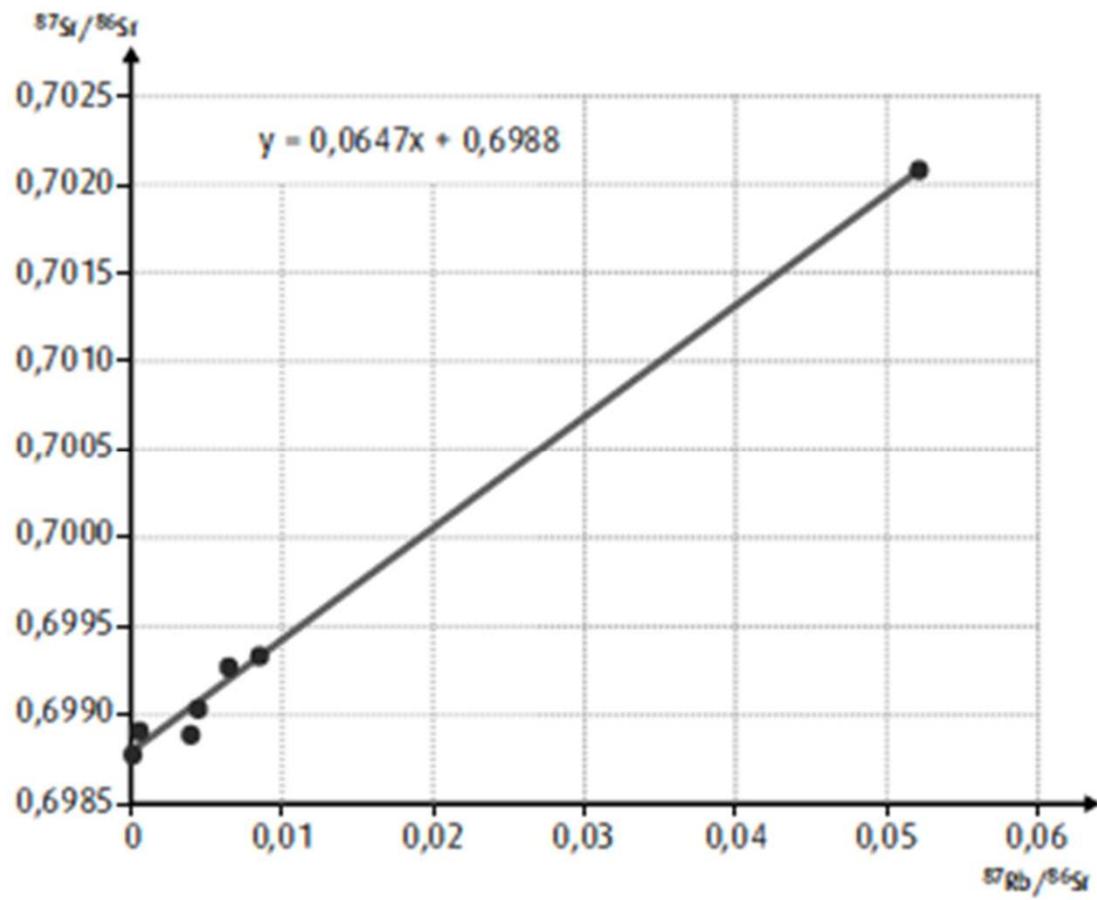
**2. Mesure des rapports isotopiques du rubidium (Rb) et du strontium (Sr) dans les chondres de la météorite Allende.**

- 1 Expliquez le principe de la méthode de datation par le radiochronomètre rubidium-strontium.
- 2 Tracez le graphique du rapport  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  en fonction de  $^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}$ .
- 3 Déterminez graphiquement la pente de la droite isochrone et calculez l'âge de la météorite.
- 4 D'autres météorites ont permis de dater la formation de la Terre à 4,65 milliards d'années. Comparez l'âge de la météorite d'Allende avec celui de la Terre et avec celui des plus anciennes roches de la croûte continentale.

1) La datation par radiochronologie est fondée sur la décroissance radioactive naturelle de certains éléments chimiques contenus dans les minéraux des roches magmatiques.

Le  $^{87}\text{Rb}$  est un isotope instable du Rb : il se désintègre en  $^{87}\text{Sr}$ . Ainsi, la quantité de  $^{87}\text{Rb}$  contenu dans un minéral diminue au cours du temps, alors que celle de  $^{87}\text{Sr}$  augmente, en suivant une loi exponentielle liée au temps.

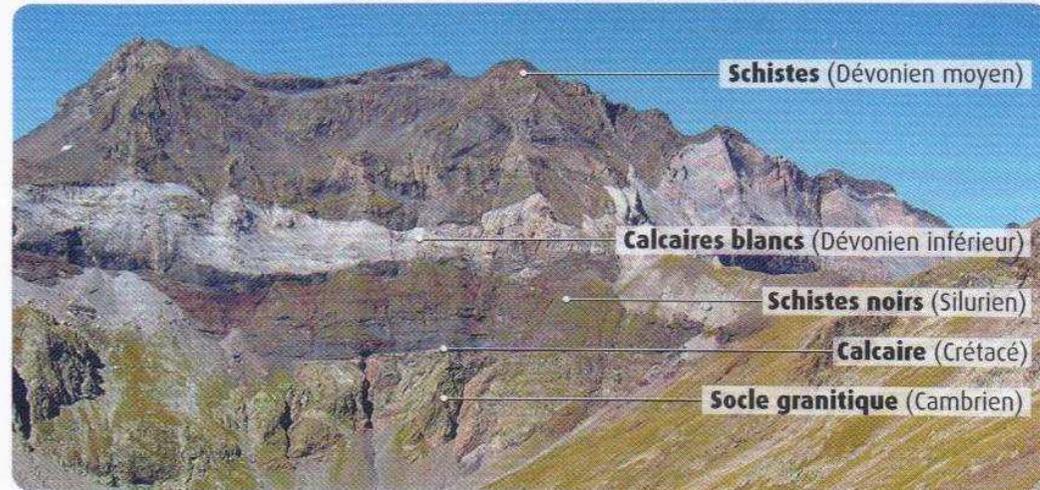
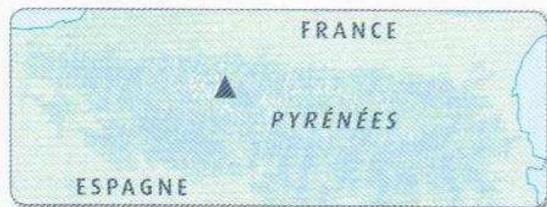
La détermination de la quantité de  $^{87}\text{Rb}$  et de  $^{87}\text{Sr}$  dans plusieurs minéraux d'une roche permet alors de calculer un âge pour celle-ci.



## La nappe de Gavarnie (Pyrénées)

Mettre en relation des informations avec ses connaissances

Dans les Pyrénées centrales, l'étude des roches dans le cirque de Barrosa suggère la présence d'une nappe de charriage: la nappe de Gavarnie. Elle a une largeur d'environ 100 km et a été déplacée du Nord vers le Sud sur près de 10 km.



- 1 À partir du doc. 1 et de l'échelle stratigraphique sur le rabat de couverture, schématisez la succession verticale des différentes couches de roches.
- 2 Dites en quoi les données suggèrent que la nappe de Gavarnie est une nappe de charriage.
- 3 Localisez la nappe de charriage sur votre schéma ainsi que la zone de contact anormal.
- 4 Déterminez la ou les conséquences de la formation de la nappe de Gavarnie sur l'épaisseur de la croûte continentale dans les Pyrénées.

**1. La falaise nord du cirque de Barrosa.**  
Le calcaire crétacé s'est déposé sur le socle dans une mer peu profonde au début de la formation des Pyrénées.

