

## Thème 1-B - Le domaine continental et sa dynamique

Classe : Terminales S

Durée envisagée : 6 semaines

Nombre de TP : 6

**En rouge** : Bilans à faire noter aux élèves

**En bleu** : Activités pratiques

**En vert** : Problématique et hypothèses

### Chapitre 4 - La disparition des reliefs

**Observation** : les massifs anciens possèdent des altitudes inférieures aux massifs récents. Leur racine crustale est aussi moins profonde. L'observation des roches sur le terrain montre la présence de roches sédimentaires en quantité importante.

**Problématique** : Comment expliquer la différence d'altitude des chaînes anciennes et d'où proviennent les roches sédimentaires ?

#### TP 5 : La disparition des reliefs

##### Objectifs :

- Montrer les grandes étapes conduisant à la formation des roches sédimentaires
- Montrer que la chaîne de montagne est un ensemble dynamique
- Montrer que l'érosion entraîne la mise en place de processus de rééquilibrage tectonique (isostasie)

Matériel : granite, sable, cartes

##### Capacités et attitudes :

- Extraire et organiser des informations
- Exploiter des données cartographiques.
- Utiliser des images ou des données satellites pour qualifier et éventuellement quantifier l'érosion d'un massif actuel (ordre de grandeur).
- Communiquer en langage scientifique (schéma)
- Établir un schéma bilan du cycle des matériaux de la croûte continentale

# I- L'aplanissement des chaînes de montagnes

## 1- Montagnes anciennes et récentes, une comparaison (doc 1 p 210)

L'étude comparée de plusieurs chaînes de montagnes (ou orogènes) montre que les caractéristiques de ces dernières évolue au cours des temps géologiques. Les Alpes sont un exemple d'orogénèse récente : sa formation a débuté il y a quelques dizaines de millions d'années (entre 30 et 40 Ma). Le massif central appartient à la chaîne hercynienne, qui est un orogène ancien (entre -360 et -250 Ma). Une chaîne de montagnes récente est caractérisée par :

- des hauts reliefs (plus de 3000 m)
- une racine crustale profonde (plus de 50 km de profondeur)
- par la présence, à l'affleurement, des roches sédimentaires qui côtoient des roches formées ou transformées en profondeur (gneiss, migmatite, granites ...).

## 2- Modification des reliefs et isostasie (doc 3 p 217)

Au cours des temps géologiques, les hauts reliefs disparaissent. La diminution de l'épaisseur des roches s'accompagne d'un réajustement (rebond) isostatique et d'une remontée de la racine crustale. Dans les Alpes, on estime que la remontée des roches liées au rebond isostatique est de l'ordre de 500 mètres en un million d'années (soit 0,5mm/an).

De cette façon, des roches formées ou transformées en profondeur peuvent alors se trouver à l'affleurement. Ainsi, les chaînes anciennes présentent de grandes surfaces de roches plutoniques et métamorphiques à l'affleurement : gneiss, migmatites, granites, granodiorites ...

**B Des modèles illustrant la remontée de roches profondes par isostasie**

Le rééquilibrage isostatique par rapport à l'érosion se fait dans une proportion de 4/5, c'est-à-dire que, pour 5 m d'érosion, il y a une remontée de 4 m (ou 800 m de rebond pour 1 km d'érosion). Le taux initial d'érosion de la chaîne est évalué à 1 mètre par 1 000 ans (soit  $1\ 000\ m \cdot Ma^{-1}$ ), ce qui donne un

taux net d'abaissement de la chaîne de  $200\ m \cdot Ma^{-1}$ . Le modèle global présenté ci-dessous montre comment des roches plutoniques, formées à la base de la croûte continentale épaissie par la collision, affleurent en surface quelques millions d'années plus tard.

Le diagramme illustre le processus de remontée des roches profondes par isostasie. Il est divisé en trois parties : à gauche, une chaîne de montagnes avec une croûte continentale épaisse et une racine crustale profonde ; au milieu, l'érosion agit sur la surface et la racine, entraînant un ajustement isostatique ; à droite, l'exemple du Massif central montre une pénéplaine et des sédiments au-dessus de roches plutoniques remontées.

Chaîne de montagnes	Chaine de montagnes	
	Les Alpes	Massif central
Caractéristiques		
Âge du début de la collision	Quelques dizaines de Ma	Quelques centaines de Ma
Type de chaîne	Récente	Ancienne
Reliefs	Élevés	Absents à modérés
Racine crustale	Présente et profonde	Absente ou peu profonde
Proportion de roches d'origine profonde à l'affleurement	Modérée dans certains massifs	Forte dans certains massifs

**Comparaison des caractéristiques de quelques chaînes de montagnes.**

**Doc. 3** Un modèle de remontée de roches plutoniques liée à l'isostasie.

## II- Le devenir des matériaux des chaînes de montagnes

### 1- La dégradation des roches

Les roches exposées aux conditions de surfaces peuvent potentiellement subir une dégradation. Les roches sont d'abord soumises à l'érosion mécanique (désagrégation) et à l'altération (érosion chimique). Elles sont notamment :

- lessivées par les eaux de pluie, par les vagues ...
- rabotées par les glaciers (stries glaciaires)
- cryofracturées par les cycles gel/dégel et les variations brutales de températures
- fracturées par le développement des racines des végétaux. Ces racines produisent des ions  $H^+$  qui accélèrent l'altération. Une érosion chimique est également réalisée par les lichens qui s'ancrent fortement aux roches en produisant des acides.
- hydrolysées par l'eau qui est à l'origine de la dégradation des minéraux. Certains minéraux sont plus sensibles à l'altération, c'est notamment le cas des micas (silicates) qui sont altérés en minéraux argileux (illite). En effet, l'eau dissout les ions ( $K^+$ ,  $Na^+$ ) présents dans les minéraux.


**B** L'altération chimique

La principale réaction chimique responsable d'une altération est l'hydrolyse, c'est-à-dire la destruction des minéraux par l'eau. Dans le cas d'un granite soumis à l'action de l'eau, on constate des auréoles d'altération autour des micas et des feldspaths (*photographies*). Ces minéraux appartiennent à la famille des silicates, c'est-à-dire qu'ils

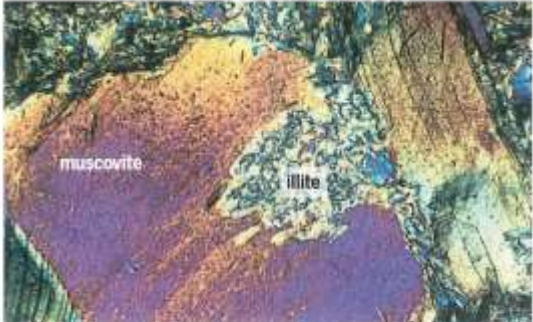
présentent une charpente formée par des molécules  $SiO_4$  entre lesquelles se trouvent différents cations ( $K^+$ ,  $Na^+$ ...). Sous l'action de l'eau, ces cations vont être mis en solution de façon plus ou moins importante. Ainsi, la structure du minéral est modifiée avec formation de nouveaux minéraux et d'ions pouvant être lessivés.

L'altération par hydrolyse de la muscovite (mica blanc présent dans le granite) entraîne la formation de l'illite, un minéral argileux, pouvant lui-même être altéré par la suite.

$H_2O$   $K^+$   
↓ ↑  
muscovite → illite



auréole d'altération autour des micas

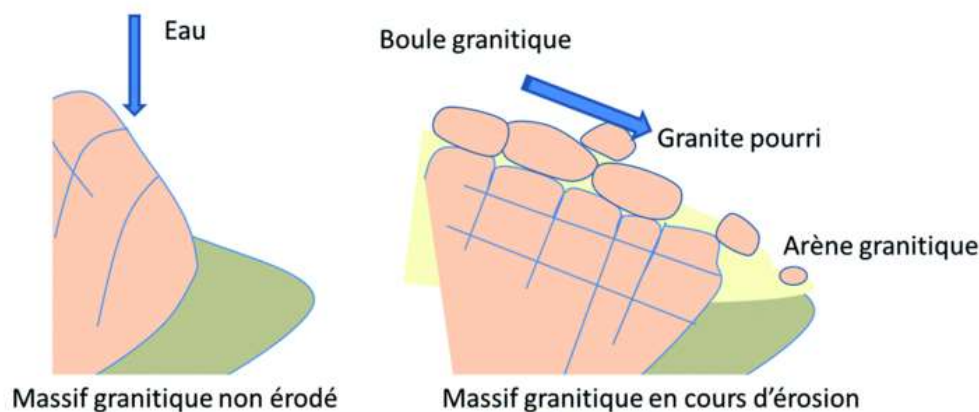


muscovite illite

Granite altéré observé à l'œil nu

Lame mince d'un granite altéré observée au microscope en lumière polarisée analysée

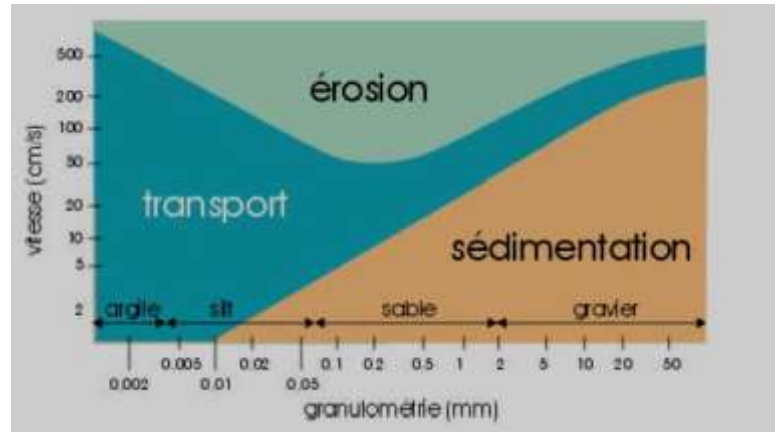
Doc. 2 L'altération par le phénomène d'hydrolyse.



## 2- Le transport des particules

Les produits issus du démantèlement d'une chaîne de montagnes sont des débris solides de tailles très variables et des ions dissous. On appelle charge sédimentaire l'ensemble des particules en suspension et des ions dissous d'un cours d'eau. Ces éléments sont transportés par le réseau hydrographique (cours d'eau). Ces particules sont transportées tant que la vitesse du courant est suffisante.

Le diagramme de Hjulström (ci-contre) permet de considérer l'attitude des différentes particules en fonction de la vitesse du courant. Il permet de déterminer la vitesse minimale que doit avoir un courant pour éroder et transporter des particules de granulométrie donnée. La sédimentation des particules a lieu lorsque la vitesse du courant diminue en dessous de la vitesse limite nécessaire à leur transport.



## 3- Le dépôt des particules

Lorsque la vitesse du courant diminue, les sédiments sont déposés dans les bassins sédimentaires continentaux (lacs, marécages ...) ou océaniques. On appelle flux sédimentaire la quantité de sédiments déposés dans un bassin en fonction du temps.

Les particules forment, après consolidation, des roches sédimentaires détritiques. Les ions dissous précipitent et forment d'autres types de roches sédimentaires (calcaires, dolomies ...).

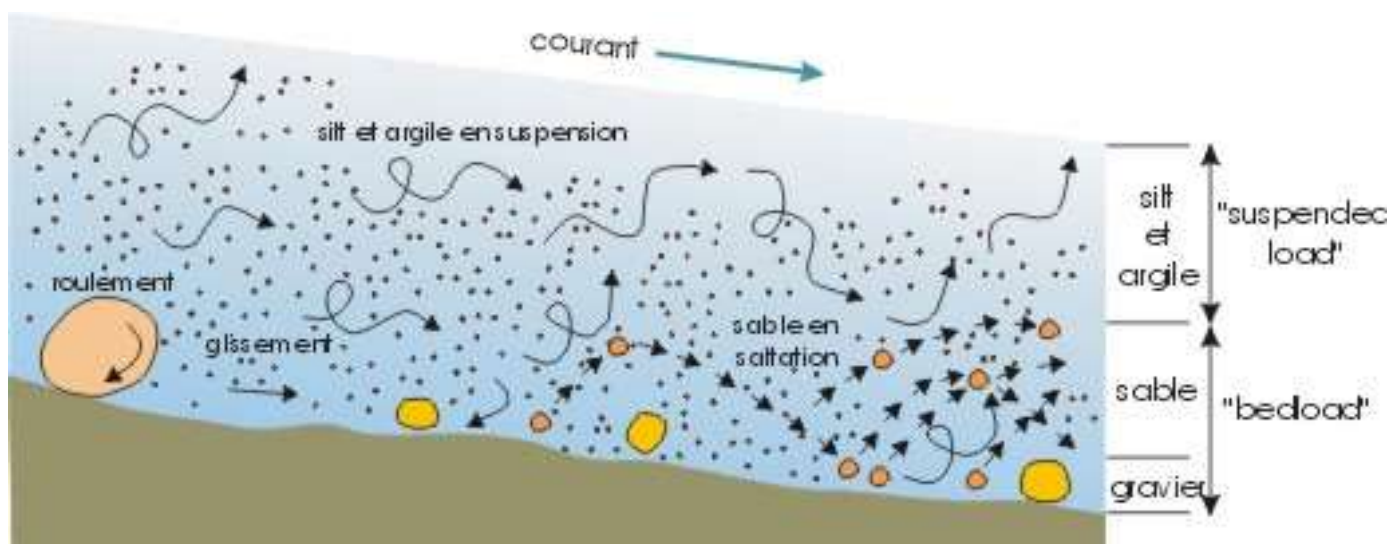


Schéma du transport des sédiments par un cours d'eau

# III- Le cycle de la lithosphère continentale

## 1- Des processus tectoniques participent à la disparition des reliefs

Les reliefs montagneux sont soumis à l'érosion dès le début de leur formation. L'altération et l'érosion ne sont pas suffisantes pour faire disparaître en quelques dizaines de millions d'années une chaîne de montagnes. Il faut faire appel à un mécanisme plus puissant, l'extension. Ainsi, des processus de nature tectonique contribuent également à la disparition des reliefs.

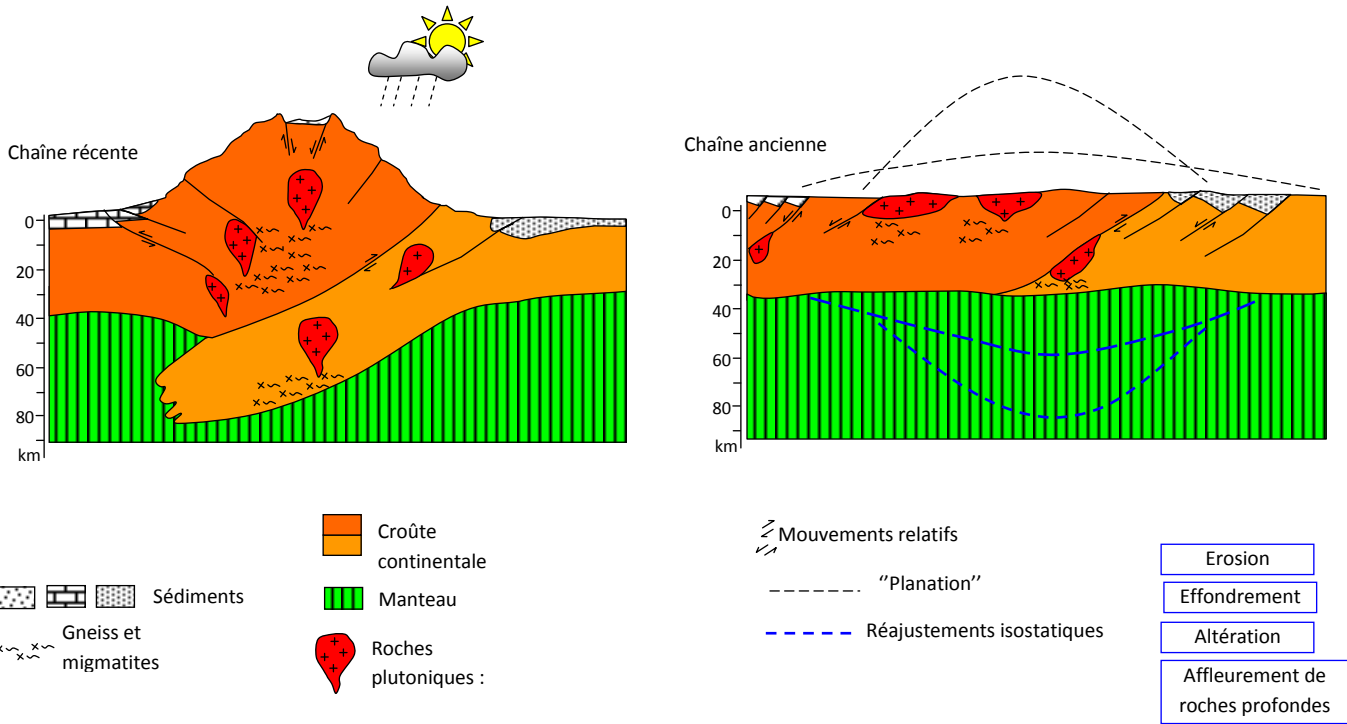
De nombreux indices sont présents aussi bien dans la zone interne des chaînes de montagnes récentes que dans des massifs anciens. Dans les zones internes des chaînes de montagnes, on observe des séismes peu profonds dont le mécanisme au foyer indique qu'ils sont dus à des failles normales, donc à des mouvements d'extension. Des failles normales sont aussi visibles à l'affleurement.

Les données GPS montrent non seulement des déplacements opposés caractérisant des mouvements d'extension (au sein des contraintes compressives) mais indiquent aussi un effondrement de la chaîne. Ces phénomènes contribuent à la pénéplanation (formation d'une pénéplaine).

### Disparition des reliefs : chaîne de montagne récente, chaîne de montagne ancienne

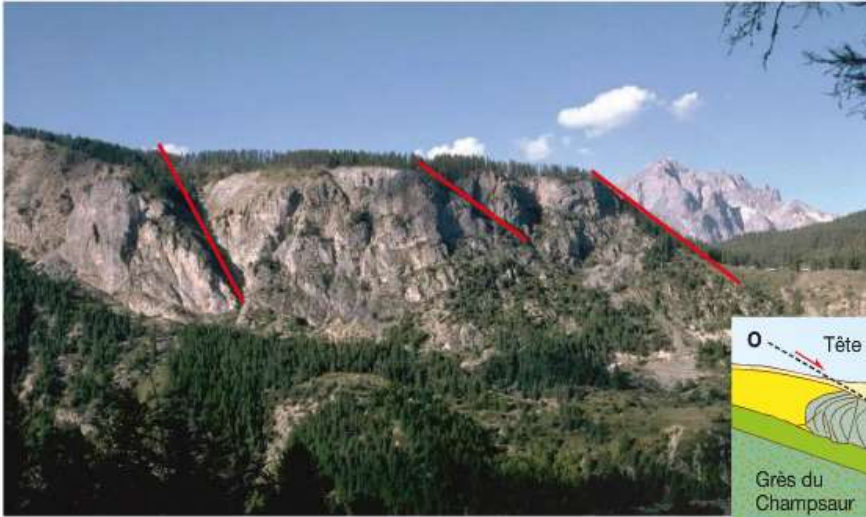
*Lorsque les mouvements de convergence et la poussée d'Archimède ne sont plus suffisants pour soutenir les reliefs, la croûte s'étire et s'amincit. En surface, plus froide et plus fragile, la croûte se casse ; plus en profondeur, ramollie par des phénomènes thermiques, elle est plus plastique et s'amincit sans rupture.*

*Ces déformations contribuent donc à la disparition des reliefs.*



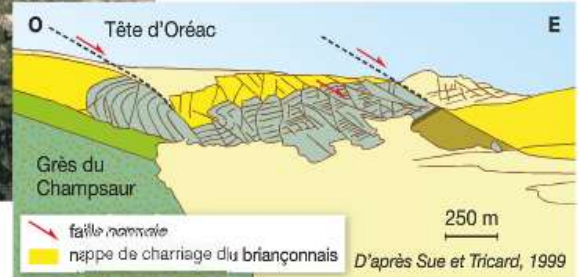


• Des observations de terrain

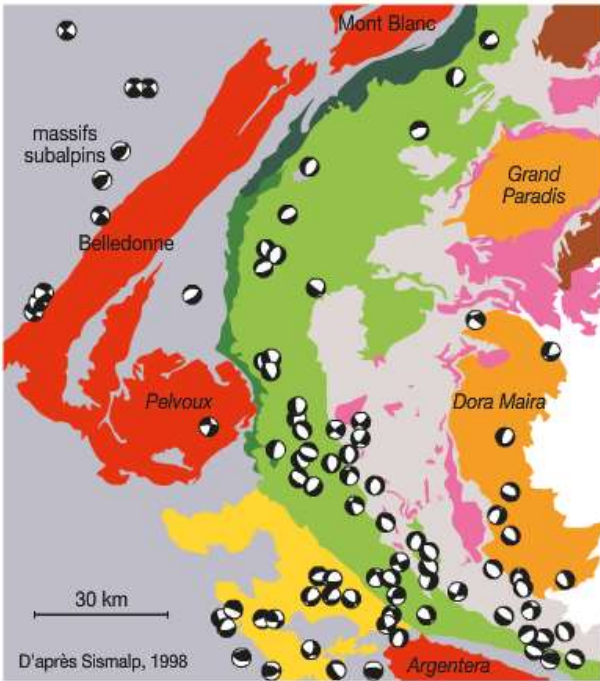


Dans la zone interne des Alpes, il est fréquent d'observer des failles dites normales (traits rouges), comme dans le parc national des Écrins, au niveau de la Tête de La Rochaille et d'Oréac (photographie ci-contre). Ces failles entraînent un affaissement du bloc rocheux situé au-dessus de la faille (toit) : ce type de faille se forme lors d'une extension des terrains.

Des failles normales découpent les roches dans les Alpes internes



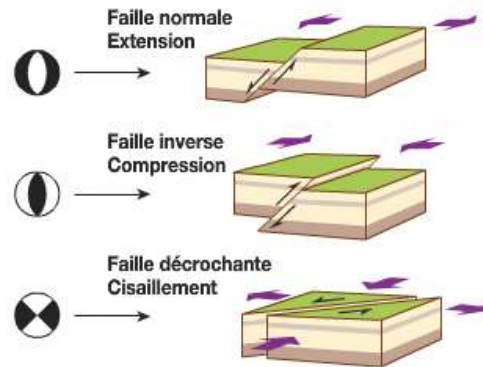
• Des données sismiques interprétées



La nature des failles déduite des séismes, dans les Alpes

De nombreux séismes se produisent chaque année dans les Alpes. L'enregistrement des ondes sismiques apporte de nombreuses informations, notamment sur la localisation précise du foyer sismique et sur les directions de déplacement des roches le long de la faille. On en déduit les forces tectoniques qui s'appliquent sur les roches : extension, compression ou coulissage (schémas ci-dessous).

Des symboles représentant ces différentes contraintes sont alors positionnés géographiquement à l'aplomb de chaque foyer sismique (carte ci-contre).



Des symboles différents indiquent que les failles normales ou inverses peuvent aussi être en partie décrochantes.

## 2- Le recyclage de la lithosphère continentale

Suite à la formation d'une chaîne de montagnes, la lithosphère continentale est recyclée. En premier lieu, elle est transformée par l'épaississement crustal (métamorphisme et magmatisme) puis elle est dégradée par l'érosion. Ainsi, les particules produites sont transportées et forment des sédiments. Ce recyclage se poursuit lorsque ces sédiments sont mobilisés dans un nouveau contexte de subduction (fusion partielle) ou de collision (compression, épaississement, métamorphisme). Lors de la subduction, seule une très faible proportion de lithosphère continentale est recyclée en profondeur dans le manteau sous-jacent, où elle disparaît.

Cette caractéristique du recyclage de la lithosphère continentale explique pourquoi elle a conservé les roches les plus anciennes de la Terre. Ce n'est pas le cas de la lithosphère océanique, dont la quasi-totalité disparaît dans le manteau sous-jacent au niveau des zones de subduction.

### Schéma du recyclage de la croûte continentale

