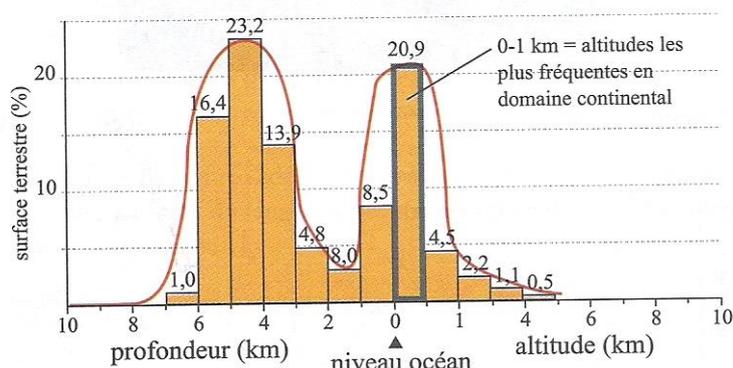


Chapitre 3 : La disparition des reliefs

Les reliefs en surface du globe terrestre évoluent au cours du temps ce qui nous permet actuellement d'observer des chaînes de montagnes récentes et des chaînes de montagnes anciennes. L'observation des roches sur le terrain montre la présence de roches sédimentaires en quantité importante.



Pourcentage de la surface terrestre solide occupé par des terrains d'altitudes données

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

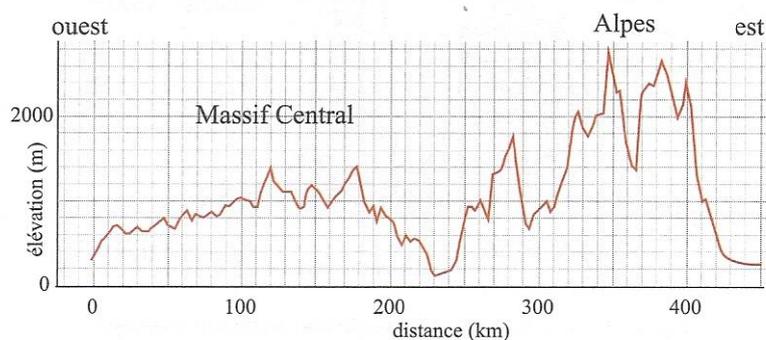
I. Comment expliquer l'aplatissement des chaînes de montagnes ?

1- Comparaison des chaînes de montagne récentes et anciennes (doc 1 p 210)

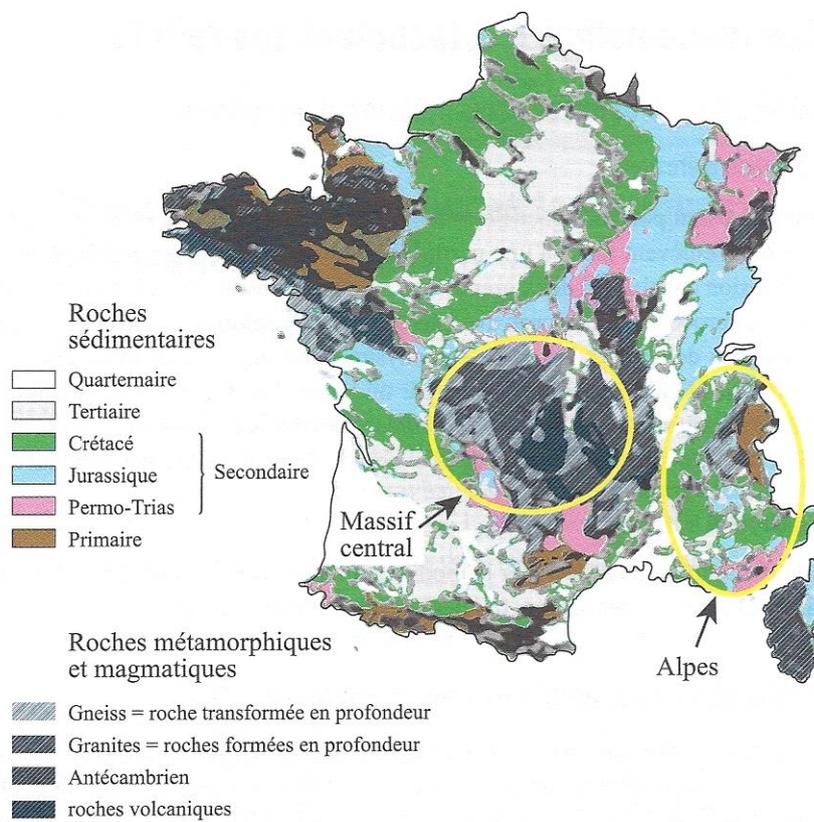
L'étude comparée de plusieurs chaînes de montagnes (ou orogènes) montre que les caractéristiques de ces dernières évoluent au cours des temps géologiques. Les Alpes sont un exemple d'orogénèse récente : leur formation a débuté il y a quelques dizaines de millions d'années (entre 30 et 40 Ma). Le massif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

Le temps nécessaire pour qu'une chaîne de montagnes s'aplanisse est d'environ 90 Ma.



Profil topographique au travers du Massif central et des Alpes



Carte géologique très simplifiée de la France montrant des affleurements différents dans le Massif Central (chaîne ancienne) et dans les Alpes (chaîne récente)

Dans les chaînes de montagnes anciennes, la proportion de roches formées en profondeur (roches magmatiques plutoniques) ou transformées en profondeur (roches métamorphiques) et visibles à l'affleurement y est importante.

2- Modification des reliefs et réajustements isostatiques (doc 3 p 217)

Au cours des temps géologiques, les hauts reliefs disparaissent. L'érosion enlève du matériel continental en surface ce qui allège la masse rocheuse continentale. Afin de conserver l'équilibre isostatique, une remontée de la racine crustale se produit, on parle de **réajustement isostatique/ rebond isostatique**. Dans les Alpes, on estime que la remontée des roches liée au réajustement 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 : granites et granodiorites, gneiss et migmatites.

II. Quel est le devenir des matériaux des chaînes de montagnes ?

1. La dégradation des roches

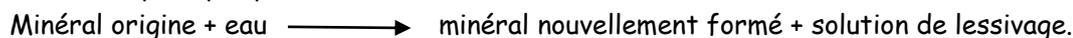
Dès leur formation, les reliefs sont soumis à l'**altération** et à l'**érosion**. L'érosion est l'ensemble des phénomènes externes qui enlèvent tout ou partie des terrains existant à la surface du sol ou à faible profondeur, et modifient ainsi le relief. On parle d'altération pour désigner la modification des propriétés physico-chimiques des minéraux, et donc des roches, par des agents externes (eau, gel...) : transformation de la roche mère en particules, libérant des ions emportés en solution ou formant de nouveaux minéraux.

Les roches sont notamment :

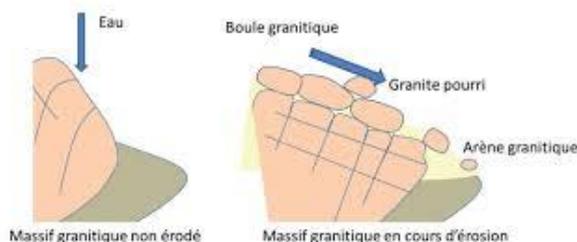
- lessivées par les eaux de pluie, par les vagues ...
- rabotées par les glaciers (stries glaciaires)
- cryofracturées par les cycles gel/dégel et les variations brutales de températures

- 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 dans un granite, les micas et les feldspaths vont être transformés en argiles et particules solubles. En effet, l'eau dissout les ions (K⁺, Na⁺) présents dans les minéraux. Le bilan général d'une réaction d'hydrolyse peut s'écrire :



Dans un massif calcaire, l'eau chargée de dioxyde de carbone transforme les carbonates insolubles en hydrogénocarbonates solubles. Ainsi se forment des fissures, des lapiés, des gouffres... caractéristiques des paysages calcaires karstiques.



Altération/ érosion d'un granite

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 solubles dissous. On appelle charge sédimentaire l'ensemble des particules en suspension et des ions dissous en solution 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.

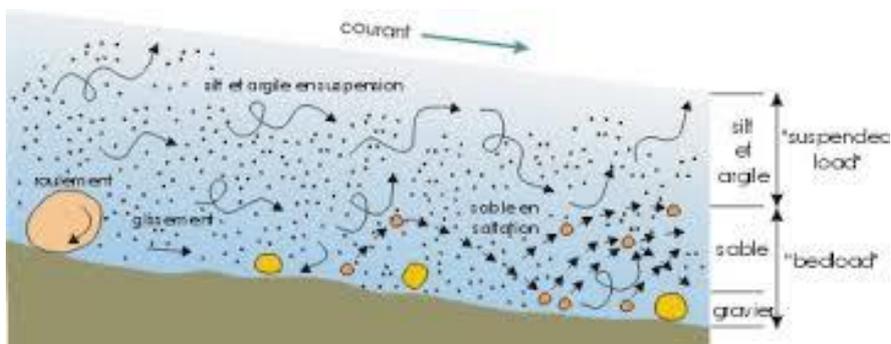
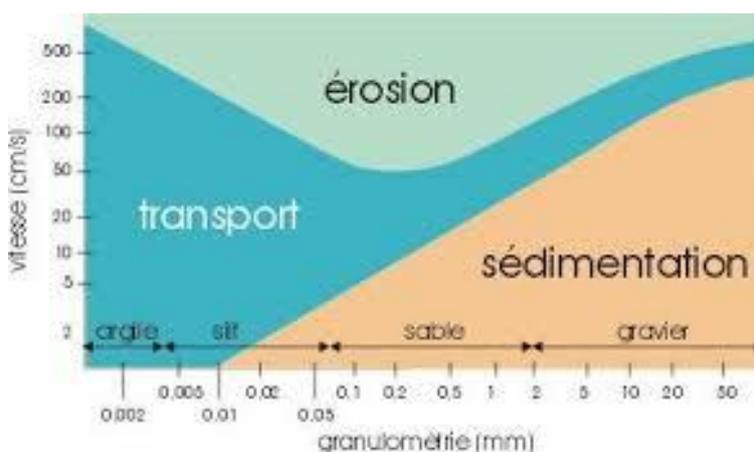


Schéma du transport des sédiments par un cours d'eau.

Le diagramme de Hjulström (ci-dessous) prend en considération 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 : sédimentation plus ou moins loin du lieu de l'érosion (vent et glaciers participent également au transport des sédiments). 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 ...).

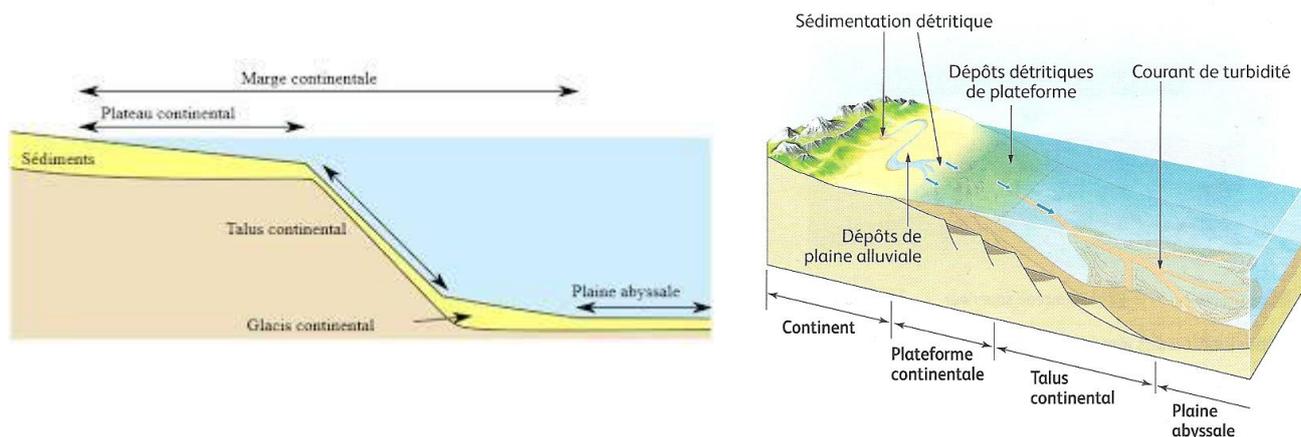
Les éléments dissous transportés dépendent surtout de la nature des roches rencontrées. Par exemple, dans les régions calcaires, on trouve surtout des ions Ca^{2+} et HCO_3^- .

La **sédimentation** peut être d'origine biochimique. Les êtres vivants utilisent les substances dissoutes dans l'eau (hydrogénocarbonate de calcium ou silice) pour fabriquer leur coquille ou leur squelette. Les récifs coralliens constituent des zones importantes de sédimentation calcaire. Ils se répartissent entre les latitudes 30° Nord et 30° Sud. Leur développement dépend de la température, de la salinité et de la clarté de l'eau.



La **sédimentation purement chimique est plus rare**. Une évaporation intense en milieu salé permet, par exemple, la formation d'évaporites telles le gypse ($\text{CaSO}_4, 2 \text{H}_2\text{O}$), ou la hyalite (Na Cl).

La grande majorité des matériaux détritiques prélevés sur les continents et transportés par les fleuves se déposent dans les océans en particulier au niveau de la plate-forme continentale mais ils peuvent dévaler le talus en formant des courants boueux ou courants de turbidité avant de s'accumuler à la base du talus (glacis).



Sédimentation au niveau d'une marge continentale

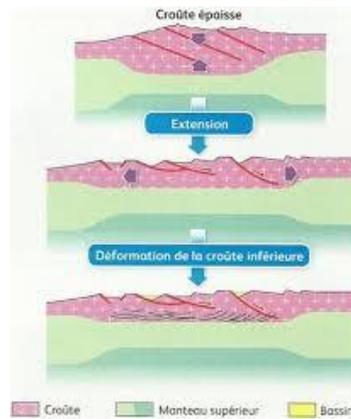
III. Le cycle de la croûte continentale

1- Des processus tectoniques participant 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 l'aplanissement des chaînes de montagne (formation d'une pénéplaine).

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 et 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.



Modélisation des mouvements d'extension

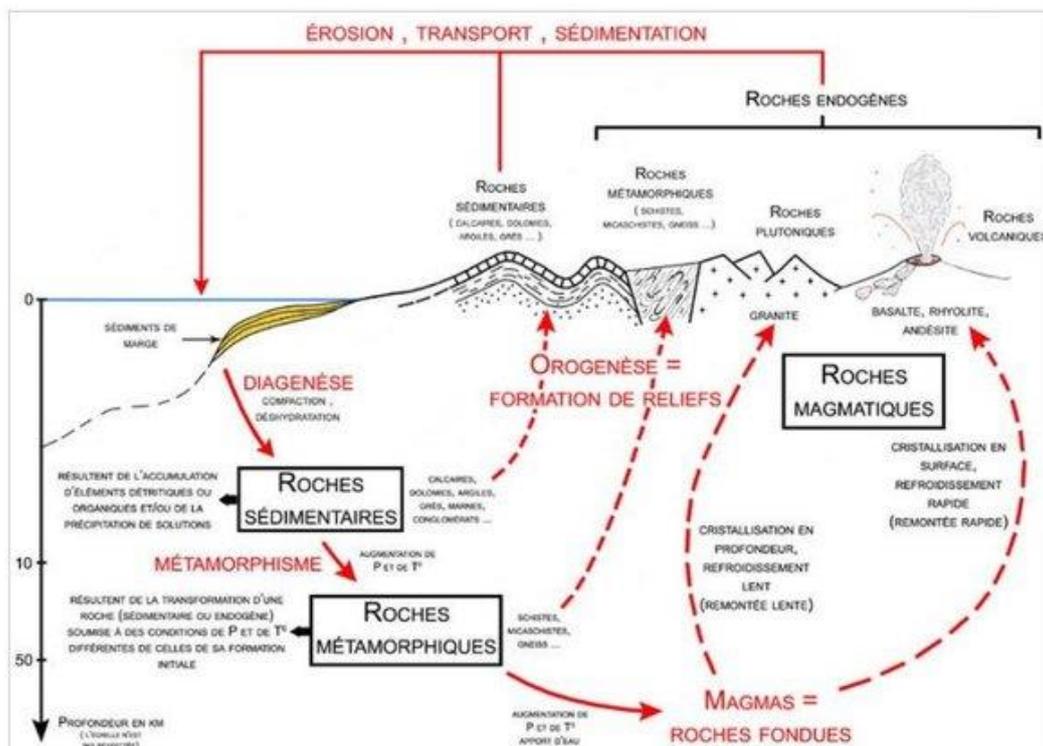
2- Le recyclage de la croûte continentale

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.

Les chaînes de montagnes anciennes ont des reliefs moins élevés que les plus récentes. On y observe à l'affleurement une plus forte proportion de matériaux transformés et/ou formés en profondeur.

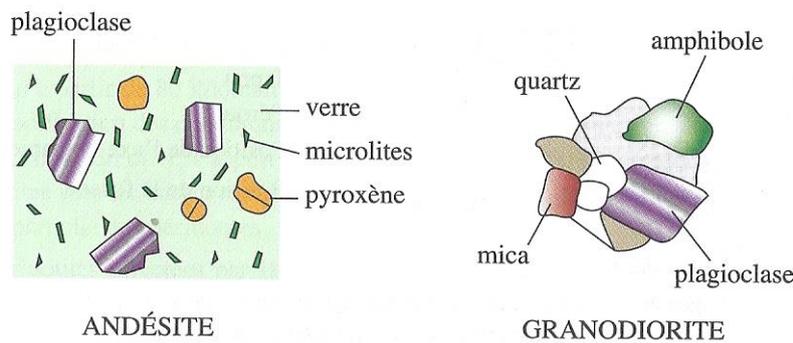
Les parties superficielles des reliefs tendent à disparaître. Altération et érosion contribuent à l'effacement des reliefs. Les produits de démantèlement sont transportés sous forme solide ou soluble, le plus souvent par l'eau, jusqu'en des lieux plus ou moins éloignés où ils se déposent (sédimentation). Des réajustements isostatiques interviennent dans la disparition des reliefs. Des phénomènes tectoniques participent aussi à la disparition des reliefs. L'ensemble de ces phénomènes débute dès la naissance du relief et constitue un vaste recyclage de la croûte continentale. *Schéma recyclage croûte continentale (savoir par cœur)*



Le magmatisme des zones de subduction

a. Les roches

Dans les zones de subduction, des volcans émettent des laves souvent visqueuses associées à des gaz et leurs éruptions sont fréquemment explosives (**nuées ardentes**). Ce volcanisme est à l'origine de la production de **roches magmatiques volcaniques** comme l'andésite ou la rhyolite. Ces roches sont associées à des roches plutoniques de composition proche qui refroidissent lentement en profondeur. L'andésite est associée à la diorite et la rhyolite au granite. Ces structures de **roches plutoniques** sont nommées plutons. **La comparaison entre les basaltes de la dorsale océanique et l'andésite des zones de subduction montre que l'ensemble des roches des zones de subduction présentent de nombreux minéraux hydratés (minéraux hydroxylés) comme le mica et l'amphibole. La péridotite d'origine ne fond donc pas dans les mêmes conditions dans les zones de subduction.**

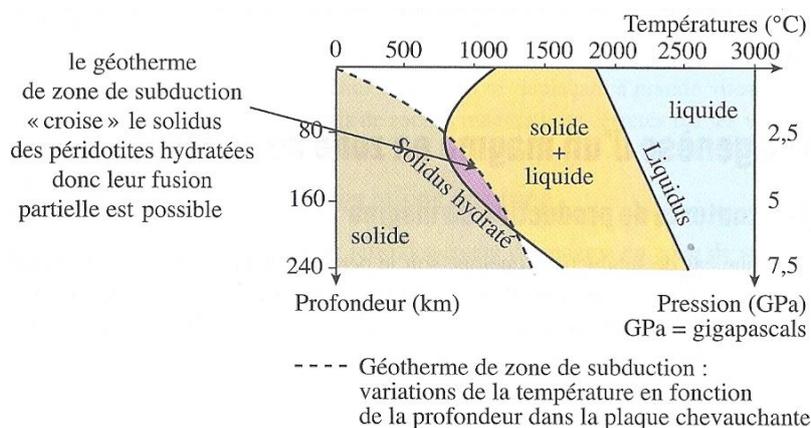


Lames minces d'une roche volcanique (andésite) et d'une roche plutonique (granodiorite) fréquemment rencontrées dans les zones de subduction

B L'origine de la fusion

Lors de la subduction, les minéraux subissent une déshydratation. L'eau est libérée dans le manteau et va **hydrater les péridotites**. Cette hydratation fait baisser le point de fusion de la péridotite qui fond pour donner l'andésite, la rhyolite, la diorite ou encore le granite. Cette **fusion partielle** se produit à environ 100km de profondeur sous les volcans et au niveau du plan de Wadati-Benioff. La déshydratation des matériaux de la croûte océanique subduite libère de l'eau qu'elle a emmagasinée au cours de son histoire (métamorphisme hydrothermal), ce qui provoque la fusion partielle des péridotites du manteau sus-jacent.

VOIR SITE SUBDUCTION DE PEREZ



Fusion expérimentale péridotite hydratée

C La création de croûte continentale

Si une fraction des magmas arrive en surface (volcanisme et formation d'édifices volcaniques), la plus grande partie cristallise en profondeur et donne des roches à structure grenue de type granitoïde (plutons granitiques). Un magma, d'origine mantellique, aboutit ainsi à la création de nouveau matériau continental. **C'est l'accrétion continentale.**

La formation d'une nouvelle croûte continentale s'effectue donc au niveau des zones de subduction par cristallisation des magmas issus de la fusion partielle des péridotites du manteau lithosphérique hydraté. Ces magmas, piégés dans la croûte continentale, subissent une différenciation au cours de leur refroidissement très lent, ce qui aboutit à la formation d'une grande diversité de roches plutoniques de composition granitique. A cette différenciation magmatique peut s'ajouter une contamination en silice des magmas par les roches de la croûte continentale encaissante.

Les zones de subduction sont le siège d'une importante activité magmatique qui aboutit à une production de croûte continentale. Dans ces zones, les volcans émettent des laves souvent visqueuses associées à des gaz et leurs éruptions sont fréquemment explosives. La déshydratation des matériaux de la croûte océanique subduite libère de l'eau qu'elle a emmagasinée au cours de son histoire, ce qui provoque la fusion partielle des péridotites du manteau sus-jacent. Si une fraction des magmas arrive en surface (volcanisme), la plus grande partie cristallise en profondeur et donne des roches à structure grenue de type **granitoïde**. Un magma, d'origine mantellique, aboutit ainsi à la création de nouveau matériau continental. **Accrétion continentale** : granodiorite.

Granodiorite : roche plutonique grenue caractéristique des zones de subduction. Sa minéralogie est constituée de phénocristaux de feldspaths (plagioclase et orthose), de quartz, de biotite et d'amphiboles.

Le magmatisme andin



Volcan Ubinas le plus actif du Pérou

La bordure continentale du continent Sud-américain est une région sismique et volcanique caractérisée par la subduction de la lithosphère océanique de l'océan Pacifique sous la plaque sud-américaine (ceinture de feu du Pacifique) : c'est une marge active. Dans les zones de subduction, seule une faible proportion (inférieure à 15%) des magmas mantelliques atteint la surface et forme en se refroidissant brutalement au contact de l'air ou de l'eau des roches volcaniques. Le reste des magmas se refroidit lentement en profondeur (cristallisation fractionnée) en produisant des roches plutoniques regroupées sous le nom de **granitoïdes**. **Accrétion continentale**. Ces **granodiorites** constituent l'essentiel des roches de la Cordillère occidentale péruvienne qui culmine à 6770 mètres.

