

**ATTENTION :** **ENCADRE ROUGE = BILANS A SAVOIR ABSOLUMENT**  
**+ VOCABULAIRE A MAITRISER EN ORANGE**

*Pb. Scientifique général du CHAP. 6 : Dans quel contexte géodynamique les chaînes de montagne se forment-elles ?*

## **- CHAPITRE 6 -**

# **LA FORMATION DES CHAINES DE MONTAGNES**

### Acquis à mobiliser :

▪ Revoir en 4<sup>ème</sup> :

- Origine et mouvement des plaques lithosphériques.
- Naissance et disparition des océans.
- Mouvements de convergence et subduction.
- Formation des chaînes de montagne.

▪ Revoir en 1<sup>ère</sup> S:

- Les océans naissent de la déchirure d'un continent au niveau d'un rift. Lorsque l'océan s'est élargi, ses marges qualifiées de passives correspondent aux 2 lèvres autrefois jointives de l'ancien rift continental.
- Les sédiments des marges passives sont surtout d'origine détritiques (érosion du continent); ils sont de plus en plus fins lorsqu'on s'éloigne vers la haute mer (les particules les plus fines sont transportées le plus loin).
- Dans les plaines abyssales, les sédiments sont constitués par les tests calcaires ou siliceux des êtres vivants planctoniques. Au delà de 4000 mètres de profondeur, seuls les tests siliceux peuvent sédimenter car les tests carbonatés sont dissous avant d'atteindre le fond.
- Distribution bimodale des altitudes
- La subduction d'une plaque océanique sous une plaque continentale (selon le Plan de Bénioff) peut conduire à l'affrontement de 2 plaques continentales. Cet événement conduit à la surrection d'une chaîne de montagnes dites de collision.
- Notions de Fusion partielle, magma, 2 modes de solidification donnant naissance à des roches grenues ou microgrenues.

Si les dorsales océaniques sont le lieu de la **divergence** des plaques et les failles transformantes une situation de **coulissage**, les zones de subductions sont les domaines de la **convergence** à l'échelle lithosphérique. Ces régions, déjà présentées en classe de première S, sont étudiées ici pour comprendre une situation privilégiée de raccourcissement et d'empilement et donc de **formation de chaînes de montagnes.**

### Introduction :

Le modèle de la formation d'une chaîne de montagnes, abordé au collège, se fonde sur la **tectonique des plaques lithosphériques**. La subduction d'une plaque océanique s'accompagne de la création de reliefs (arcs volcaniques, accumulation de sédiments marins déformés).

En cas de fermeture totale de l'océan, les continents qui le bordaient entrent en contact : un tel affrontement provoque la surrection d'une chaîne de montagnes dite de collision.

Les Alpes et l'Himalaya, par exemple, ont une telle origine.

*Schéma de rappel du Bordas « modèle de la formation d'une chaîne de montagne »*

*Pb. Scientifique : Peut-on retrouver dans ces chaînes des traces de leur histoire ? Quelles informations nous livrent les roches à l'affleurement dans une chaîne de montagne ?*

## I- Les traces des différentes étapes de la formation d'une chaîne de montagne

### A- Les traces d'un ancien domaine océanique

**Pb. :** *En quoi l'étude des ophiolites renseigne-t-elle sur la formation des chaînes de montagne ?*

- **ACTIVITE 1 : DES LAMBEAUX DE LITHOSPHERES OCEANIQUES = LES COMPLEXES OPHIOLITIQUES**

**Objectif :** - Recenser, extraire et organiser des données de terrain

#### Rappels 1<sup>ère</sup> S :

A l'aplomb des dorsales, des mouvements ascendants provoquent la remontée des péridotites, leur décompression et ainsi leur fusion partielle et la production de magma collecté dans une chambre magmatique au niveau de la lithosphère. Une partie du magma cristallise lentement au niveau des parois et forme ainsi les gabbros, tandis qu'une autre partie s'infiltré dans les failles, parvient en surface : la cristallisation des basaltes au contact de l'eau est alors rapide (basaltes en coussins ou pillow-lavas).

Dans les Alpes (massif du Chenaillet), comme dans la plupart des chaînes de montagnes affleurent des complexes de roches appelées ophiolites, constituées de péridotites transformées en serpentinites par hydratation, des gabbros (roches à structure grenue présentant de gros cristaux de pyroxène et de plagioclase), des basaltes en coussins (caractéristique d'un refroidissement rapide en milieu aquatique).

La composition chimique de ces roches, leur agencement et la forme en coussins des basaltes sont semblables à ce que l'on observe dans une lithosphère océanique actuelle. Les ophiolites sont interprétées comme des lambeaux de lithosphère océanique, traces d'un ancien océan.

**Pb. :** *En quoi l'étude des marges continentales nous renseigne-elle sur la formation des chaînes de montagne ?*

### B- Les traces d'une ancienne marge passive

- **ACTIVITE 2 : DES VESTIGES DES MARGES CONTINENTALES**

**Objectif :** - Recenser, extraire et organiser des données de terrain

#### 1- La mise en place d'une marge passive.

Les marges passives correspondent aux zones de transition entre la lithosphère continentale et la lithosphère océanique. Leur histoire est liée à celle de l'ouverture de l'océan qu'elles bordent.

La formation d'un océan est précédée de la rupture d'un continent : phénomène de rifting du à une extension de la lithosphère continentale. L'étirement de la croûte continentale, dont la partie supérieure casse, engendre des failles normales profondes et le plus souvent listriques\*. Les blocs constitués du socle recouverts de sédiments ante-rift s'enfoncent et basculent. Des sédiments syn-rift se déposent en couches presque horizontales, puis en éventail dans une mer qui s'approfondit. Lorsque la croûte océanique se met en place, la croûte continentale se stabilise. Des sédiments post-rift en couches presque horizontales recouvrent l'ensemble des structures.

Les marges passives sont donc identifiables par des blocs basculés séparés par des failles normales délimitant des bassins sédimentaires dissymétriques. Les sédiments ayant rempli ces bassins forment 3 ensembles qui diffèrent par leur disposition géométrique et par leur milieu de dépôt et qui témoignent d'une subsidence progressive due au fonctionnement des failles normales (sédiments ante-, syn- et post-rift)

*Faïlle listrique\* : faille normale qui a tendance à devenir horizontale en profondeur.*

#### 2- Des vestiges de marges passives dans les Alpes.

Dans la région de l'Oisans, le socle continental est découpé par des grandes failles normales plus ou moins parallèles. Les blocs basculés portent une couverture sédimentaire dont l'épaisseur est variable.

Ces structures sont donc les vestiges d'une ancienne marge continentale passive formée lors de l'ouverture de l'océan alpin.

## C- Les traces d'une sédimentation marine

### Des roches témoins d'une sédimentation marine

- A la base de la série sédimentaire carbonatée, des **évaporites (gypse)** témoins d'une mer peu profonde datées du Trias (-230 à -190MA) (ex : présence d'entonnoirs de dissolution dans un affleurement de gypse)
- Des **calcaires et des marnes** révèlent une mer plus profonde : présence de formes fossiles de haute mer : les ammonites ex dalles calcaires à Digne datées du Jurassique inférieur (-200 MA)
- Des **radiolarites** directement **au contact des ophiolites** (région de Briançon). Les radiolarites sont des roches constituées de l'accumulation de coquilles siliceuses d'animaux unicellulaires planctoniques : les radiolaires. Cela implique un océan de grande profondeur, car à partir de 4000m de profondeur, les coquilles carbonatées sont dissoutes au cours de leur chute (effet de la pression et de la température), seules se déposent les boues siliceuses.

**BILAN** - Les chaînes de montagnes présentent souvent les **traces d'un domaine océanique** disparu (**ophiolites**) et d'**anciennes marges continentales passives**.

La présence d'ophiolites et de vestiges des marges continentales dans les Alpes montre que leur formation est associée à la disparition d'un domaine océanique.

**Pb. :** Comment l'étude de certains minéraux peut-elle témoigner de la disparition du domaine océanique ?

## D- Les traces de transformations minéralogiques

### TP 7 : LES INDICES DE TRANSFORMATIONS MINÉRALOGIQUES

#### TP PETROLOGIE DES ROCHES ISSUES DE LA SUBDUCTION (MICROSCOPE POLARISANT)

- **ACTIVITE 3 : DES TRANSFORMATIONS MINÉRALOGIQUES AU COURS DE LA SUBDUCTION**

**Objectif :** - Repérer à différentes échelles, de l'échantillon macroscopique de roche à la lame mince, des minéraux témoignant de transformations liées à la subduction.

Après sa formation au niveau de la dorsale, la **lithosphère océanique** subit une expansion puis éventuellement une **subduction**.

### Des transformations minéralogiques liées à la subduction ante-collision

Les gabbros, roches caractéristiques de la lithosphère océanique subissent avec le temps des **transformations métamorphiques** et deviennent des **métagabbros**.

**Au fur et à mesure de leur éloignement** de la dorsale, les minéraux du gabbro sont soumis à des conditions différentes de température : apparition de hornblende (due à une hydratation des roches de la croûte océanique), puis à plus basse température, de minéraux tels que l'actinote et la chlorite : faciès schistes verts : **métamorphisme BT/BP**

**Lorsque la lithosphère océanique s'enfonce dans l'asthénosphère**, les roches vont subir un nouveau métamorphisme puisqu'elles sont soumises à des conditions de P/T différentes de celles de leur formation : **métamorphisme basse température/haute pression (BT/HP)**. Il en résulte la formation de nouvelles **roches caractéristiques des zones de subduction** :

- Les **schistes bleus** caractérisée par la présence d'une **amphibole bleue**, le **glaucophane**, minéral hydraté.
- Les **éclogites**, caractérisées par la présence de **grenat et de jadéite**, minéraux anhydres.

**Rq :** Dans les Alpes, on observe un passage progressif, d'ouest en est, de schistes verts à des schistes bleus puis à des éclogites : les roches situées à l'est ont donc subi des conditions de température et de pression correspondant à des profondeurs plus importantes : la plaque européenne est entrée en subduction sous la plaque africaine.

→ Exemple de Métamorphisme de roches sédimentaires : Des **schistes à carpholite** ont été retrouvés dans les Alpes : ce sont des roches issues du **métamorphisme de roches argileuses d'origine continentale** contenant de la chlorite et du mica blanc (minéral typique de la croûte continentale)

**Lorsque l'ensemble du domaine océanique a disparu par subduction, l'une de ses marges continentales peut être entraînée dans le manteau par la lithosphère océanique plongeante.**

**BILAN** - Les matériaux océaniques et continentaux montrent les **traces d'une transformation minéralogique** à grande profondeur **au cours de la subduction**.

**Pb. Scientifique : Comment intégrer ces données d'observation dans le modèle de la tectonique des plaques ?**

## II- Le moteur de la subduction

### • **ACTIVITE 4 : LE MOTEUR DE LA SUBDUCTION**

**Objectif :** - Raisonner à l'aide de calculs simples sur le lien entre âge de la lithosphère/densité/subduction.

Au fur et à mesure qu'elle s'éloigne de la dorsale, la lithosphère océanique vieillit et s'épaissit par ajout de manteau lithosphérique : l'isotherme 1300°C marquant la limite lithosphère - asthénosphère est de plus en plus profond. Cet épaississement entraîne l'augmentation de la densité et donc de la profondeur de la lithosphère océanique. Cet enfouissement de la lithosphère océanique, au fur et à mesure de son éloignement, dû à son évolution thermique est appelé **subsidence thermique**.

Le manteau lithosphérique étant plus dense que le manteau asthénosphérique, la densité de la lithosphère océanique augmente au cours du temps.

A partir d'un certain âge, la densité de la lithosphère océanique devient supérieure à celle de l'asthénosphère. **L'équilibre isostatique est rompu** et avec un certain retard, la lithosphère entre en subduction.

La lithosphère océanique plongeante tracte le reste de la plaque lithosphérique.

La **différence de densité** entre la lithosphère océanique âgée et l'asthénosphère est donc la principale cause de la subduction.

**BILAN** - La **différence de densité** entre l'asthénosphère et la lithosphère océanique âgée est la principale cause de la subduction.

En s'éloignant de la dorsale, la lithosphère océanique se refroidit et s'épaissit.

L'augmentation de sa densité au-delà d'un seuil d'équilibre explique son plongement dans l'asthénosphère.

En surface, son âge n'excède pas 200 Ma.

**Pb. Scientifique : Comment intégrer ces données d'observation dans le modèle de la tectonique des plaques ?**

## III- Les traces d'une subduction - collision

### • **ACTIVITE 5 : LES APPORTS DES DONNEES GEOPHYSIQUES SUR LES STRUCTURES PROFONDES**

**Objectif :** - Comprendre le scénario de la formation d'une chaîne de montagne

La densité de la croûte continentale étant plus faible que celle de la croûte océanique, cette subduction continentale devient de plus en plus difficile et finit par se bloquer. Le raccourcissement imposé par la convergence ne peut plus être absorbé par la subduction, ce qui provoque la collision des 2 lithosphères continentales.

#### 1- Les structures géologiques de surface

Plis, failles inverses, nappes de charriage (voir chapitre 5)

#### 2- Les structures profondes.

Le profil ECORS (étude de la croûte continentale et océanique par réfraction et réflexion sismique) de la chaîne des Alpes permet d'avoir une image profonde de la croûte continentale.

- Le Moho plonge de l'Ouest vers l'Est et atteint 55 km sous les massifs internes des Alpes (Vanoise, Grand Paradis)

- Présence de nombreux empilements de nappes de charriages et de nombreuses failles inverses

Les études sismiques montrent que les **chevauchements**, les **failles inverses** affectent la croûte aussi bien en surface qu'en profondeur. Les **empilements de nappes** qui en résultent créent des reliefs en surface, une **racine crustale** en profondeur et donc un **épaississement de la croûte**.

**BILAN** - La « suture » de matériaux océaniques résulte de l'affrontement de deux lithosphères continentales (collision). Tandis que l'essentiel de la lithosphère continentale continue de subduire, la partie supérieure de la croûte s'épaissit par **empilement de nappes** dans la zone de contact entre les deux plaques.

**Pb. Scientifique :** Comment peut-on reconstituer l'histoire géologique d'une chaîne de montagne à partir de tous ces indices ?

### IV- Un scénario de formation d'une chaîne de montagne

- ACTIVITE 6 : UN SCENARIO DE FORMATION D'UNE CHAINE DE MONTAGNES**  
**Objectif :** - Comprendre le scénario de la formation d'une chaîne de montagne

#### BILAN -

Les chaînes de montagne présentent souvent les traces d'un domaine océanique disparu (ophiolites) et d'anciennes marges continentales passives. La « suture » de matériaux océaniques résulte de l'affrontement de 2 lithosphères continentales (collision).

Tandis que l'essentiel de la lithosphère continue de subduire, la partie supérieure de la croûte s'épaissit par empilement de nappes dans la zone de contact entre les 2 plaques.

Les matériaux océaniques et continentaux montrent donc les traces d'une transformation minéralogique à grande profondeur au cours de la subduction.

#### Formation d'une chaîne de montagne lors de la convergence de 2 plaques

