

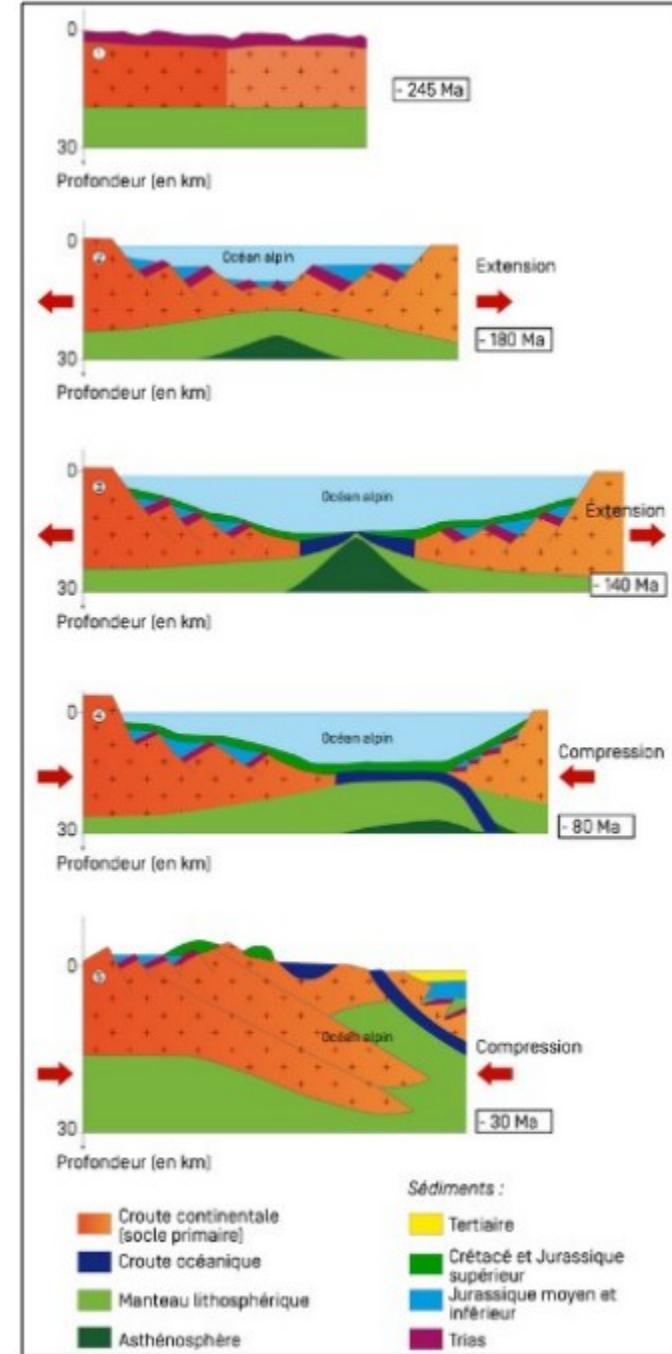
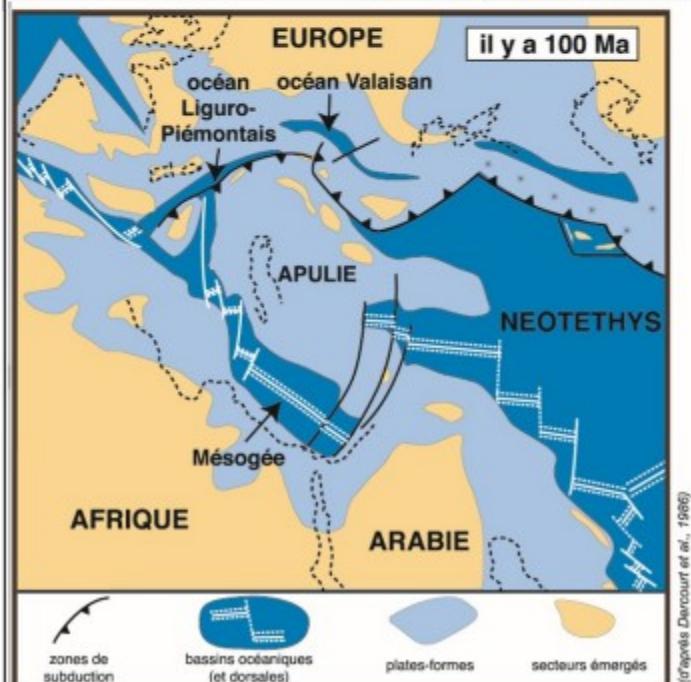
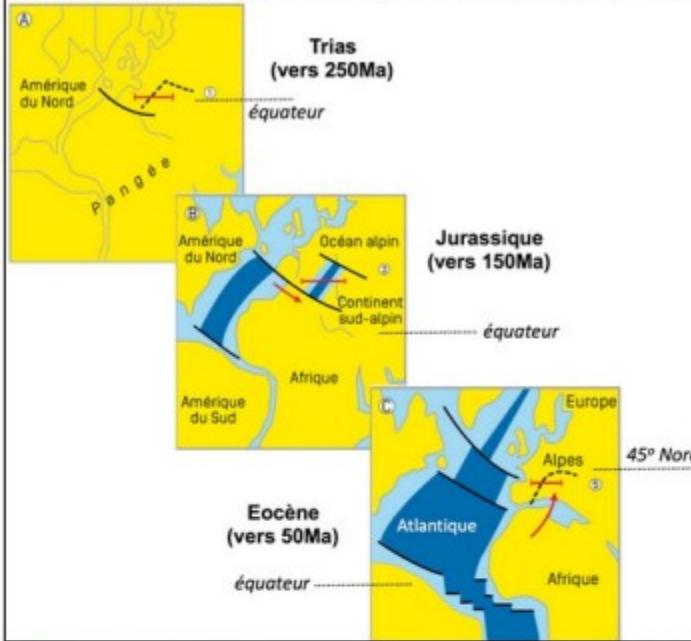
COURS / TP 3: LES MARQUEURS DE LA COLLISION ET DE L'ÉROSION DE LA CHAINE

Bilan du TP2

Au Trias, un phénomene de **rafting** aboutit à l'ouverture de l'Océan Atlantique Nord au début du Jurassique, (180 Ma) et provoque un **coulissement de la plaque Afrique vers l'Est**, ce qui engendre un **contexte d'extension** entre la plaque Europe et l'Apulie qui ouvre l'**Océan Ligur**.

Par la suite, l'**ouverture de l'Atlantique sud** engendre une **rotation vers le Nord Est de la plaque Afrique** et crée un **contexte de convergence** entraînant au **Crétacé** le **début de fermeture de l'Océan Ligur** par subduction.

Ouverture et fermeture de l'Océan Alpin (d'après M. Lemoine APBG 1990)



Document 1 : ouverture et fermeture de l'Océan Ligure

IV. Les marqueurs de la collision et l'érosion de la chaîne actuelle

1. étude des déformations et datation de la collision

1.1 les plis et failles inverses

Activité 1 :

- Repérer sur la carte d'Annecy au 1/250 000 les plissements de la couverture sédimentaires dans la zone dauphinoise au nord ouest.
- Préciser la direction de ces plis et les terrains qu'ils affectent.



Carte d'Annecy au 1/250 000

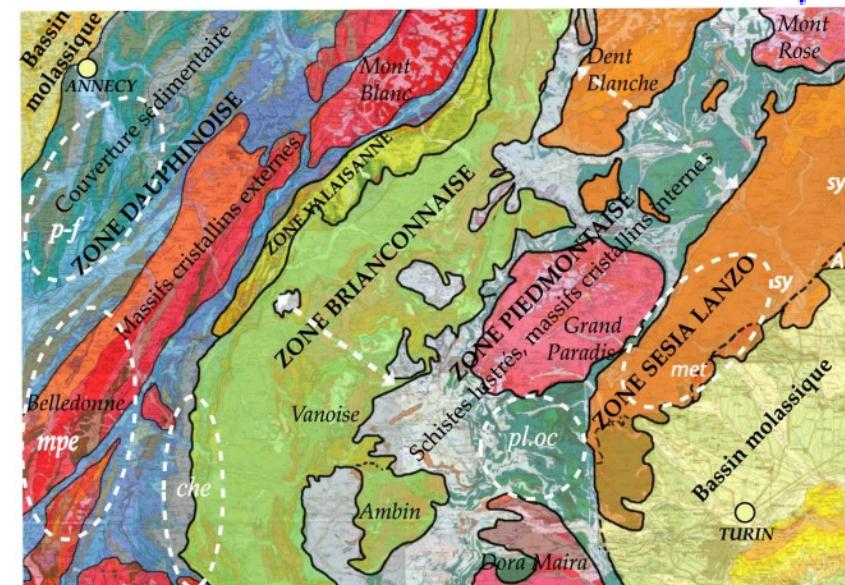


Schéma structural

source : sites.ac-nancy-metz.fr

Activité 2 :

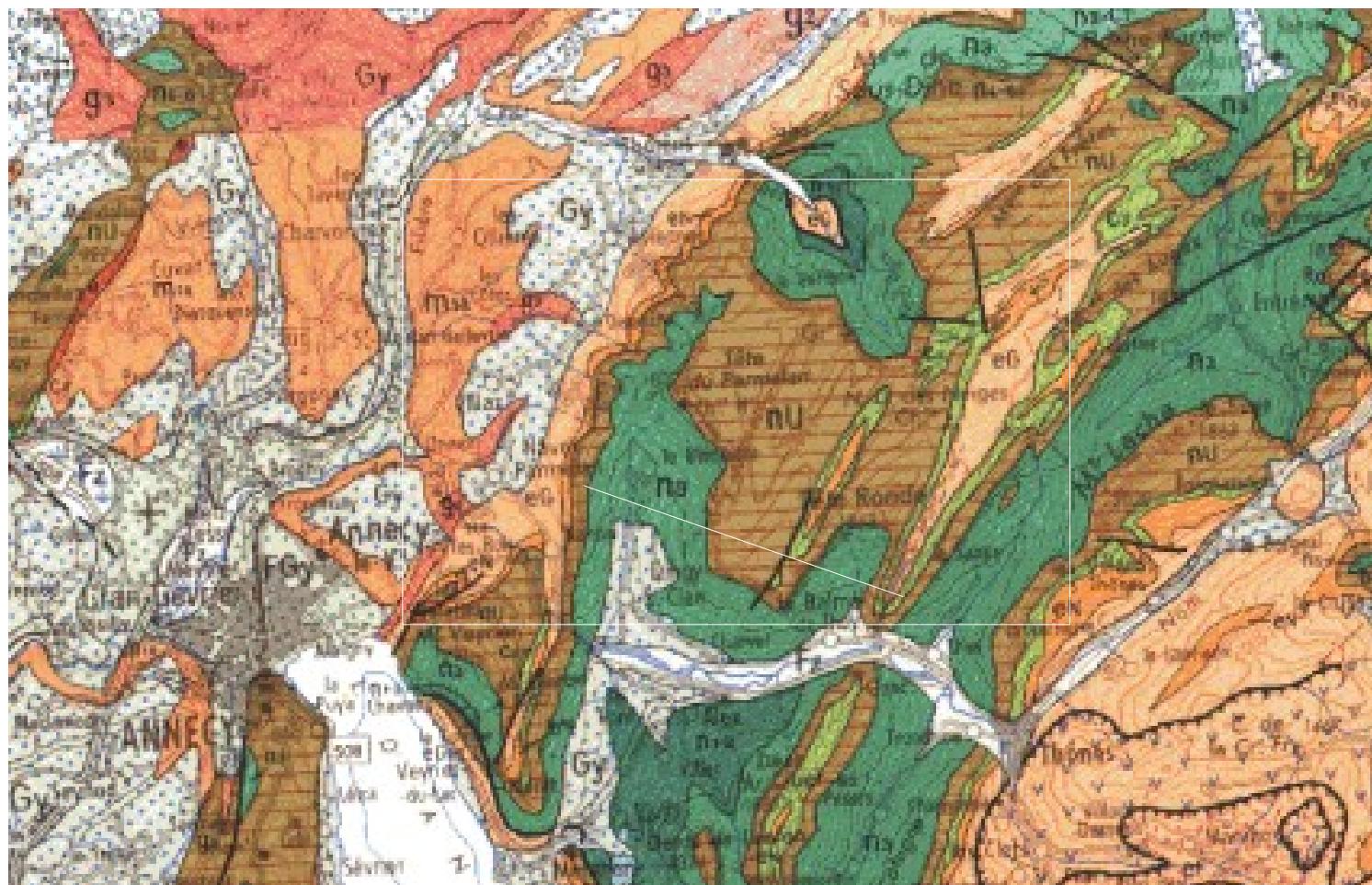
→ A partir de la carte au 1/50 000 d'Annecy :

- réaliser un schéma structural de la carte

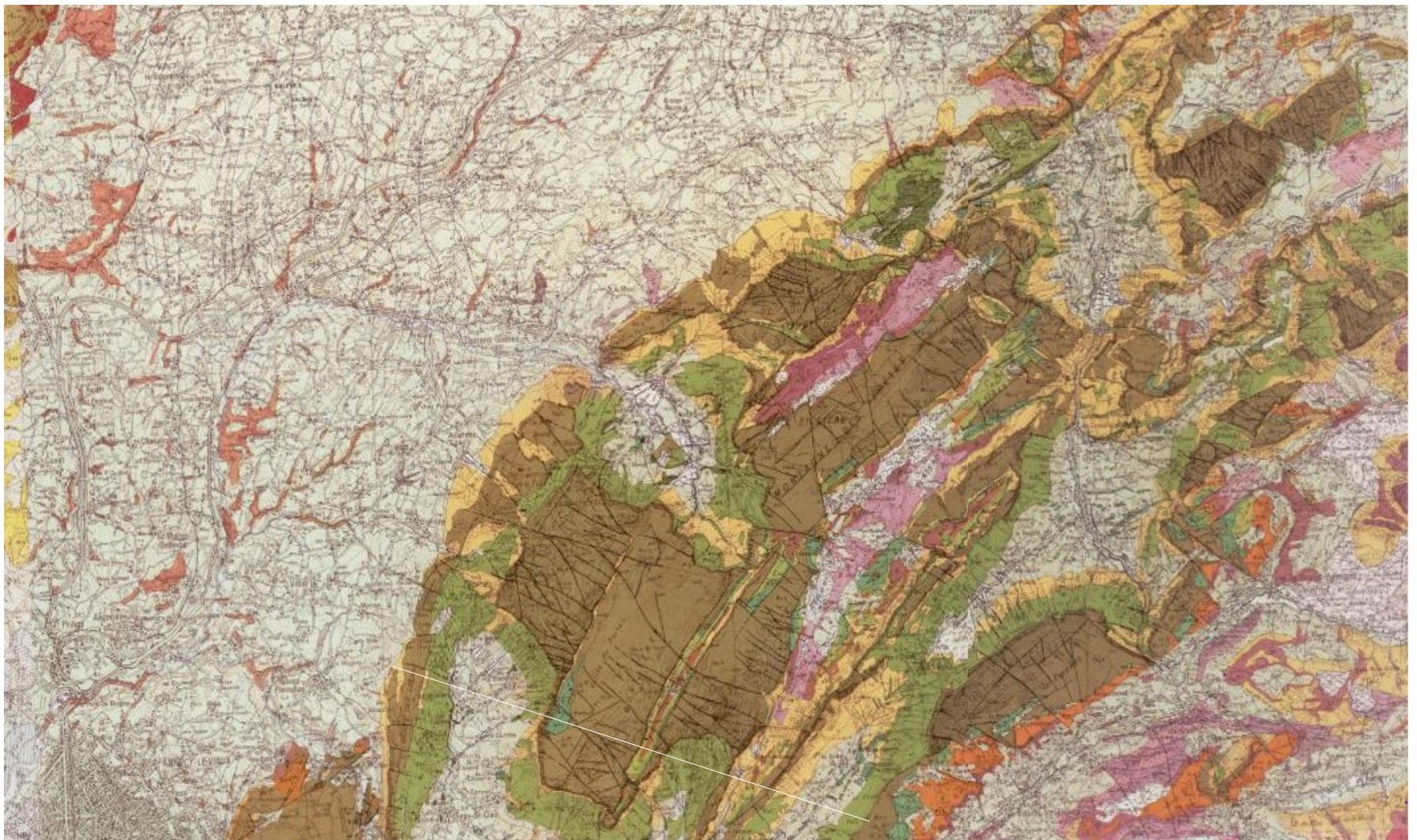
- une coupe géologique le long du trait AB tracé en utilisant le profil topographique fourni et l'extrait de carte en annexe 1

- reconstituer l'histoire géologique de la région en précisant les principes de datation utilisés.

→ Mettre en relation la photographie du Massif des Bornes ci-dessous avec votre travail de coupe et légendier la photographie.

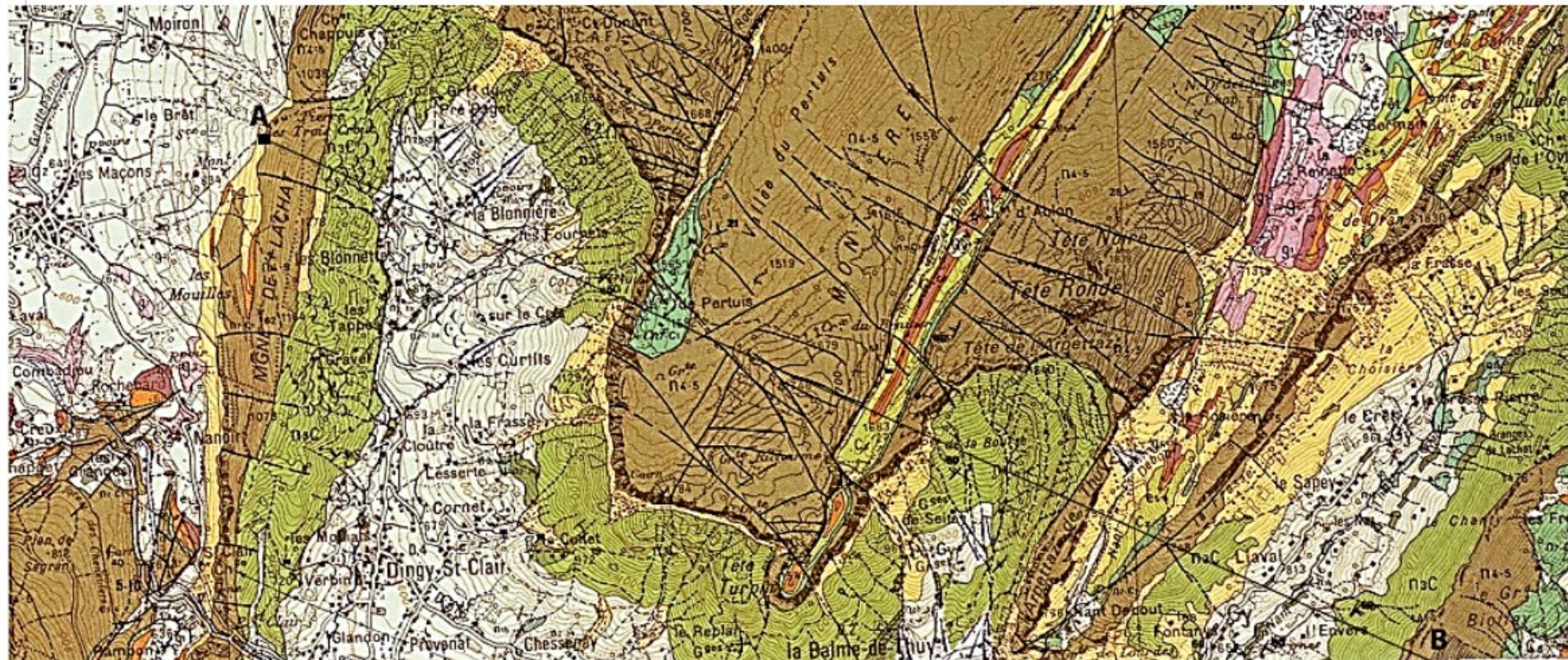


Zoom sur la carte d'Annecy au 1/250 000



Carte d'Annecy - Bonneville au 1/50 000

- une coupe géologique le long du trait AB tracé en utilisant le profil topographique fourni et l'extrait de carte en annexe I



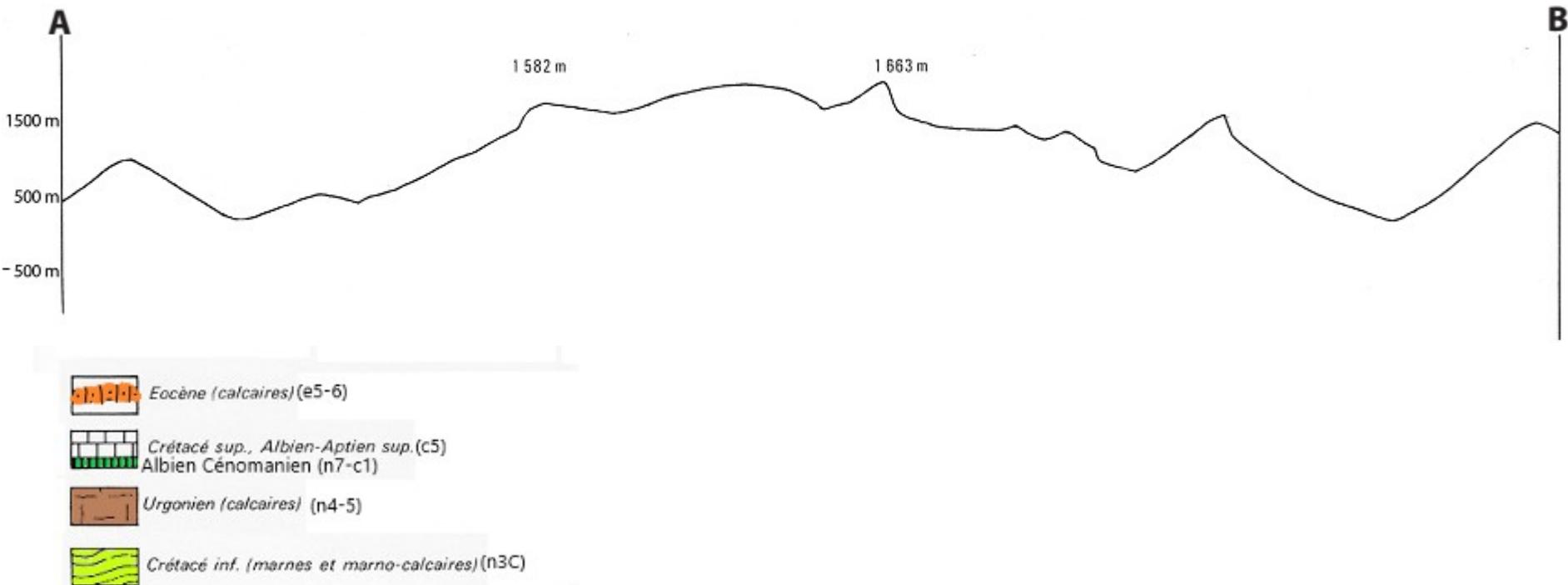
500 m

Jz	Cône de déjection
JEB	Cône d'éboulis
Jeb	Cône d'éboulement
Fz	Tourbières
Fz	Alluvions modernes de vallée
Gy	Glaciaire local

GyF	Glaciaire de la vallée du Fier
GyA	Glaciaire de la vallée de l'Arve
Gyc	Alluvions glaciaire Wurm : Moraine caillouteuse
g2	Oligocène inf à moy : Flysch indifférencié
g1	Oligocène inf : Marnes à Foraminifères
es-6	Eocène moy et sup : calcaires à Nummulites

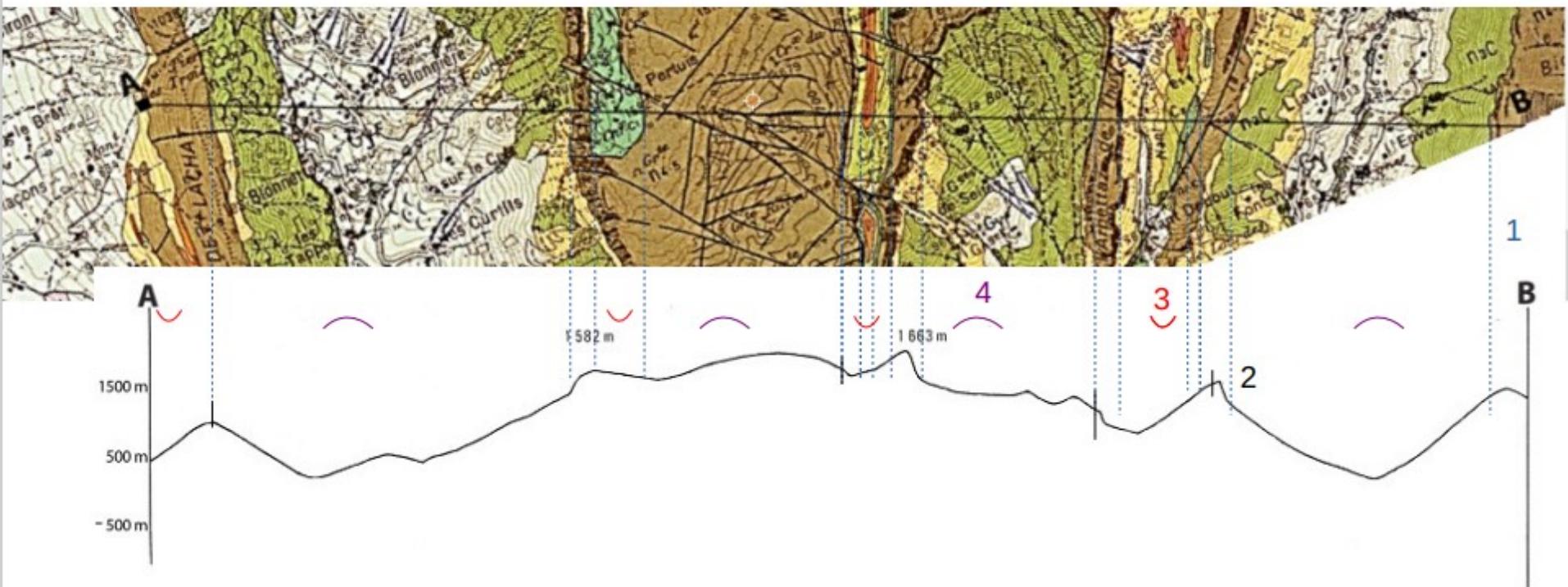
Crétacé	Cs	Turonien - Campanien : Calcaires sublithographiques
	n7-C1	Albien - Cénomanien
	n4-5	Barrémien - Bédoulien (faciès urgonien) : Calcaires compacts
	n3C	Hauterivien : Calcaires gréseux
	n2-3a	Valanginien - Hauterivien inf : Alternances calcaires-marnes
	n1b	Berriasien : Marnes schisteuses

Extrait de la carte géologique D'Annecy-Bonneville au 1/50 000
Coupe au niveau du tracé AB



- reconstituer l'*histoire géologique de la région en précisant les principes de datation utilisés.*

Extrait de la carte géologique D'Annecy-Bonneville au 1/50 000
Coupe au niveau du tracé AB



Eocène (calcaires) (e5-6)



Crétacé sup., Albien-Aptien sup. (c5)



Albien Cénomanien (n7-c1)

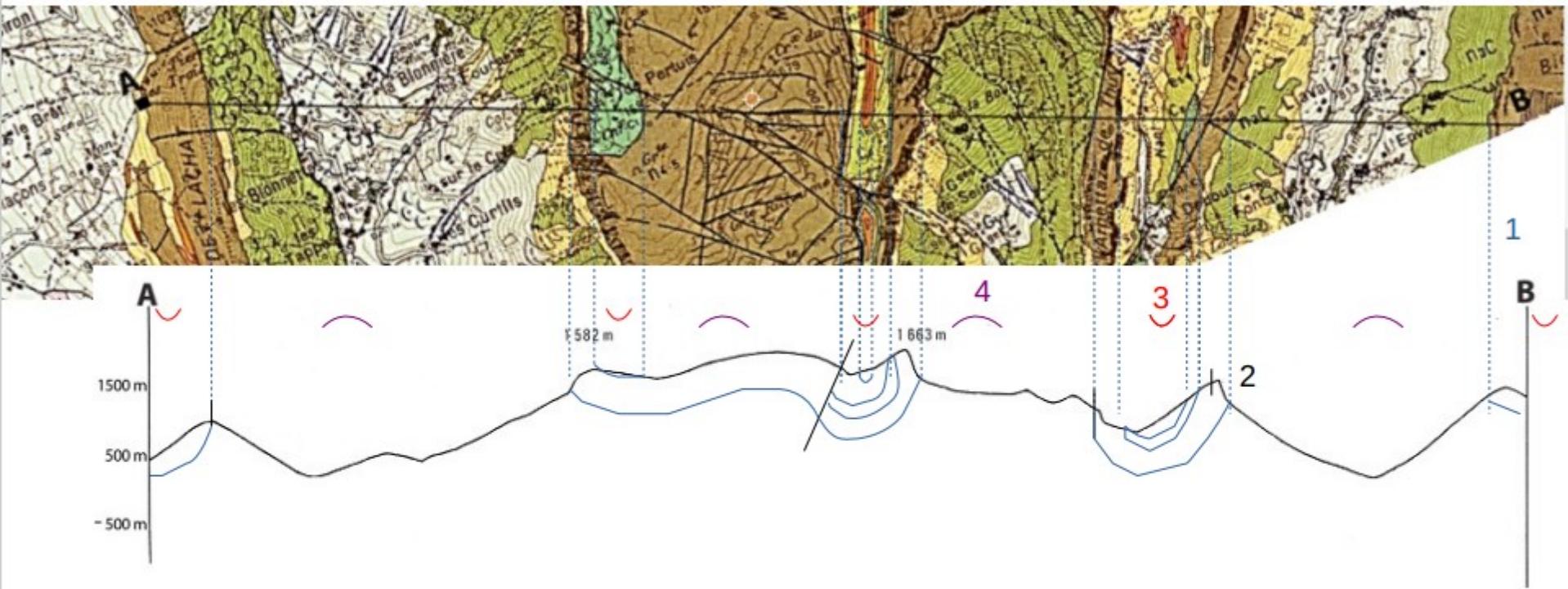


Urgonien (calcaires) (n4-5)



Crétacé inf. (marnes et marno-calcaires) (n3C)

Extrait de la carte géologique D'Annecy-Bonneville au 1/50 000
Coupe au niveau du tracé AB



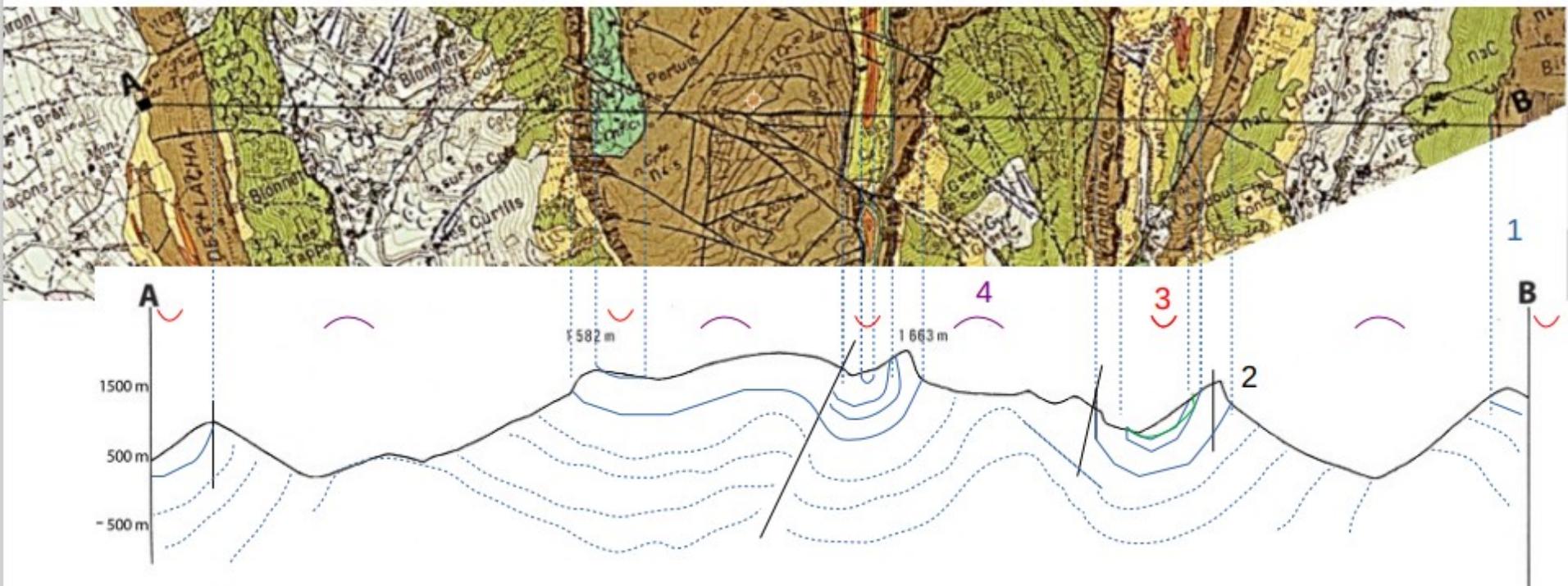
Eocène (calcaires) (e5-6)

Crétacé sup., Albian-Aptien sup. (c5)
Albian Cénomanien (n7-c1)

Urgonien (calcaires) (n4-5)

Crétacé inf. (marnes et marno-calcaires) (n3C)

Extrait de la carte géologique D'Annecy-Bonneville au 1/50 000
Coupe au niveau du tracé AB



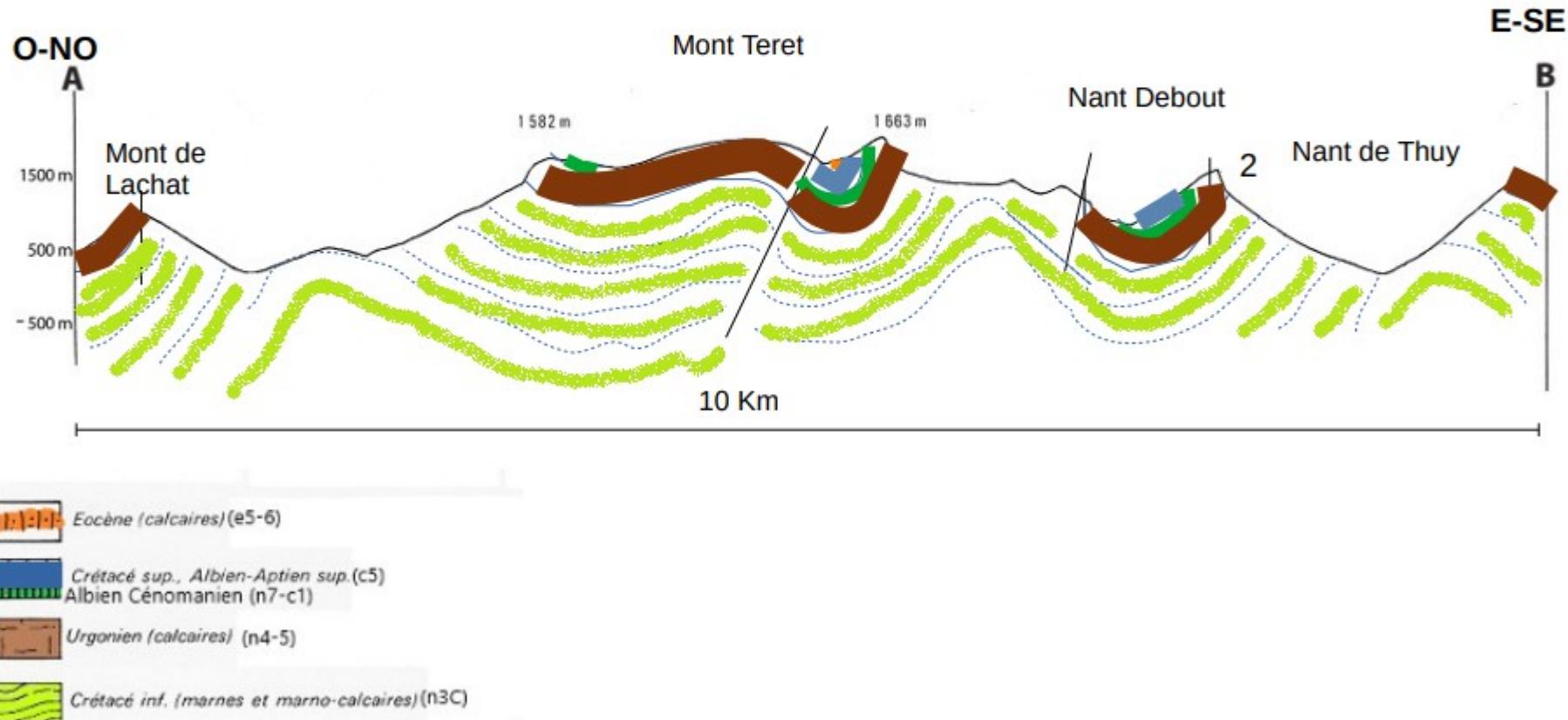
Eocène (calcaires) (e5-6)

Crétacé sup., Albien-Aptien sup. (c5)
Albien Cénomanien (n7-c1)

Urgonien (calcaires) (n4-5)

Crétacé inf. (marnes et marno-calcaires) (n3C)

Extrait de la carte géologique D'Annecy-Bonneville au 1/50 000
Coupe au niveau du tracé AB



- reconstituer l'*histoire géologique de la région en précisant les principes de datation utilisés.*

→ Mettre en relation la photographie du Massif des Bornes ci-dessous avec votre travail de coupe et légender la photographie.

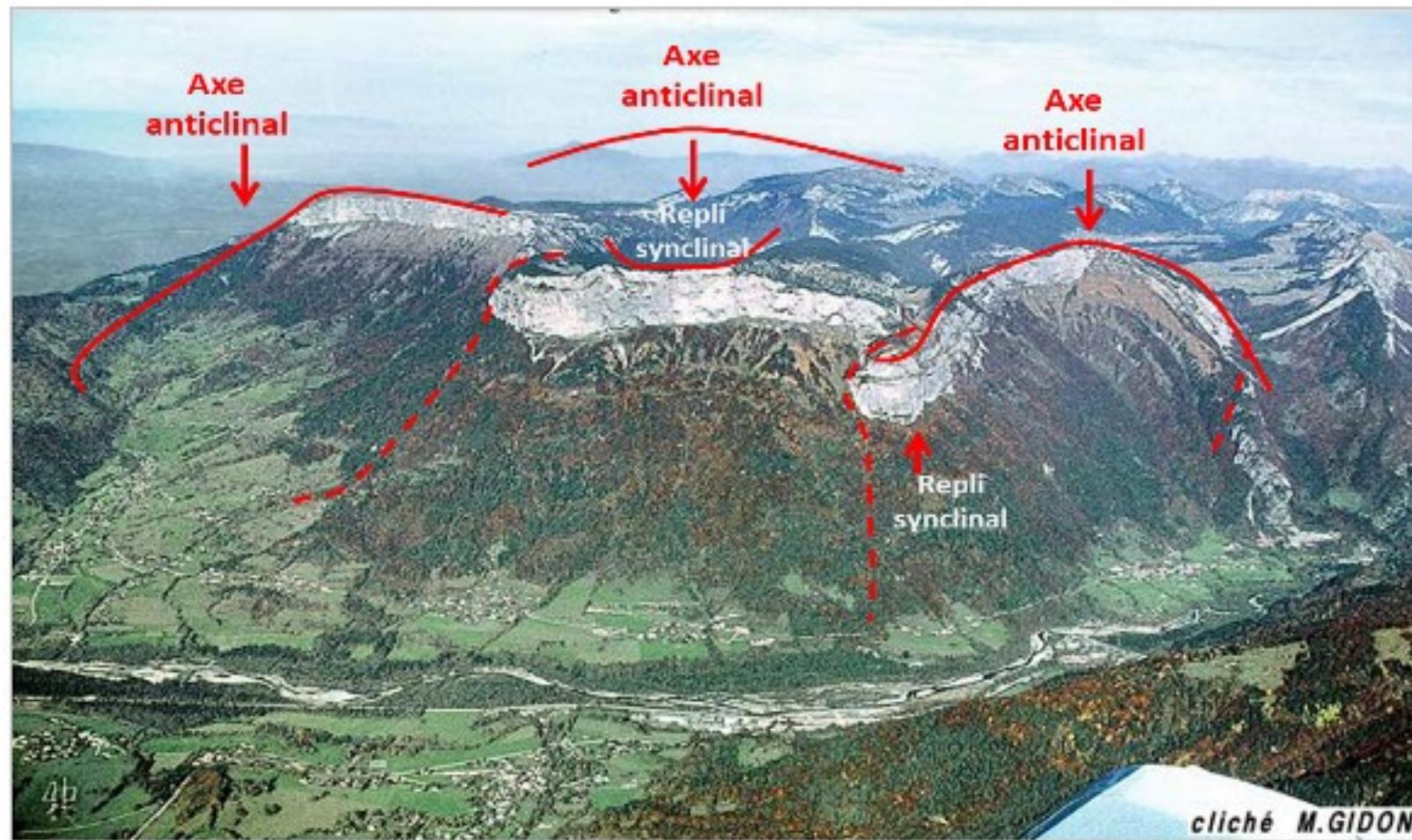


Photographie de la rive droite du Fier en aval de La Balme de Thuy.

Le Mont Téret est au centre de la photographie.

Source : http://www.geol-alp.com/bornes/_general_bornes_aravis/tecto_bornes.html

→ Mettre en relation la photographie du Massif des Bornes ci-dessous avec votre travail de coupe et légendier la photographie.



Photographie de la rive droite du Fier en aval de La Balme de Thuy.

Le Mont Téret est au centre de la photographie.

Source : http://www.geol-alp.com/bornes/_general_bornes_aravis/tecto_bornes.html

En conclusion :

Les sédiments marins se sont déposés en milieu plus ou moins profond avec des phases de régression et d'érosion mis en évidence par lacunes sédimentaires.

Les plis déforment tous les terrains jusqu'à l'Oligocène, ils témoignent d'une déformation ductile et continue en contexte de convergence.

Les failles inverses affectent ces plis, elles sont donc postérieures et témoignent d'une déformation cassante et discontinue en contexte de convergence. Ces failles inverses conduisent à un raccourcissement et un épaissement de la couverture sédimentaire, elles sont à l'origine des écailles de la couverture subalpine qui se chevauchent d'Est en Ouest.

Ces déformations peuvent différentes échelles.

Activité 3 :

→ *Légender et caractériser les déformations présentes sur les photographies en annexe 2*



cliché M.GIDON

photo 1 : vue septentrionale de la chartreuse



cliché M.GIDON

La partie septentrionale de la Chartreuse occidentale vue du sud, depuis le sommet de la Petite Vache.

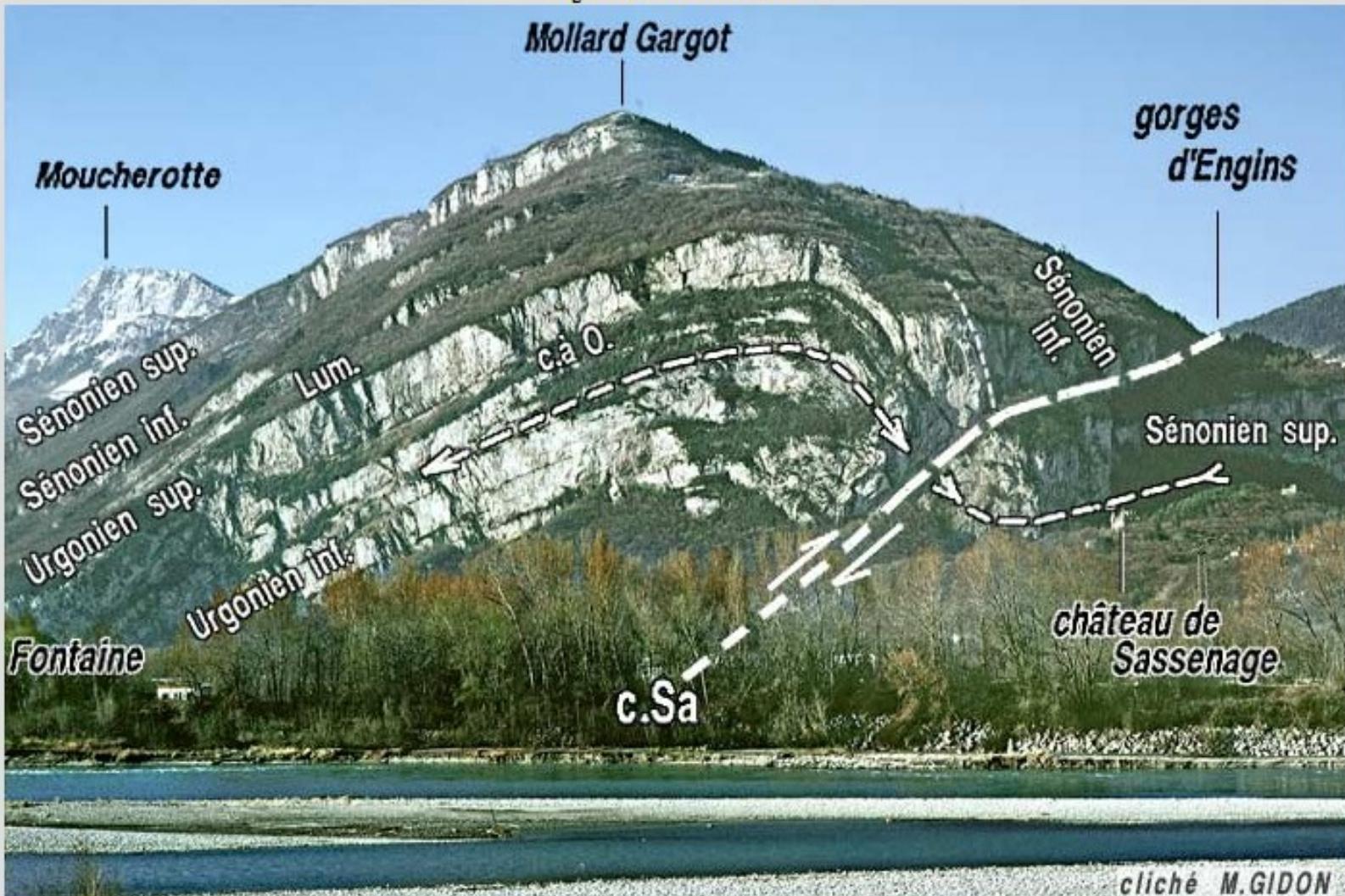
01 = chevauchement de la occidentale (= faille de Voreppe) ; **a.É.** = anticlinal des Égaux (crochon* du chevauchement de la Chartreuse occidentale) ; **s.C** = synclinal de Couz ; **a.M** = anticlinal médian ; **d.C** = décrochement de Corde.

On a indiqué d'une ligne de tirets rouges les deux secteurs où la voûte des anticlinaux sont tranchés par l'ancienne surface d'aplanissement.



cliché M.GIDON

photo 2 : pli faille de Sassenage près de Grenoble



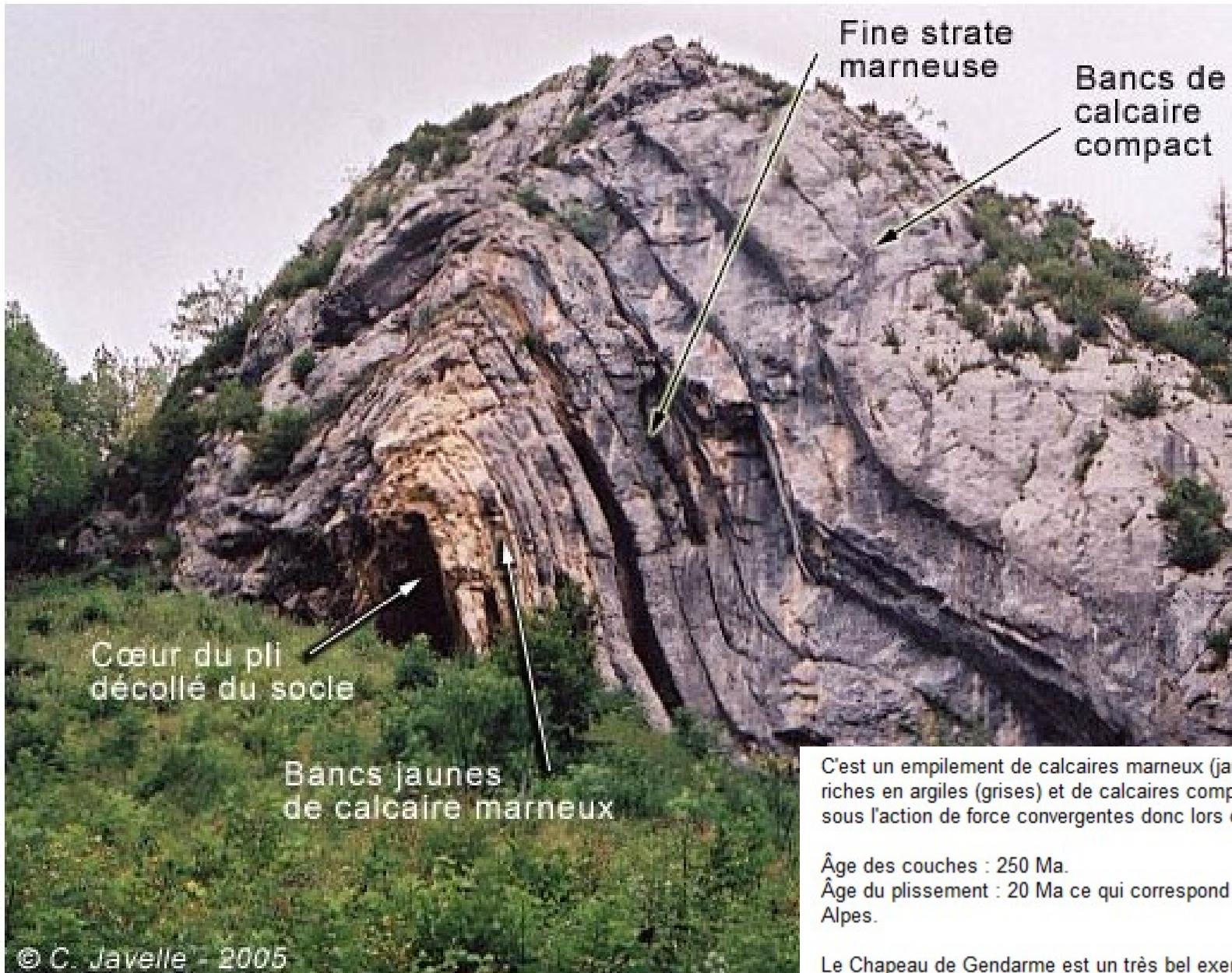
cliché M.GIDON

L'anticinal de Sassenage, vu du nord, dans l'axe du pli, depuis l'autoroute A.48 (Grenoble - Lyon), en rive droite du lit de l'Isère.

Noter que les bancs du flanc ouest (coté droit) de l'anticinal ne se renversent pas : ils sont tranchés franchement par le chevauchement de Sassenage (c.Sa).



photo 3 : le « chapeau de gendarme » observé sur la commune de Spetmoncel dans le Haut Jura



Fine strate
marneuse

Bancs de
calcaire
compact

Cœur du pli
décollé du socle

Bancs jaunes
de calcaire marneux

C'est un empilement de calcaires marneux (jaunes), de marnes riches en argiles (grises) et de calcaires compacts qui a été plissé sous l'action de forces convergentes donc lors d'une orogenèse.

Âge des couches : 250 Ma.

Âge du plissement : 20 Ma ce qui correspond à l'orogenèse des Alpes.

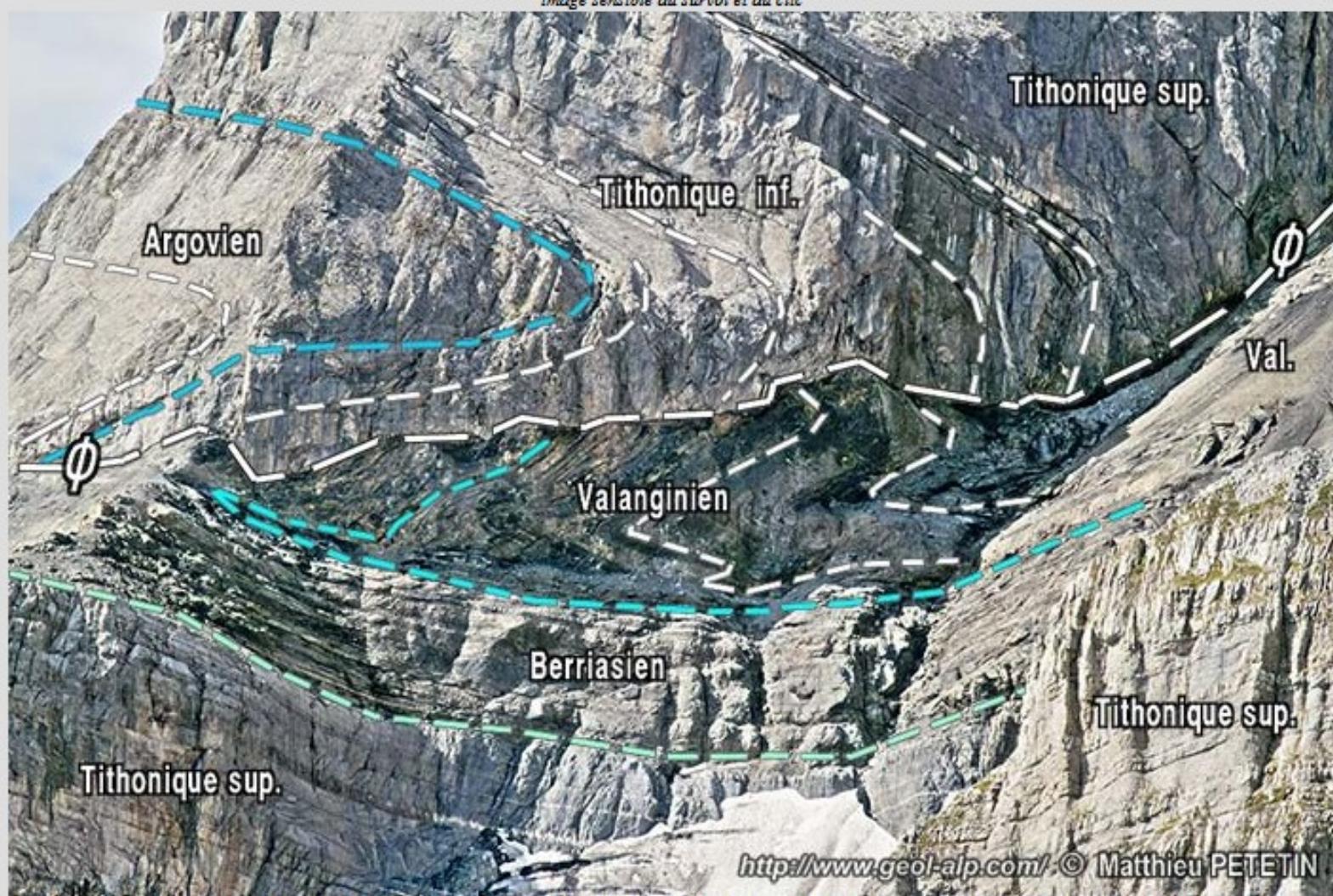
Le Chapeau de Gendarme est un très bel exemple d'anticlinal.

Le cœur du pli est évidé en une petite grotte car lors de son plissement, le Chapeau de Gendarme s'est décollé de son support.



<http://www.geol-alp.com/> - © Matthieu PETETIN

photo 4 : crochons de chevauchement du Prozon



<http://www.geol-alp.com/> - © Matthieu PETETIN

Les crochons du chevauchement du Prazon dans la falaise du "Mur des Rosses". (cliché original obligatoirement communiqué par M. Matthieu Petetin).

Ø= surface de chevauchement ; noter les petits replis accompagnant le rebroussement principal dans la lèvre inférieure : ils sont liés à la finesse du litage qui autorise un plissement à plus courte longueur d'onde que dans les gros bancs du Tithonique de la lèvre supérieure.



photo 5 : la faille du Pas de Guiguet en Chartreuse



© Maurice GIDON
<http://www.geol-alp.com/>

La faille du Pas Guiguet, dans la corniche supérieure du Tithonique, au nord du fort du Saint-Eynard, vue d'avion depuis le Grésivaudan.

Le sentier du pas Guiguet suit une vire qui s'élève de droite à gauche le long d'une cassure, indiquée par des tirets gras, noirs et blancs. Elle remonte le compartiment droit (supérieur) et le décale vers la gauche (se repérer sur le niveau massif moyen de la falaise, dont le sommet est souligné par des tirets rouges et la base par des tirets bleus).

1.2 les chevauchements

Activité 4 :

→ Repérer sur la carte d'Annecy au 1/250 000 les nombreux chevauchements et préciser leur direction ainsi que les terrains mis en contact.



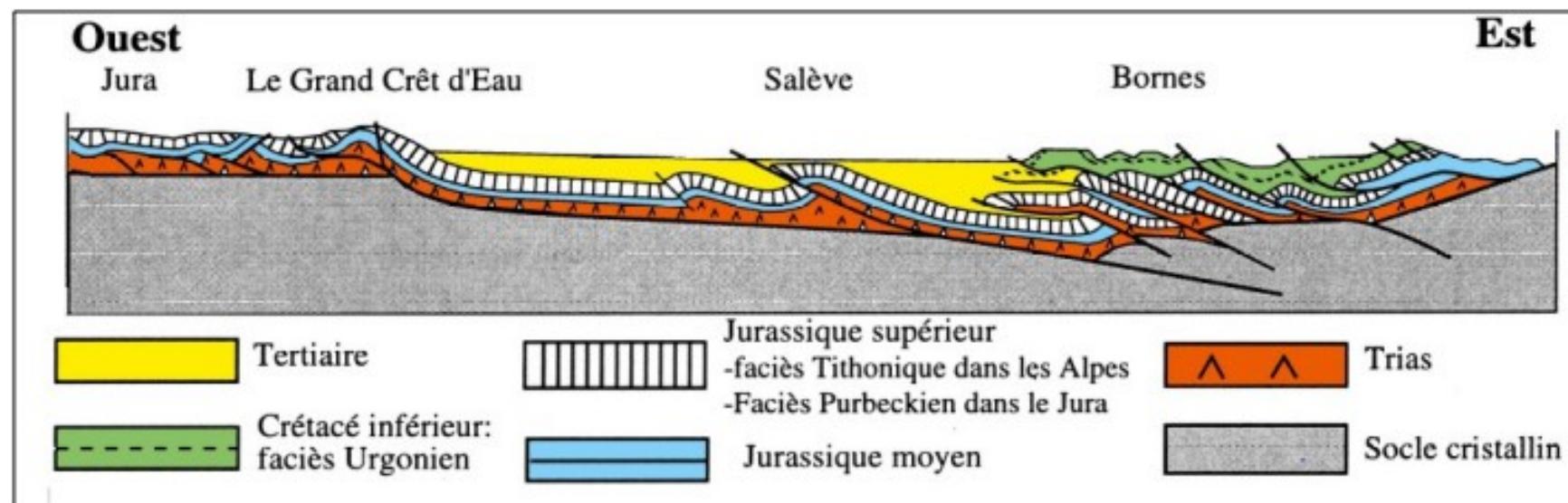
Carte d'Annecy au 1/250 000

En conclusion :

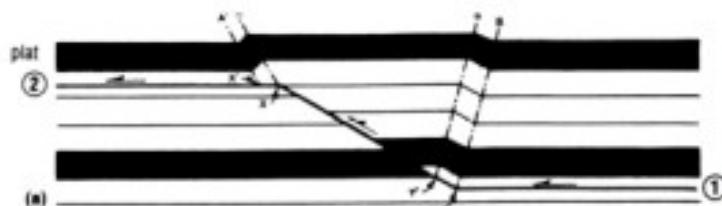
Les chevauchements sont très nombreux, ces décollements impliquent très souvent le Trias caractérisé par des dépôts de gypse. Cette roche évaporitique formée au tout début du rifting est ductile et donc incompétente. Lors de contrainte, elle se déforme intensément avant de rompre, favorisant les glissements des terrains sur le socle considéré, c'est pourquoi on parle de « couche savon ».

A ces chevauchements peuvent être associés ce qu'on appelle des plis de rampe avec la formation d'un anticlinal au front du chevauchement et d'un synclinal au niveau de la rampe.

Déformation cassante / discontinue en contexte de convergence, avec un grand raccourcissement.

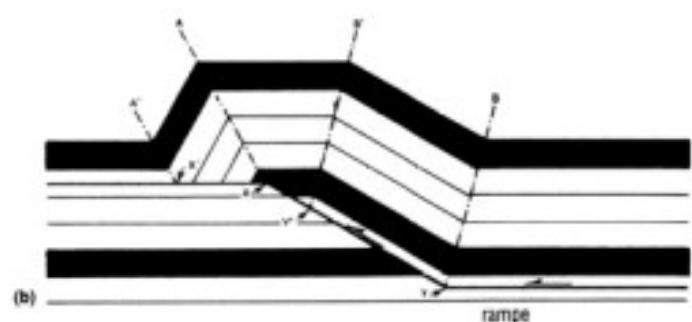


Document 2 : implication du Trias dans la formation des plis de rampe au niveau des chevauchements (Nougier)



Formation d'un pli de rampe

En blanc sont figurées les roches incompétentes, assurant la surface de décollement.
En noir sont figurées les roches compétentes dont la cassure sous la compression assurent le mouvement de l'ensemble.



Création et éléments caractéristiques :

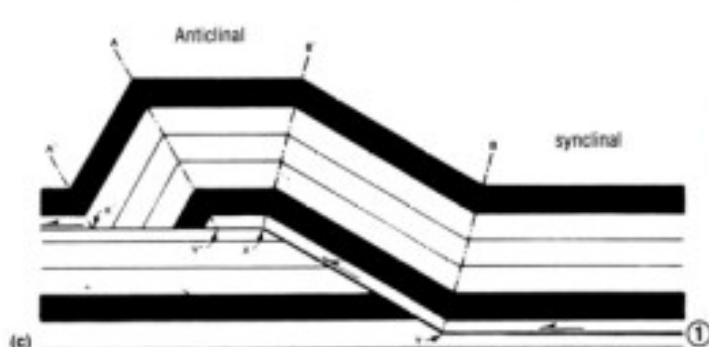
- (1) cassure d'une couche compétente (noire)
- (2) déplacement par fluage d'une couche inférieure incompétente (blanche) = « couche savon ».

Roche compétente = domaine de déformation souple très limité : la rupture est rapidement atteinte.

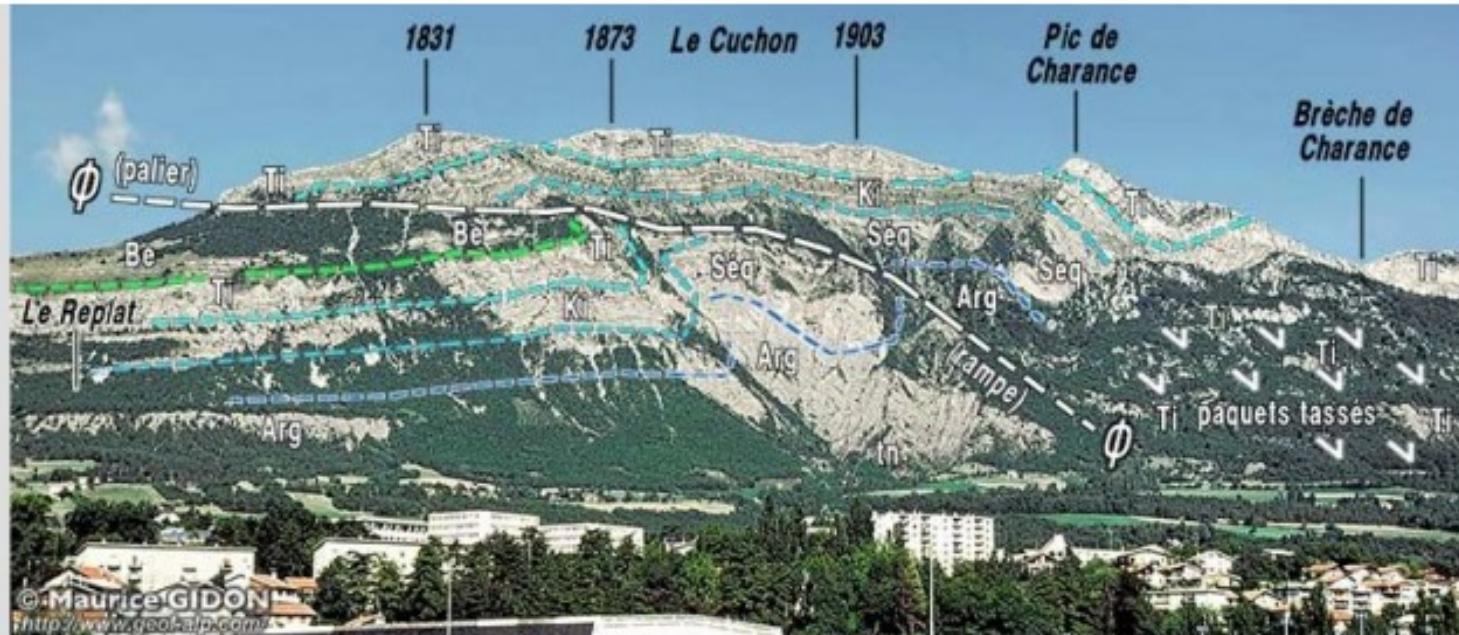
Elle a un comportement fragile ou cassant (calcaire, grès, granite...).

Roche incompétente = domaine de déformation souple étendu : grandes modifications de forme sans rupture.

Elle a un comportement ductile (argile, gypse, roches salines).



Document 3 : formation d'un pli de rampe



vue agrandie des pentes du Pic de Charance

La montagne de Charance, versant sud-est, vue depuis les quartiers sud de Gap (Font Reine).

Ø = chevauchement de Charance. On voit bien que la surface de chevauchement s'infléchit à gauche pour devenir presque parallèle au couches du Berriasiens, alors qu'à droite elle plonge et coupe en biais les couches du Séquanien et de l'Argovien : c'est une disposition classique de palier* succédant à une rampe*

Le franchissement de cette rampe a conduit la tranche chevauchante à se tordre en un pli de rampe*, constitué par un anticlinal enchaîné avec un synclinal, qui se distingue bien dans les falaises du Pic de Charance.

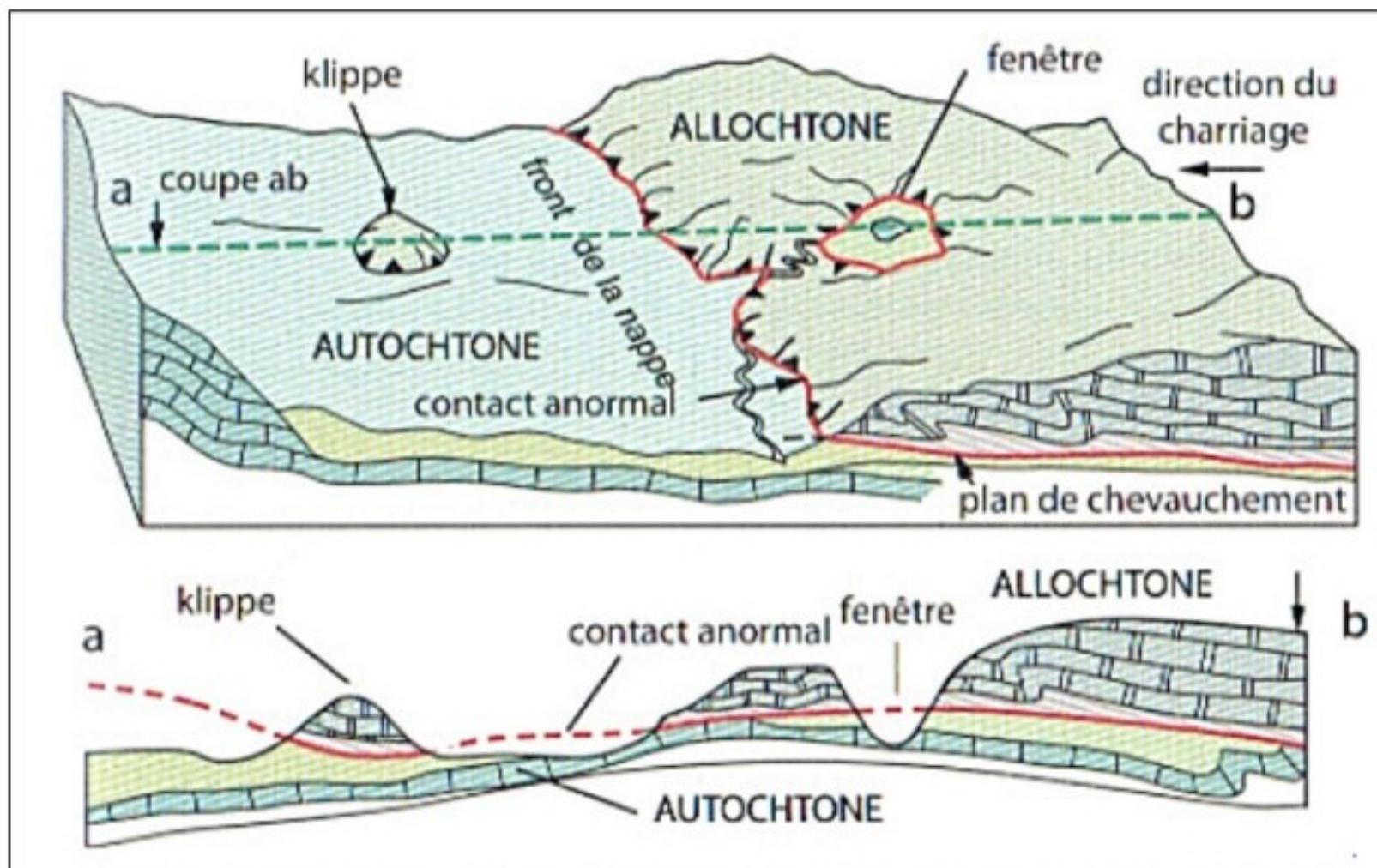
Document 4 : observation d'un pli de rampe

source : http://www.geol-alp.com/gap_digne/_lieux/_gapencais_lieux/charance.html

Mis à part les rétro-chevauchements, tous ces **chevauchements** sont de direction **Est Ouest** avec en particulier **un chevauchement majeur, le Front Pennique** caractérisant le chevauchement de la zone interne Briançonnaise recouvrant par endroits les terrains Eocène de la zone externe Dauphinoise. Là encore, ces chevauchement témoignent d'un raccourcissement et d'un épaissement correspondant à un **empilement d'écailles postérieur à l'Eocène**.

1.3 les nappes de charriage

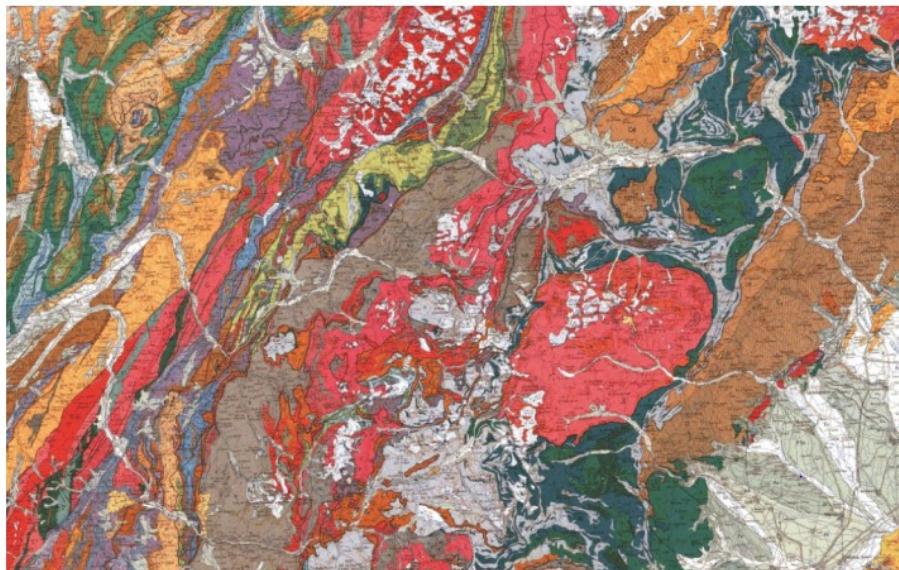
Les **nappes de charriage** sont des **chevauchements de grande amplitude** (de la dizaine à la centaine de km). Elles sont identifiables grâce aux klippes, résidus du l'allochton chevauchant après l'érosion partielle de celui-ci.



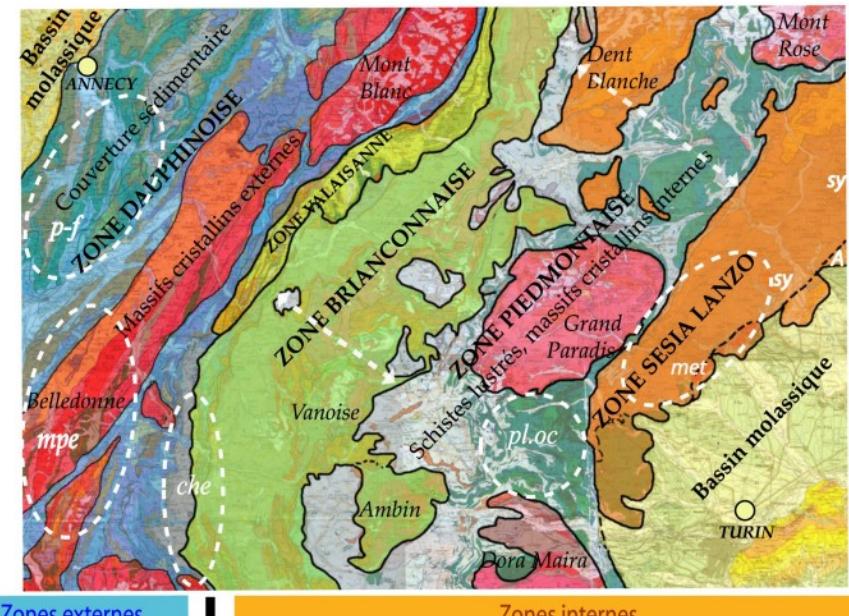
Document 5 : schéma d'une nappe de charriage montrant la formation de klippe après érosion

Activité 5 :

→ Repérer sur la carte d'Annecy au 1/250 000, grâce aux klippes, deux grandes nappes de charriage et calculer leur déplacement minimal en mesurant la distance séparant le kippe le plus externe du front de chevauchement.



Carte d'Annecy au 1/250 000



Zones externes

Front Pennique

Zones internes

Schéma structural

source : sites.ac-nancy-metz.fr

En conclusion :

La carte d'Annecy montre **deux nappes de charriage** :

- **la nappe des schistes lustrés** dont le klippe le plus externe repose sur le socle briançonnais et montre un déplacement minimal d'au moins 25km (distance 10cm sur la carte (x 250 000).par rapport au chevauchement de la zone liguro-piémontaise)

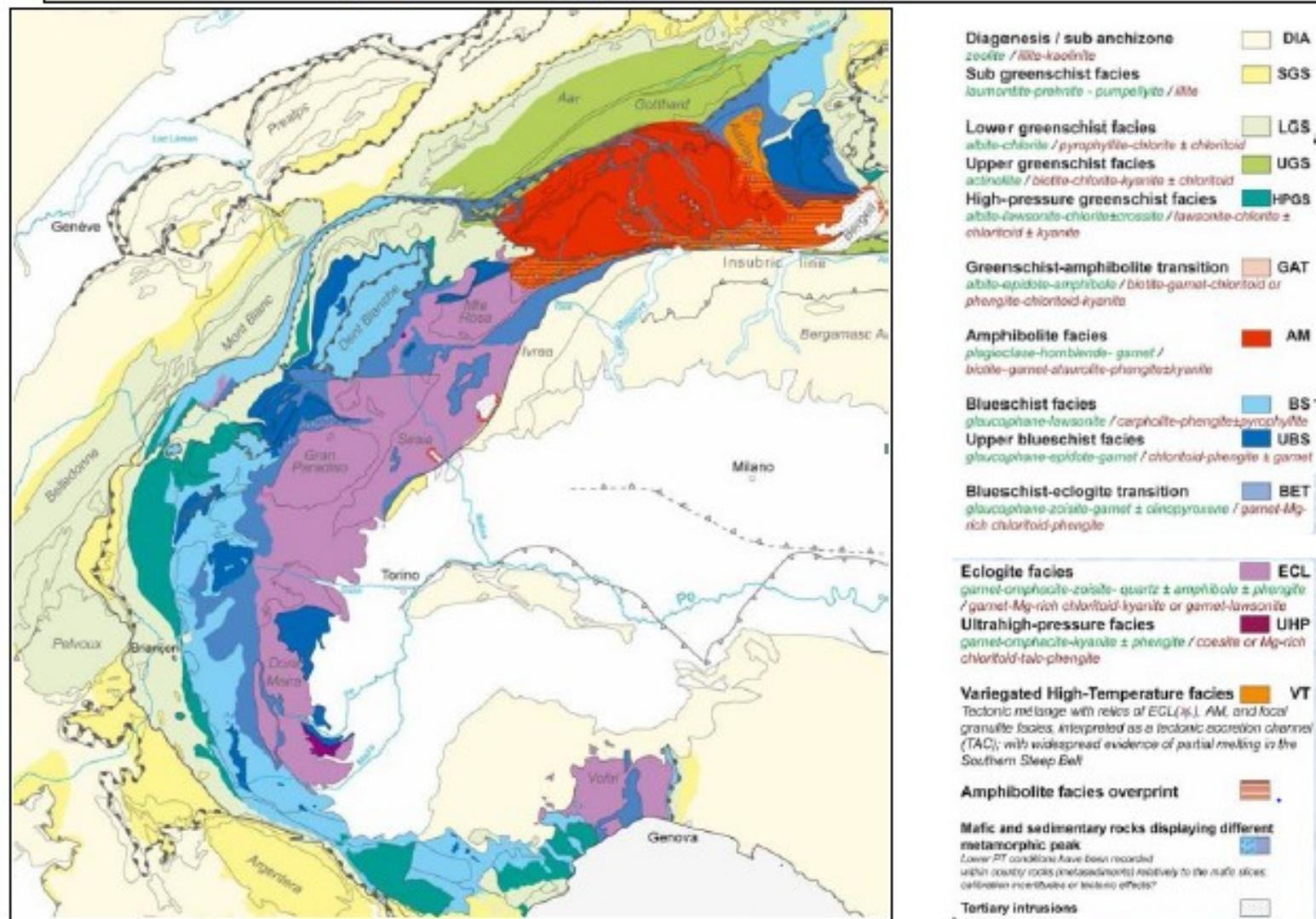
Cette nappe témoigne là encore d'un très fort raccourcissement en contexte de convergence aboutissement au charriage du plancher océanique et de sa couverture sédimentaire sur la marge continentale.

- **la nappe de la Dent Blanche** reposant sur la nappe ophiolitique et montrant un déplacement minimal d'au moins 40 km (distante de 16cm sur la carte par rapport à la zone de la Sesia) et témoignant du **charriage de la plaque lithosphérique apulienne**. L'empilement d'écailles prend donc une dimension ici à l'échelle lithosphérique.

2. les marqueurs d'un métamorphisme MP_MT

Activité 6 :

→ Sur la carte métamorphique des Alpes, décrire le métamorphisme observé au niveau des Alpes Centrales au Nord Est du Mont Rose et dire à quel gradient il correspond.



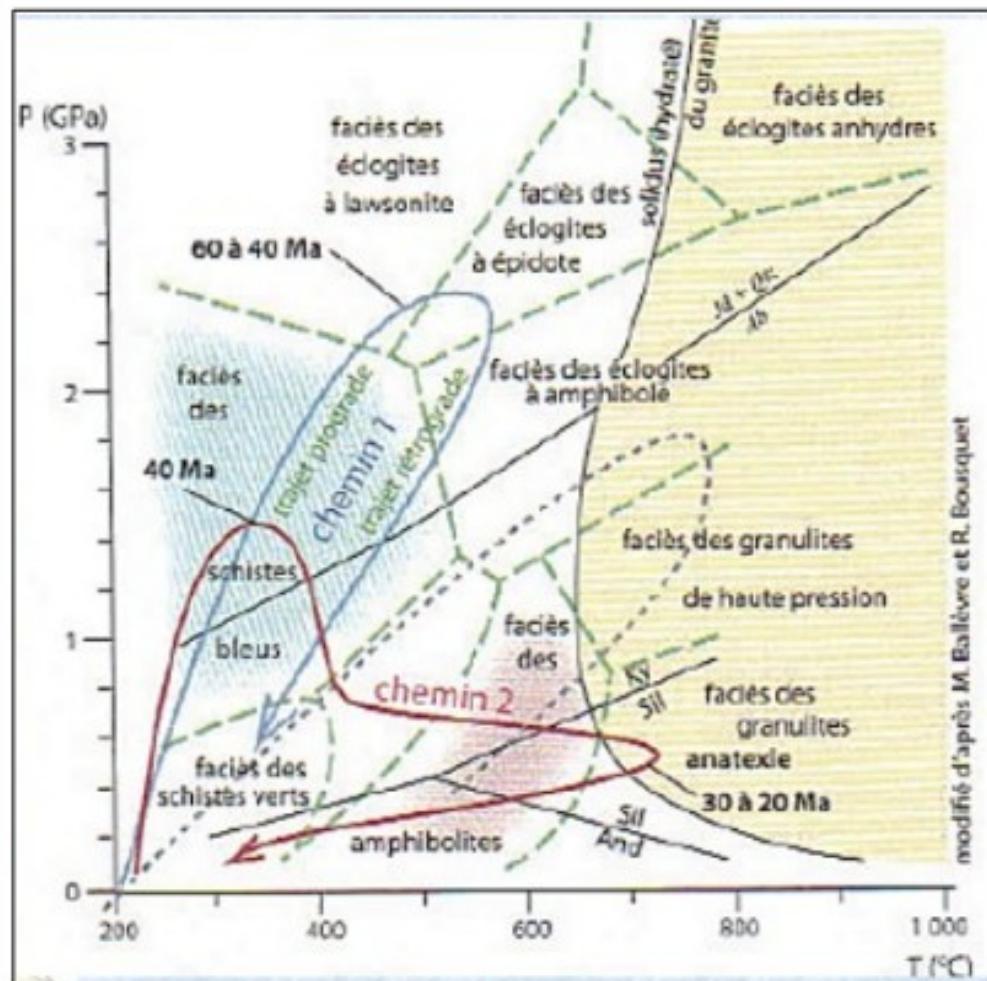
Document 6 : carte métamorphique des Alpes

En conclusion :

Dans les Alpes centrales, on trouve des affleurements où le socle européen et sa couverture d'âge triasique sont plissés et métamorphisés dans le **faciès des Amphibolites et des Granulites** témoignant d'un métamorphisme de **gradient MT MP** dans un contexte de collision.

En liaison avec les observations réalisées au TP2, les âges des métamorphismes prograde et rétrograde permettent ainsi de reconstituer **deux chemins PT suivi par les roches en fonction de leur localisation.**

Document 7 : reconstitution des chemins PT suivi par les roches alpines en fonction de leur localisation



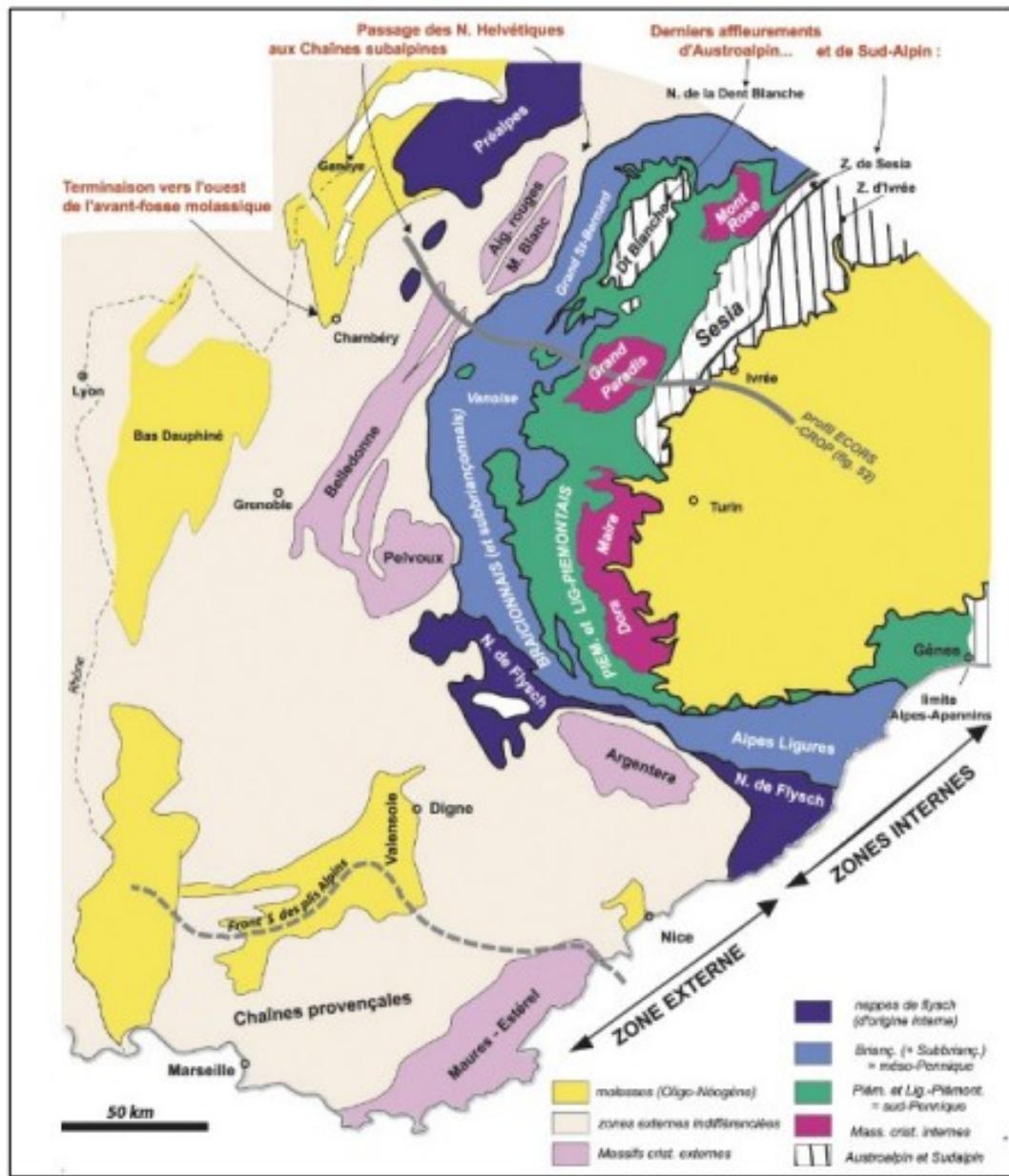
3. étude des dépôts des bassins flexuraux

3.1 les bassins molassiques

Activité 7 :

→ Sur la carte d'Annecy au 1/50 000 et sur la carte de France au 1/1 000 000, observer la disposition et la nature et l'âge des dépôts sédimentaires au niveau des bassins péri-alpins.

Document 8 : délimitation des bassins molassiques péri-alpins.



En conclusion :

Les Alpes sont entourées à l'Est et à l'Ouest de terrains sédimentaires datant principalement du Miocène (c'est-à-dire post-alpin), remplis de molasses qui constituent les bassins molassiques ou bassin d'avant-pays.

Les molasses sont des **formations sédimentaires épaisses, surtout gréseuses, à sédimentation aléatoire**, sans rythme ni classements, en bancs souvent épais, composée pour partie de couches turbiditiques mais aussi de couches terrigènes non turbiditiques (grès, conglomérats), elles reposent en discordance sur les terrains sous-jacents et témoignent de la destruction rapide de reliefs continentaux

Un bassin molassique n'existe que s'il est nourri par un épaississement, un relief, dont la dégradation permet une sédimentation détritique terrigène. **Les plus anciennes molasses** déposées au fond du bassin flexural péri-alpin sont d'âge **Oligocène** (34Ma), elles permettent de dater le début de l'existence du relief alpin et l'on peut donc dire que le **relief alpin existait dès l'Oligocène**.

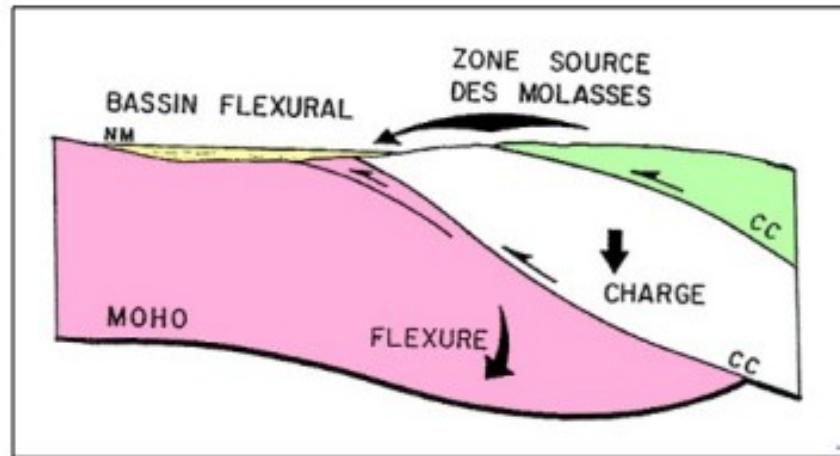
Photographie de molasses



La zone de dépôt des molasses témoigne d'une flexure de la lithosphère associée au raccourcissement, en effet, les molasses se déposent dans une dépression topographique.

Une convergence à l'échelle de la lithosphère se traduit par l'enfouissement d'une portion de lithosphère sous une autre, on parle de sous - charriage. Cela impose à la portion de lithosphère enfouie de se déformer , elle fléchit ou se flexure.

Ces bassins flexuraux témoignent donc également d'un raccourcissement



Document 9 : formation d'un bassin flexural d'avant chaîne

3.2 les flyschs témoignent de l'incorporation des bassins molassiques

Les flyschs sont des **séries détritiques formant des bancs de turbidites**, c'est à dire des bancs superposés montrant des **alternances de bancs gréseux** (quelques cm ou dm) formés lors d'une avalanche de sédiments marins et de **bancs argileux** déposés entre deux avalanches.

Dans le cas des flyschs alpins, ce sont des **sédiments de fosse de subduction** qui forment le prisme d'accrétion. Les plus vieux flysch alpin témoigneront donc du début de la subduction.

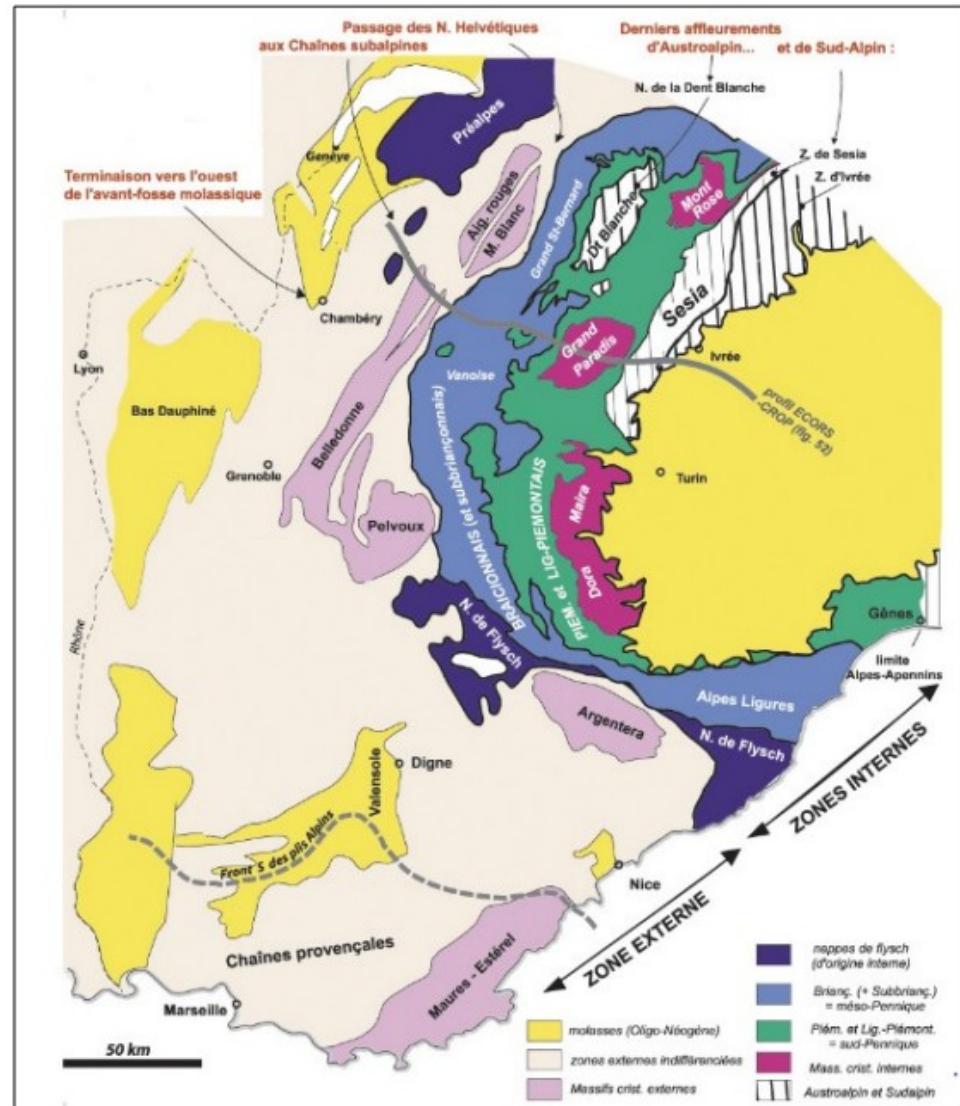


Photographie :

Aspect typique d'un flysch "standard" : Flysch nummulitique autochtone
Vallée inférieure de l'Ubaye en aval du Lauzet

Activité 8 :

→ Sur la carte d'Annecy au 1/50 000 et sur la carte de France au 1/1 000 000, observer la disposition et l'âge des flysch.





Photographie : la base de la succession du flysch nummulitique du vallon des Foges, à l'est du lac de Gers. Chaque banc de grès s'est formé par décantation d'une turbidite.

En conclusion :

Les plus vieux flyschs alpins sont représentés par la nappes des flyschs à *Helminthoides* d'âge Crétacé, la subduction océanique existait donc au Crétacé (- 70 Ma).

Cependant l'âge des flyschs évolue depuis :

- le Crétacé supérieur (-80 à -65 Ma) pour le flysch à *Helminthoides* ligure déposé dans une fosse de subduction au pied de la marge apulienne ;
- l'Éocène (-53 à -35 Ma) dans le Piémontais ;
- l'Éocène supérieur (-35 Ma) dans le Briançonnais ;
- jusqu'à l'Oligocène (-34 à -23 Ma) dans le Dauphinois.

Ces âges des flyschs, de plus en plus jeunes, traduisent une **migration d'Est en Ouest** au cours du temps, **de la dépression / fosse de subduction au front de la chaîne et de l'incorporation des premiers bassins molassiques décalant vers l'Ouest le bassin flexural en activité, tandis que le bassin flexural fossile est incorporé à la fosse de subduction, à l'Est.**

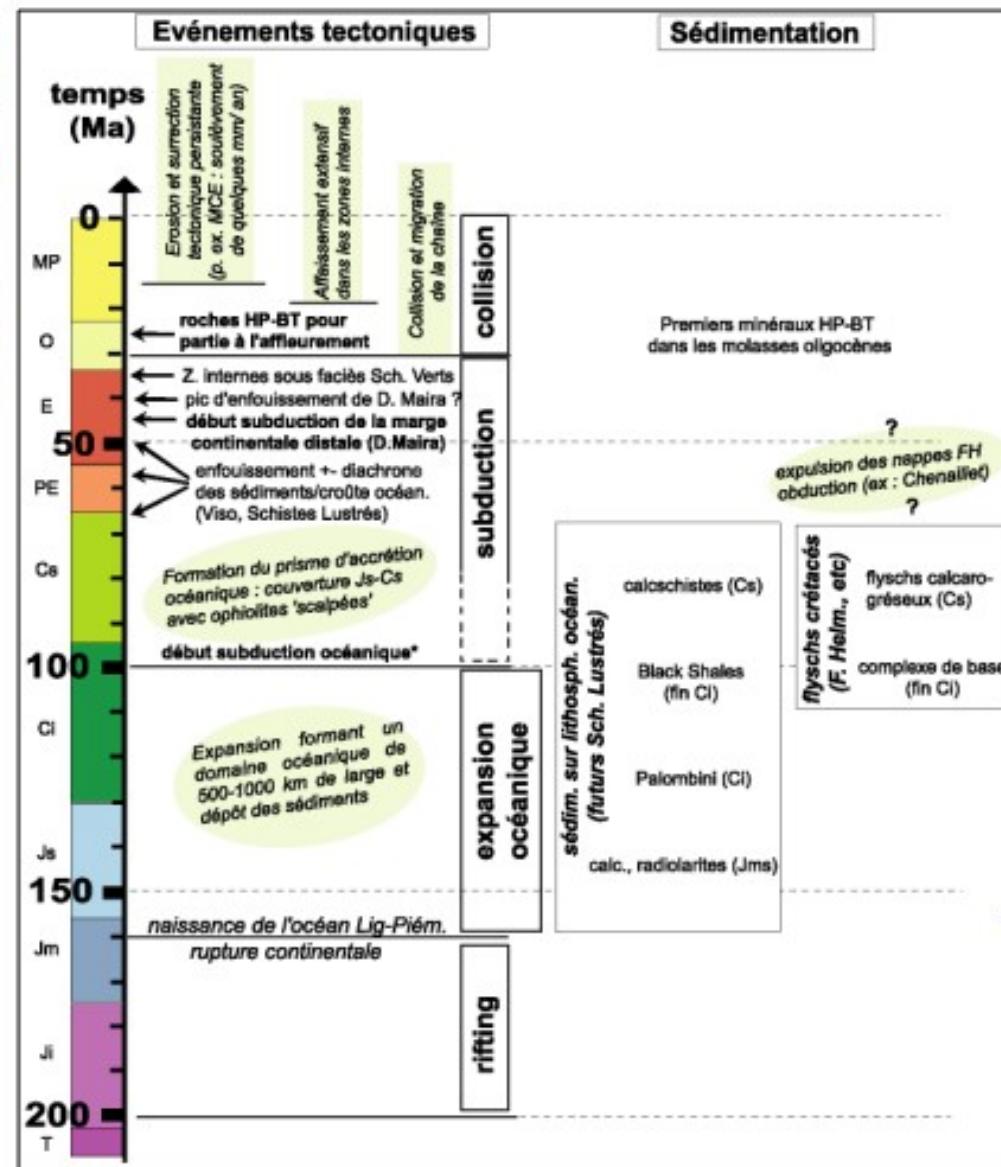


Plaque calcaire garnie d'empreintes d'*Helminthoides*. Flysch à *Helminthoides* de la rive gauche de la Haute Ubaye, sur la crête, entre la Tête de Cuguret et la Tête de Siguret (longueur de la plaque : environ 35 cm).

V. Reconstitution globale de l'histoire,

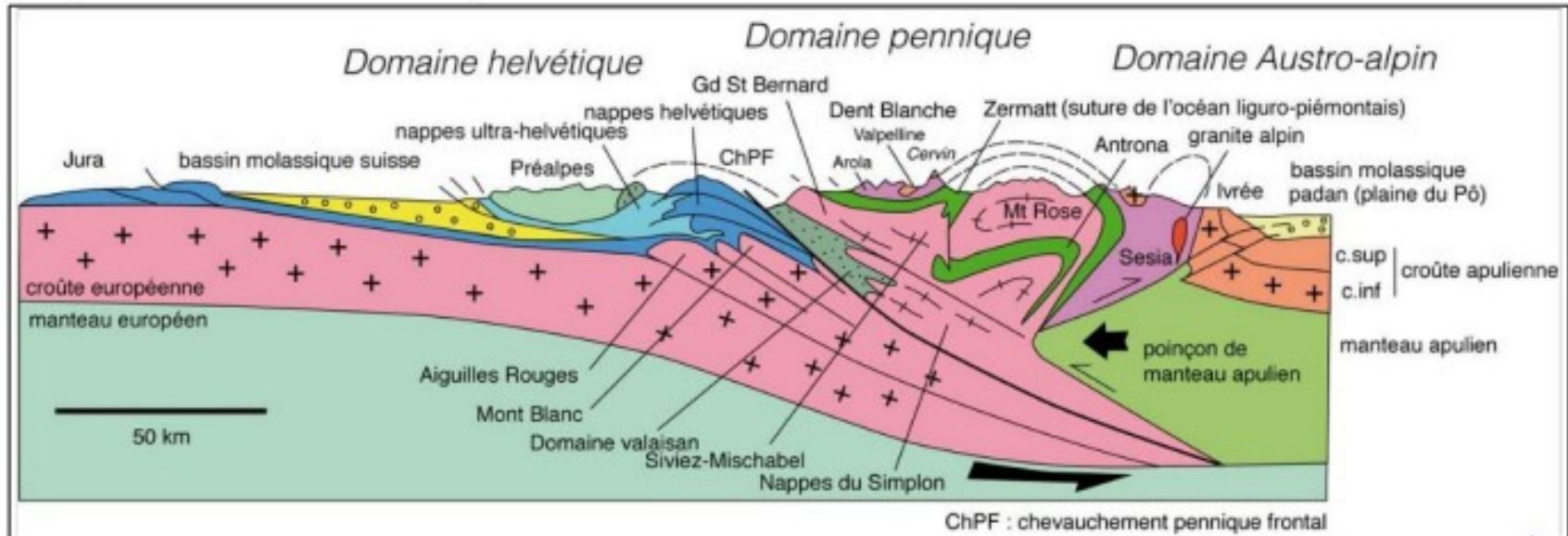
1. les Alpes vu comme un prisme orogénique

L'ensemble des données permet de construire un modèle cohérent avec un **rifting** débutant au **Trias** avec une **océanisation** au Jurassique et au Crétacé inférieur. Une **subduction** se met en place au Crétacé, entraînant à la fin de l'éocène l'**Éocène** et au **début de l'Oligocène**, une **collision** entre les plaques lithosphériques à l'origine des Alpes.



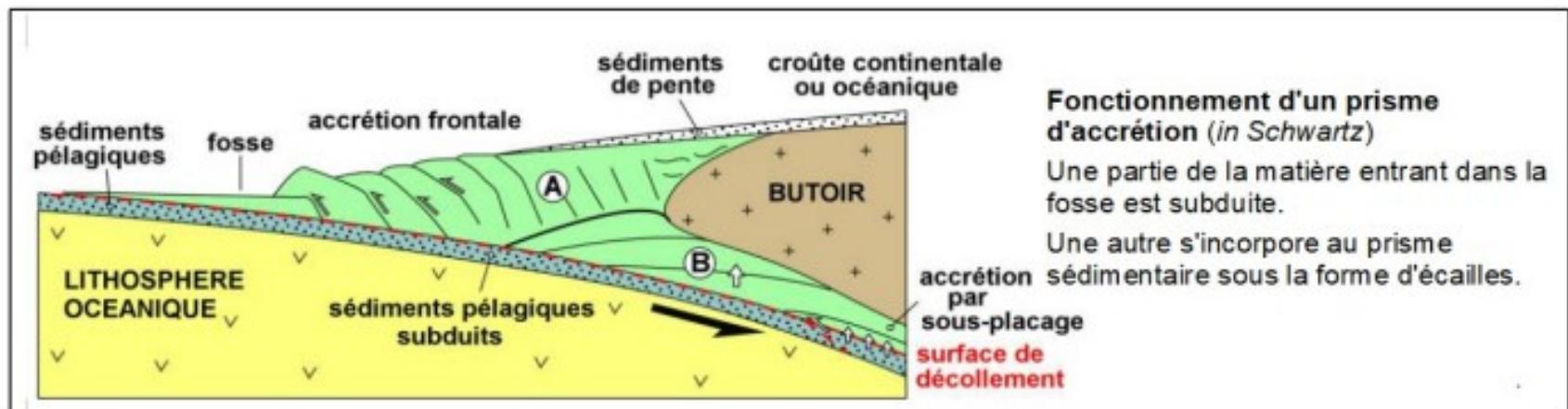
Document 10 : reconstitution de l'histoire des Alpes le long de l'échelle stratigraphique

On peut cependant remarquer que **les différentes zones alpines se chevauchent**, les zones les plus externes passant sous les zones les plus internes au fur est à mesure.

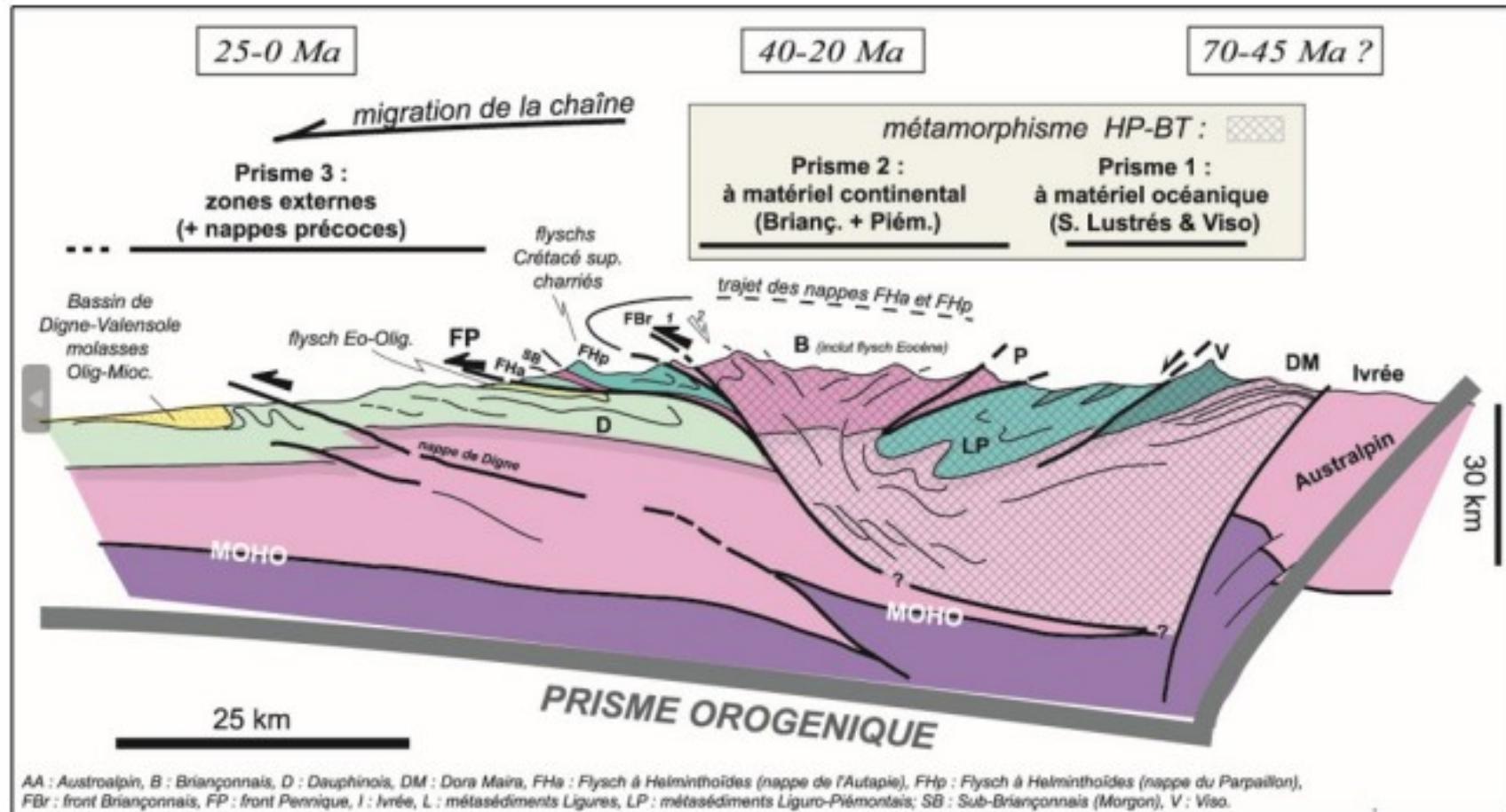


Document 11 : disposition géométrique des régions en écailles, Lagabrielle

Cette disposition est identique à celle d'un prisme d'accrétion lors d'une subduction.



Les Alpes peuvent donc être vues non pas comme une chaîne de collision mais **comme une succession de prismes formés par** une subduction océanique puis une subduction continentale, on parle alors de subductions diachrones, l'ensemble constituant un **prisme orogénique**.



Document 13 : le prisme orogénique alpin, Agard et Lemoine

Les étapes successives de la formation de ce prisme orogénique étant :

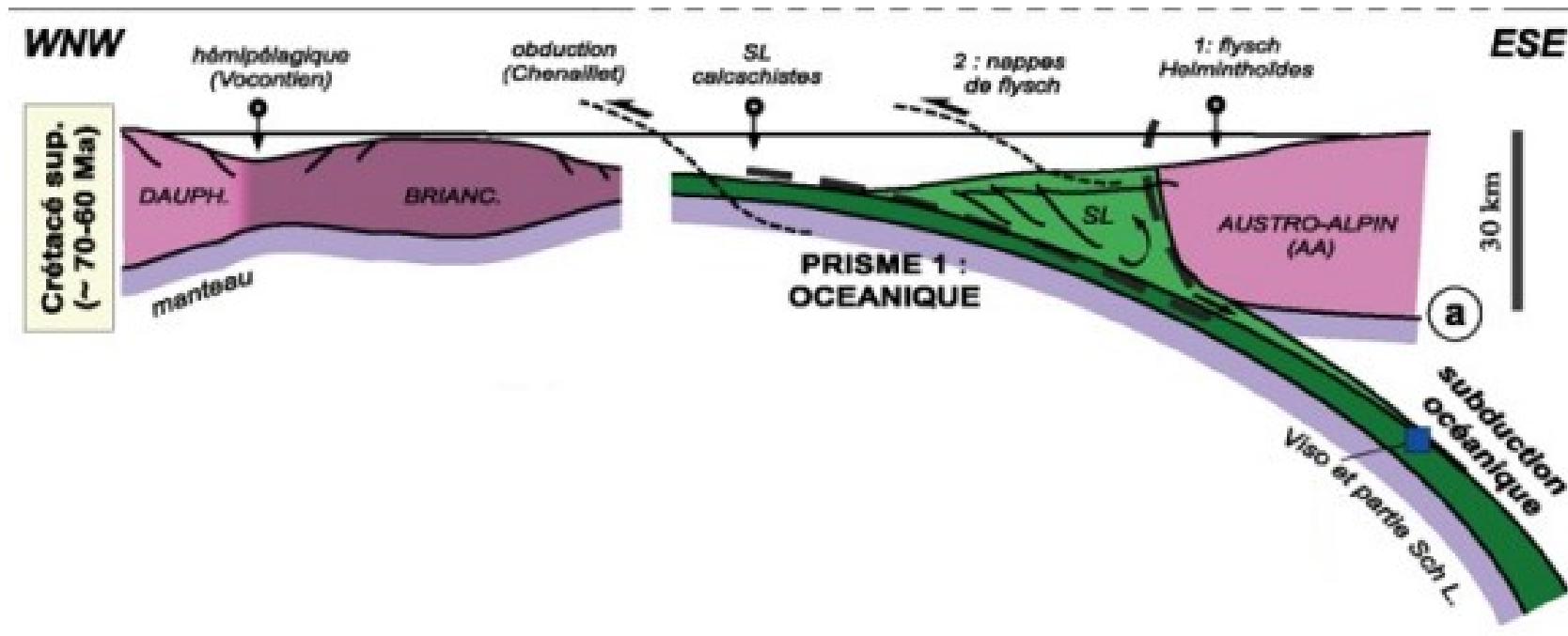
1) Subduction océanique et prisme d'accrétion sédimentaire au Crétacé

Au Crétacé supérieur-Paléocène (-70 à -60 Ma), la croûte océanique entre dans la zone de subduction et subit un métamorphisme de subduction, de faciès Schistes bleus à faciès Éclogite à l'origine des **ophiolites**

Au niveau de la fosse de **subduction océanique**, deux évènements concernent la couverture :

- une partie des flyschs à Helminthoïdes passe sur la plaque chevauchante et repose en discordance ;
- le reste des flyschs entrent dans la zone de subduction et subit un métamorphisme de subduction, de faciès Schistes bleus à faciès Éclogite, à l'origine des **schistes Lustrés**

Bilan : subduction océanique au Crétacé sup et formation du prisme 1 à l'origine de l'écaille N°1

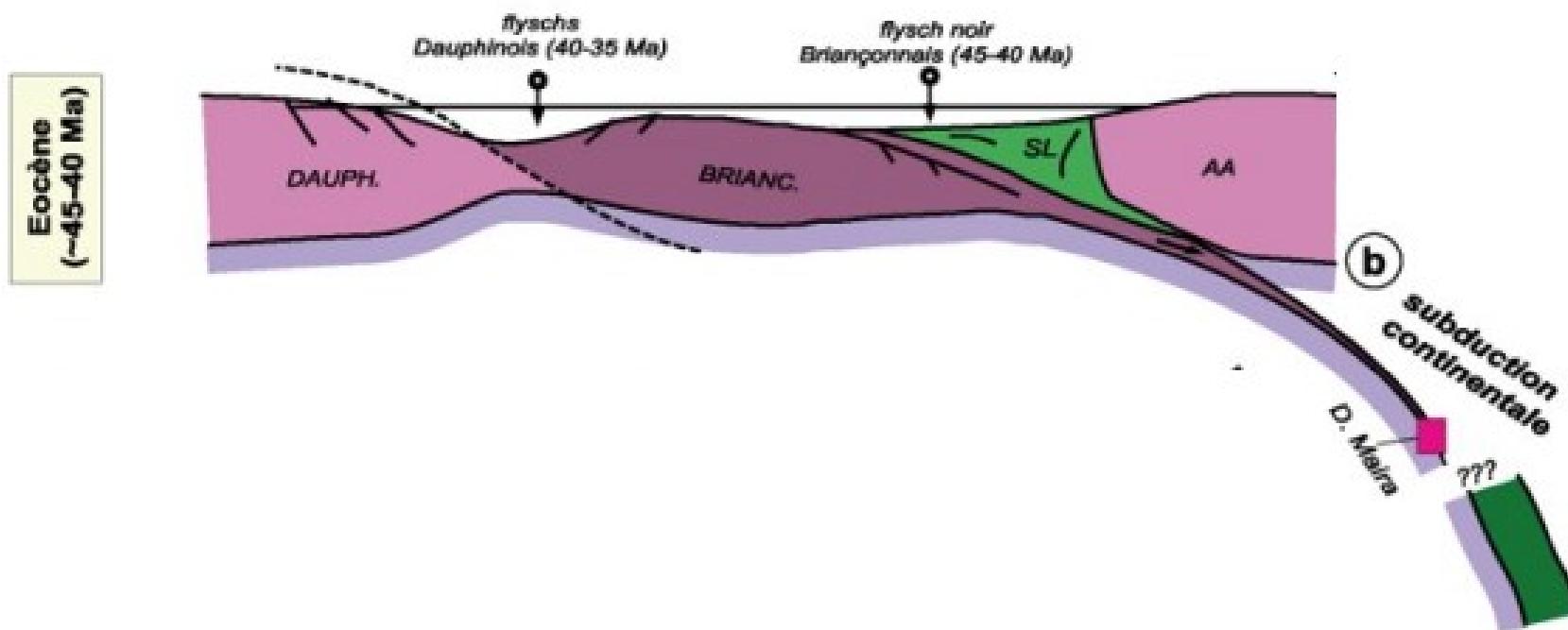


2) Subduction continentale à l'Éocène

Vers -45 Ma, la subduction océanique se termine et la **marge continentale amincie** du Briançonnais entre à son tour en subduction : c'est la **subduction continentale**.

Une partie des unités de Dora Maira, est entraînée à plus de 100 km de profondeur comme en témoignent les quartzites métamorphisées contenant des inclusions de coésite.

Bilan : subduction continentale à l'Éocène et formation du prisme 2 à l'origine de l'échelle N°2



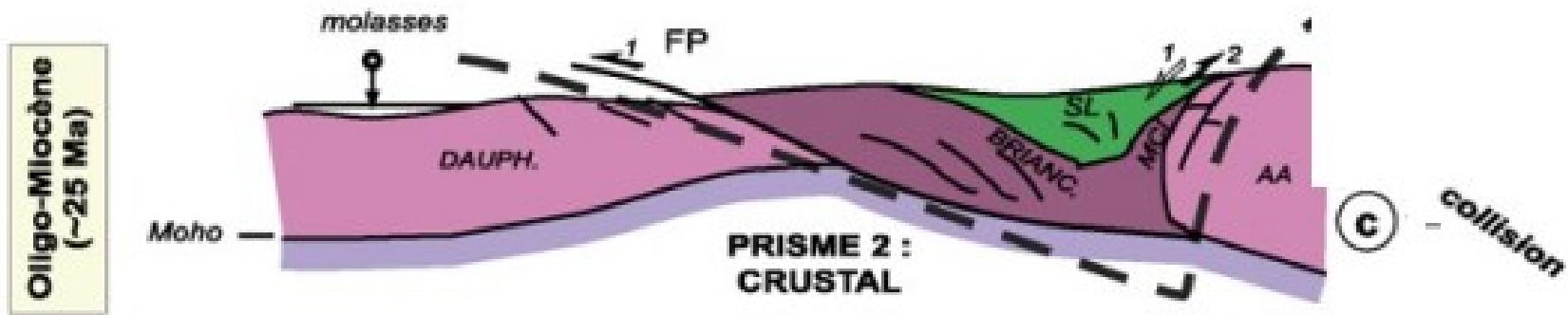
3) Collision et prisme d'accrétion crustal à l'Oligocène

Vers -25 Ma, on passe d'un contexte de subduction à un contexte de **collision proprement dite**

Certaines failles, présentes au niveau de la paléo-marge passive sont réactivées : elles sont le lieu de mouvements inverses. Le **Front pennique** se met en place : c'est une limite majeure entre 2 écailles.

Ainsi, **la croûte continentale supérieure entre dans la fosse de subduction** et se dispose sous les écailles préexistantes.

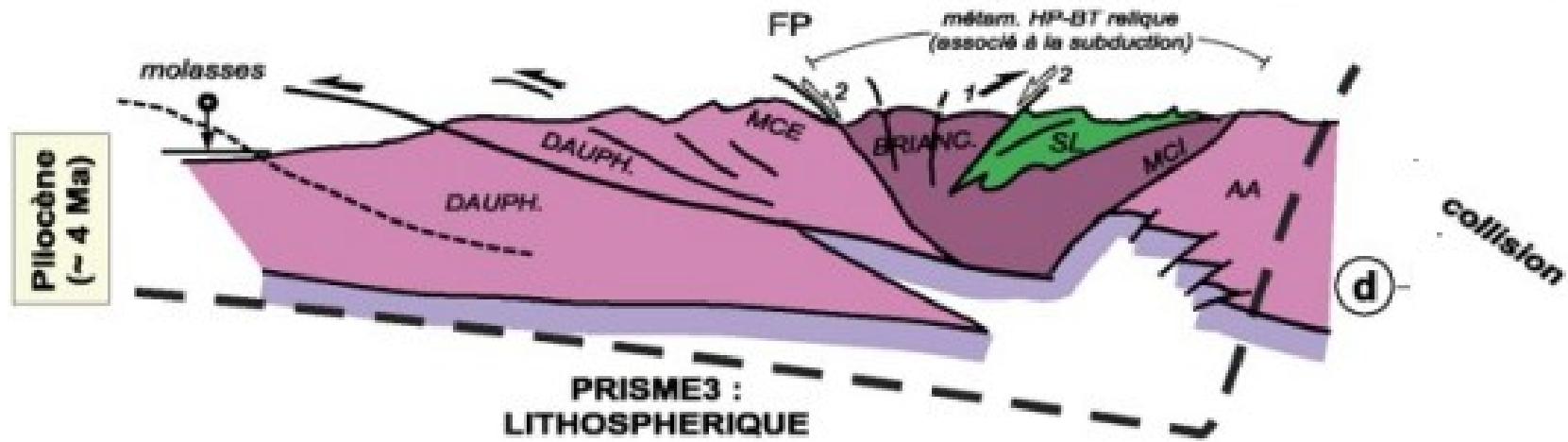
Bilan : collision à l'Oligocène et formation du prisme 3 à l'origine de l'écaille N°3



4) La collision se poursuit au Pliocène

Les chevauchements se manifestent dans la zone dauphinoise et le Jura. A l'est, la marge apulienne chevauche la zone liguropiémontaise comme en témoigne la nappe de la Dent Blanche.

Bilan : Le prisme orogénique a atteint une échelle lithosphérique.



2. Aujourd'hui, le paysage alpin est modelé par les glaciations du Quaternaire (cf 1e année)

Le principal facteur d'érosion de la chaîne alpine est la succession d'une **trentaine de cycles glaciaire/interglaciaire depuis environ -2,5 Ma.**

Au cours d'un épisode glaciaire, des calottes glaciaires recouvrent la chaîne alpine et creusent des **vallées en U**. La successions de ces glaciations a creusé certaines vallées sur plus de 1000 m d'épaisseur.

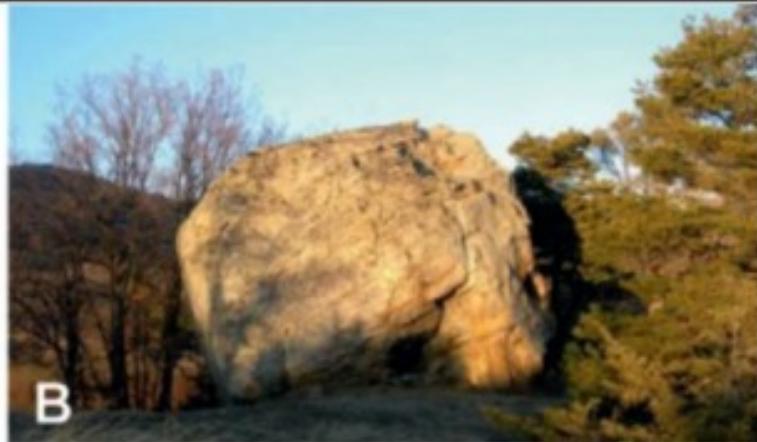
Les sédiments issus de l'érosion glaciaire sont les **moraines** et le glacier peut également transporter des **blocs erratiques**. Les granitoïdes et les orthogneiss étant plus résistants à l'érosion que les roches sédimentaires, cela explique qu'ils forment actuellement la plupart des reliefs les plus acérés au niveau des Massifs cristallins.

Vallée en U

les glaciations ont creusé la vallée sur 1000 m d'épaisseur



Limite supérieure de l'érosion glaciaire durant le Quaternaire



- A. Les vallées sont creusées profondément (vallée depuis le col du Grimsel). B. De nombreux matériaux sont transportés, dont ce bloc erratique près de Gap. C. Le passage du glacier laisse des stries glaciaires indiquant sa direction (et parfois son sens) de propagation (lac Bramans, Savoie).

Document 14 : les glaciations du Quaternaires modèlent le relief alpin