

## **ETUDE D'UNE CHAÎNE DE MONTAGNES RÉCENTE, LES ALPES**

### **COURS / TP**

#### **I. Les marqueurs d'une orogénèse récente → TP1**

1. Etude du cadre structural : un découpage selon la lithologie et les accidents tectoniques
2. Les données géophysiques montrent un épaissement crustal lié à une frontière convergente de plaques

#### **II. Les marqueurs d'un domaine océanique disparu et de ses marges → TP2**

1. Les vestiges d'une marge passive et d'une mer épicontinentale : paléogéographie de la zone Dauphinoise et de la zone Briançonnaise
2. Les vestiges d'un ancien domaine océanique : paléogéographie de la zone Liguro-piémontaise

#### **III. Les marqueurs d'une subduction océanique puis continentale → TP2**

1. Les marqueurs de la subduction océanique
2. Les marqueurs de la subduction continentale : étude de la zone de la Sesia et la Doria Maira

#### **IV Les marqueurs de la collision et l'érosion de la chaîne → TP3**

1. Etude des déformations et datation de la collision
2. Les marqueurs d'un métamorphisme MP\_MT
3. Etude des dépôts des bassins flexuraux

#### **V. Reconstitution globale de l'histoire des Alpes → TP3**

1. les Alpes vu comme un prisme orogénique
2. Aujourd'hui, le paysage alpin est modelé par les glaciations du Quaternaire

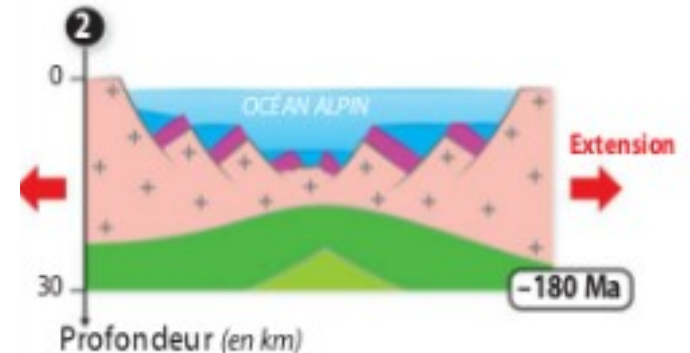
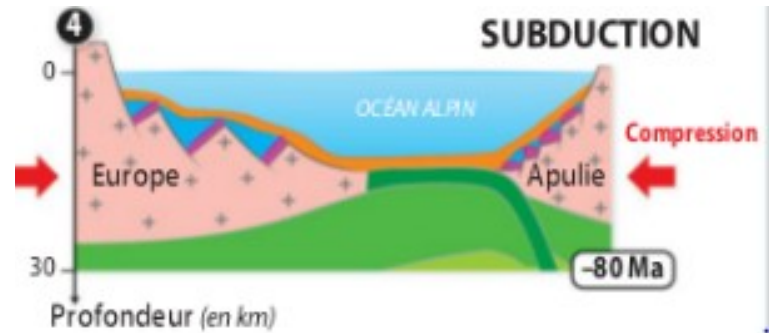
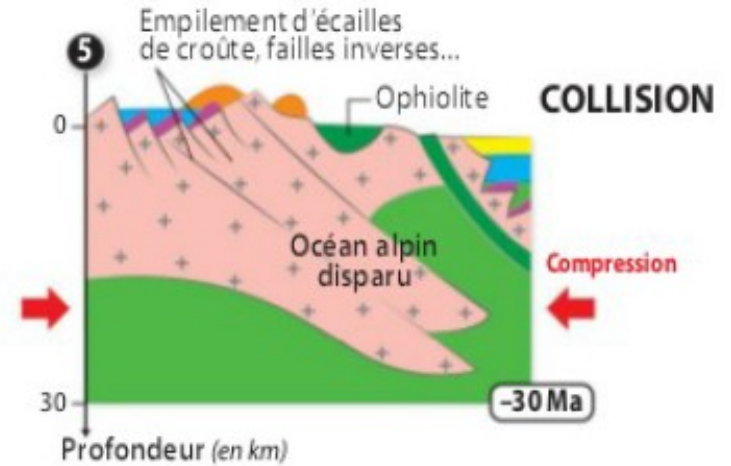
### Mise en contexte :

Les chaînes de montagnes récentes sont des reliefs positifs qui témoignent de mouvements de convergences à la frontière de certaines plaques lithosphériques.

L'épaississement de la croûte résulte d'un raccourcissement et d'un empilement des matériaux lithosphériques, attestés par un ensemble de structures tectoniques déformant les roches : plis, failles, chevauchements, nappes de charriage.

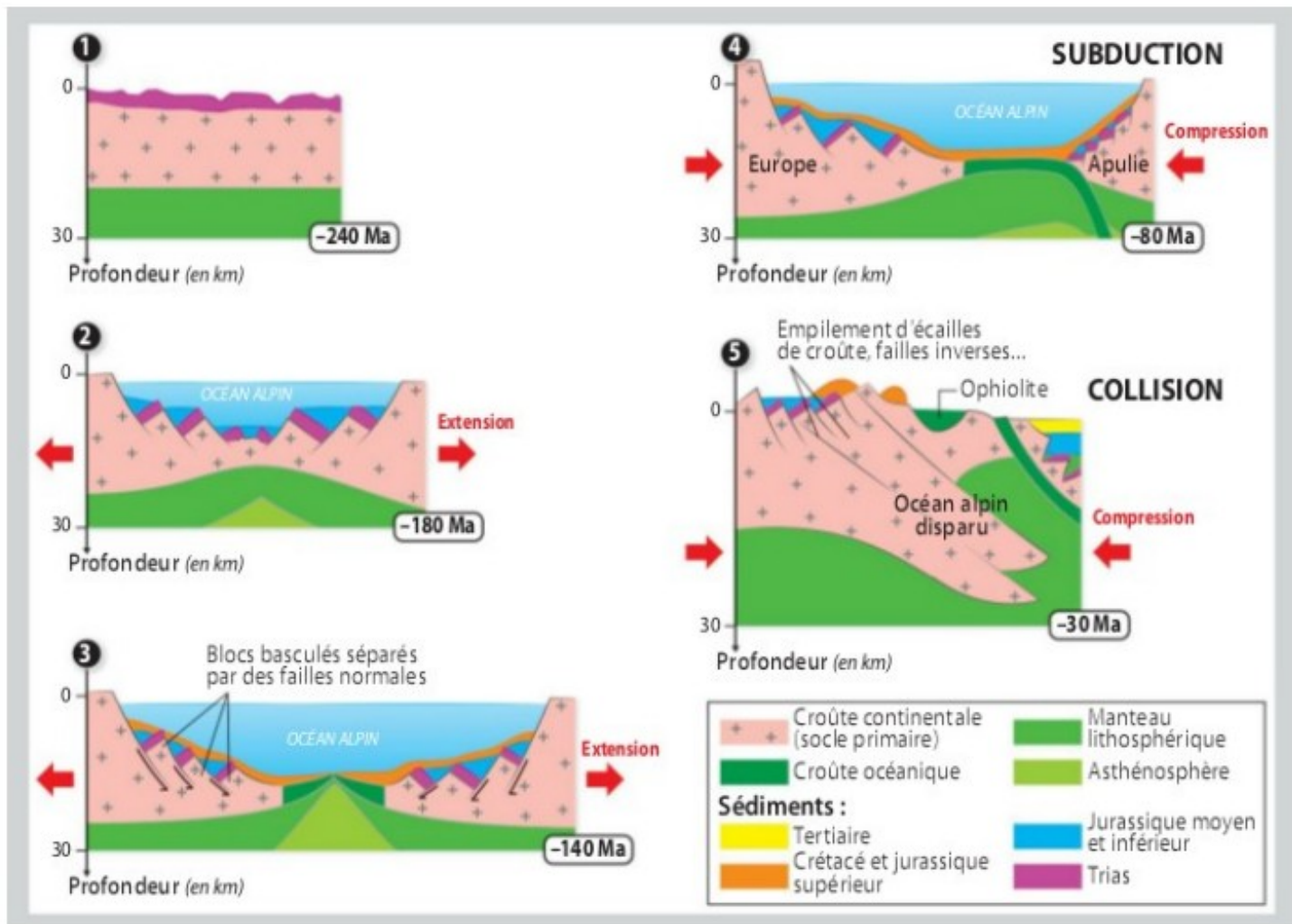
La présence de complexes ophiolitiques formant des sutures au sein des chaînes de montagnes, témoigne de la fermeture de domaines océaniques, suivie de la collision de blocs continentaux par convergence de plaques lithosphériques.

Les vestiges de marges passives témoignent de la fragmentation initiale d'une lithosphère continentale, précédant l'accrétion océanique dont les stades initiaux correspondent à des rifts continentaux.



Les Alpes franco-italo-suissees forment une chaîne de montagnes qui constitue un modèle pour la compréhension des orogénèses.

L'objectif ici est d'apprendre à identifier des indices tectoniques, géophysiques et pétrologiques à partir d'observations d'échantillons et de carte géologiques aux différentes échelles afin de reconstituer une partie de l'histoire d'une chaîne de montagnes.



Document 1 : les grandes étapes de l'histoire de l'orogénèse alpine

## Cours / TP I : Les Alpes , les marqueurs d'une orogénèse récente

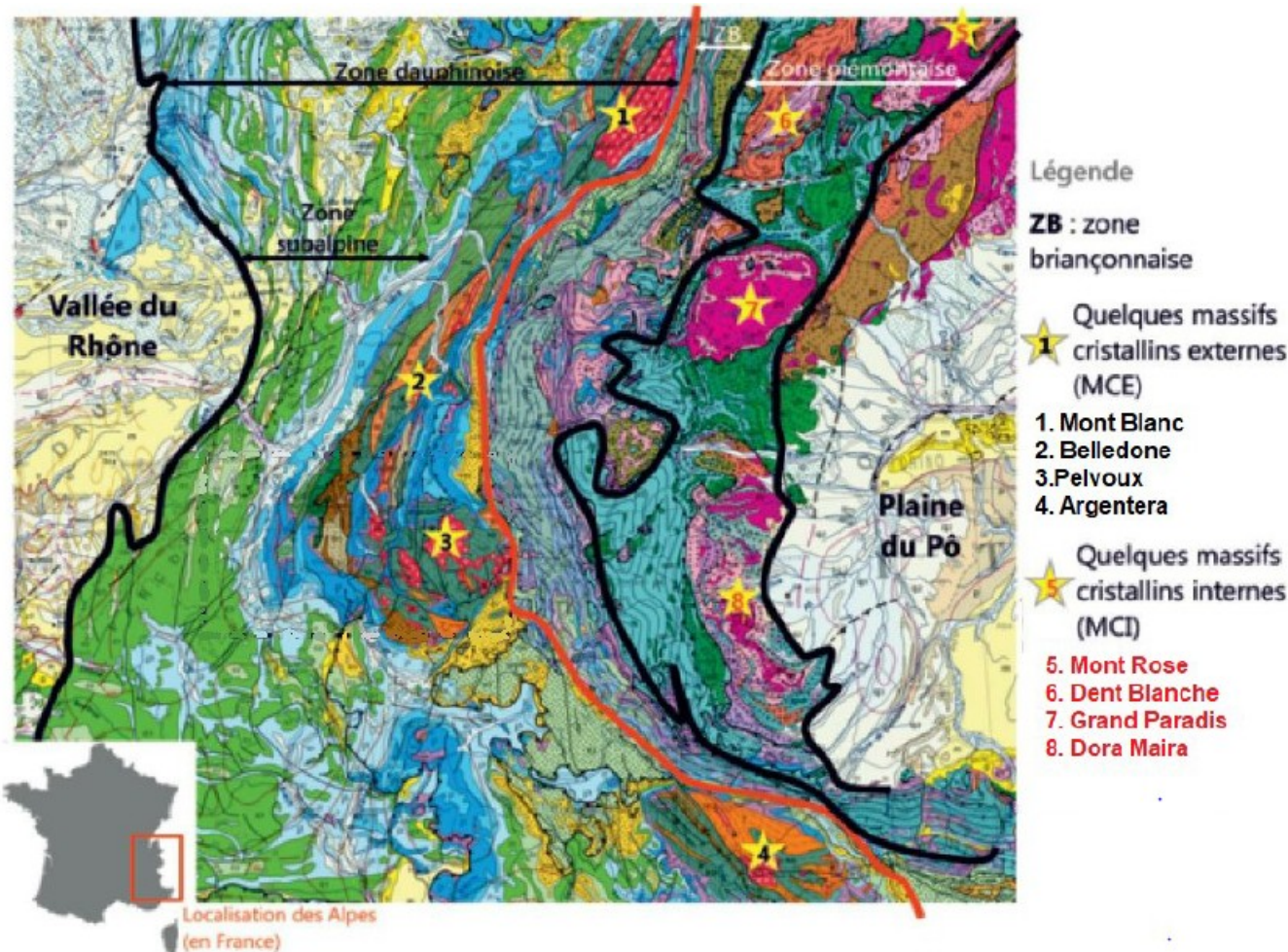
Les Alpes constituent une chaîne récente de montagnes, présentant **plusieurs sommets d'altitudes supérieures à 4000m** (Mont Blanc, Mont Rose, Cervin ....)





## 1. Etude du cadre structural, un marquage selon la lithologie et les accidents tectoniques

L'observation de la carte de France montre 3 grands ensembles lithologiques dans les Alpes :



Document 2 : les trois grands ensembles lithologiques des Alpes

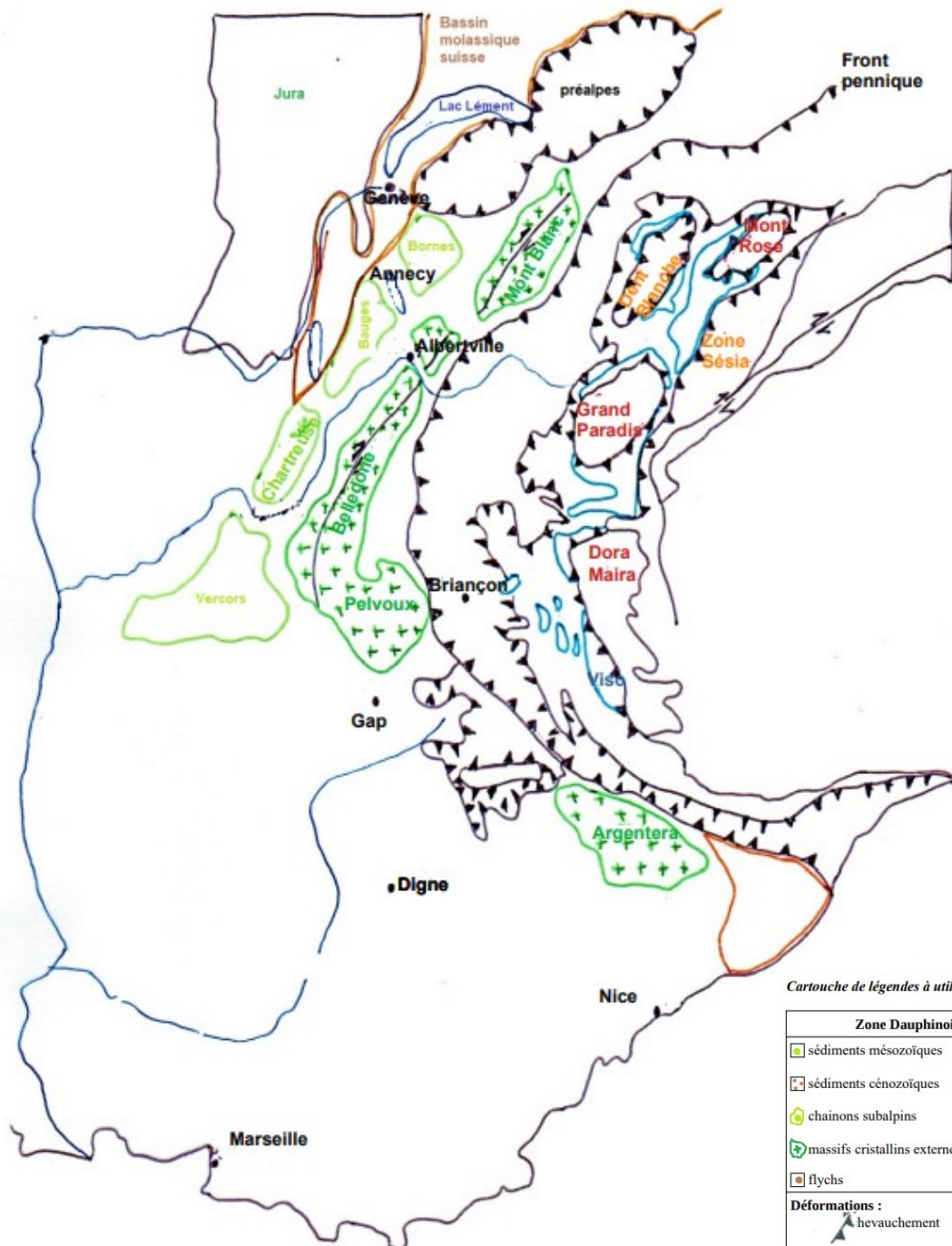
### Activité 1

→ À partir de la carte géologique de la France au 1/1 000 000 et en vous aidant d'un calque, réalisez un premier schéma structural faisant ressortir les trois grands ensembles lithologiques.

1) Délimitez les 3 secteurs à partir des grandes limites tectoniques visibles sur la carte.

2) Dans chaque secteur, distinguez les roches correspondant à des massifs cristallins et les roches sédimentaires.

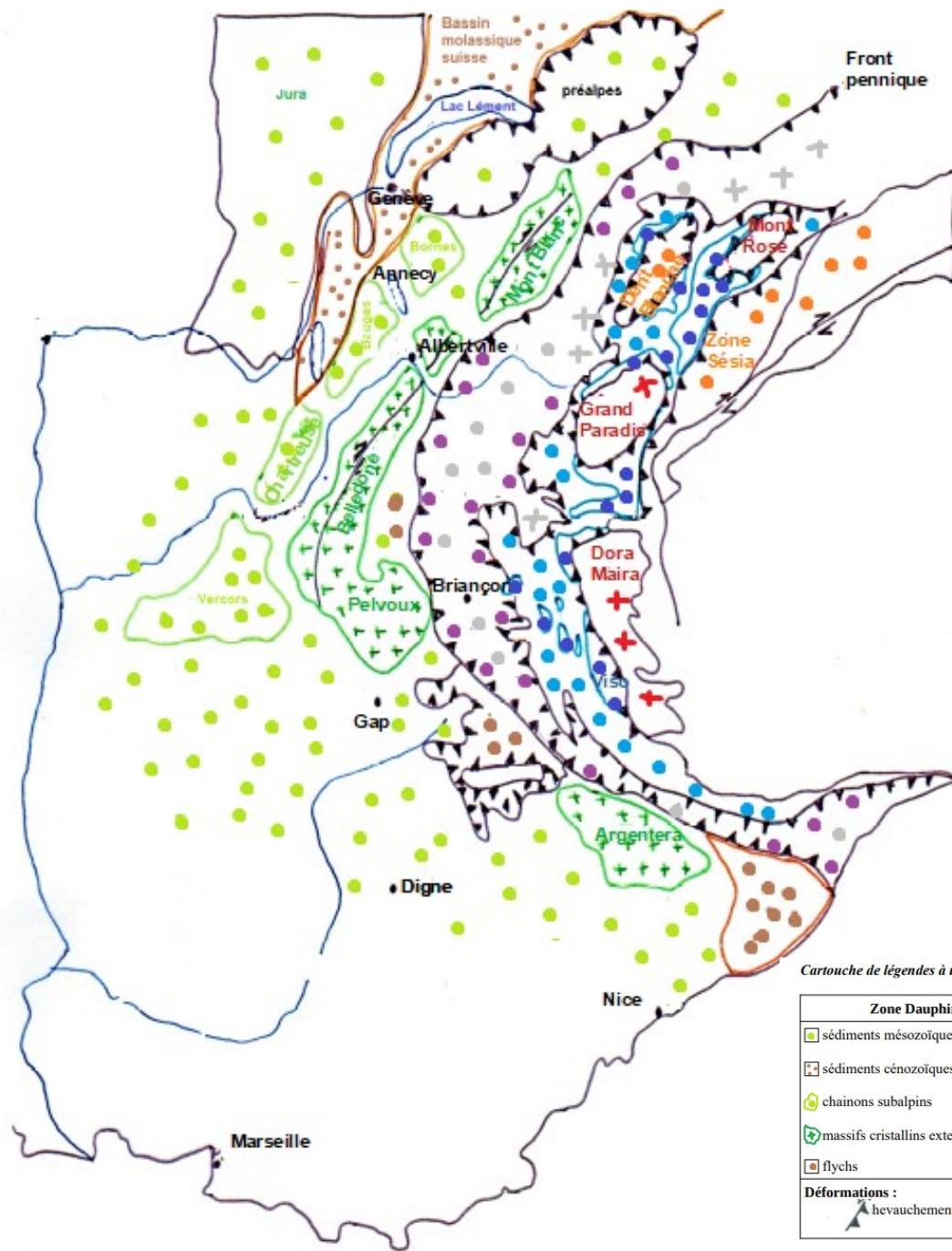
3) Distinguez dans chaque zone parmi les roches sédimentaires, les roches datant du Mésozoïque et celles datant du Cénozoïque.



Cartouche de légendes à utiliser pour le schéma structural :

| Zone Dauphinoise   | Zone Briançonnaise  | Zone Liguor Piémontaise  | Zone Austro Alpine  |
|--|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>sédiments mésozoïques</li> <li>sédiments cénozoïques</li> <li>chainons subalpins</li> <li>massifs cristallins externes</li> <li>flychs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>socle sédimentaire paléozoïque peu métamorphisé</li> <li>carbonifère</li> <li>trias dont gypse (couche savon)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>massifs cristallins internes (socle métamorphisé HP BT)</li> <li>ophiolites (métamorphisme HP-BT)</li> <li>schistes lustrés (sédiments océaniques métamorphisés)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>socle sédimentaire apulien métamorphisé</li> </ul> |
| <b>Déformations :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>hevauchement</li> <li>décrochement</li> <li>faille</li> </ul>   |   |  |   |



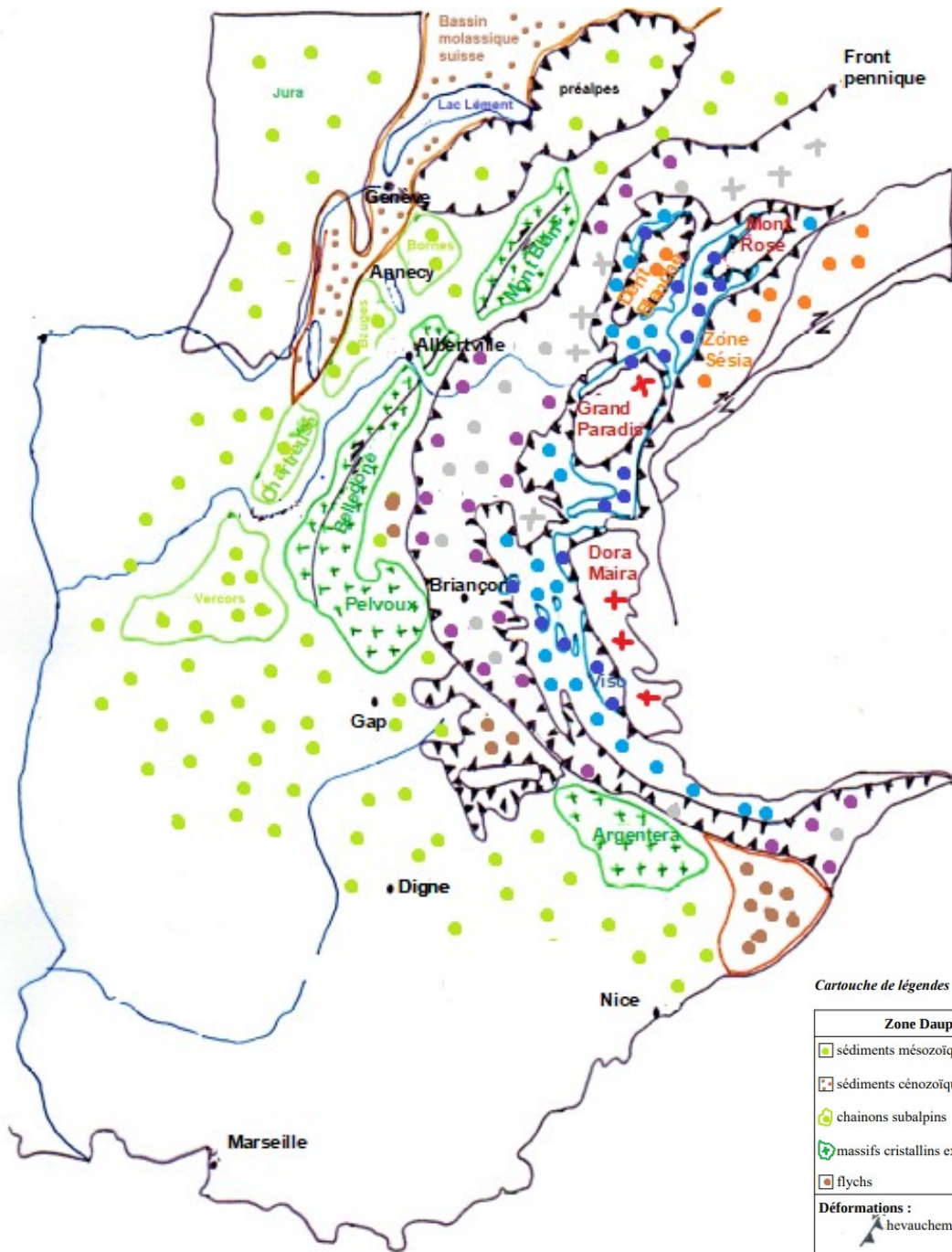


**La zone dauphinoise** : située à l'ouest, elle est caractérisée par des **terrains sédimentaires mésozoïques** déformés ainsi que de la **sédimentation tertiaire dans les bassins molassiques**

Plus à l'Est, des **montagnes** comme Belledonne ou le Mont Blanc sont constituées de **roches cristallines paléozoïques**, formés initialement lors de l'**orogénèse hercynienne** : ce sont les **massifs cristallins externes**

Cartouche de légendes à utiliser pour le schéma structural :

| Zone Dauphinoise   | Zone Briançonnaise  | Zone Liguro Piémontaise  | Zone Austro Alpine  |
|--|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>sédiments mésozoïques</li> <li>sédiments cénozoïques</li> <li>chainons subalpins</li> <li>massifs cristallins externes</li> <li>flychs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>socle sédimentaire paléozoïque peu métamorphisé</li> <li>carbonifère</li> <li>trias dont gypse (couche savon)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>massifs cristallins internes (socle métamorphisé HP BT)</li> <li>ophiolites (métamorphisme HP-BT)</li> <li>schistes lustrés (sédiments océaniques métamorphisés)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>socle sédimentaire apulien métamorphisé</li> </ul> |
| <b>Déformations :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>hevauchement</li> <li>décrochement</li> <li>faille</li> </ul>   |   |  |   |



**La zone briançonnaise : la prédominance de terrains carbonifères reposant sur le socle protéo et paléozoïque et recouverts localement par des sédiments triasiques et jurassiques discontinus**

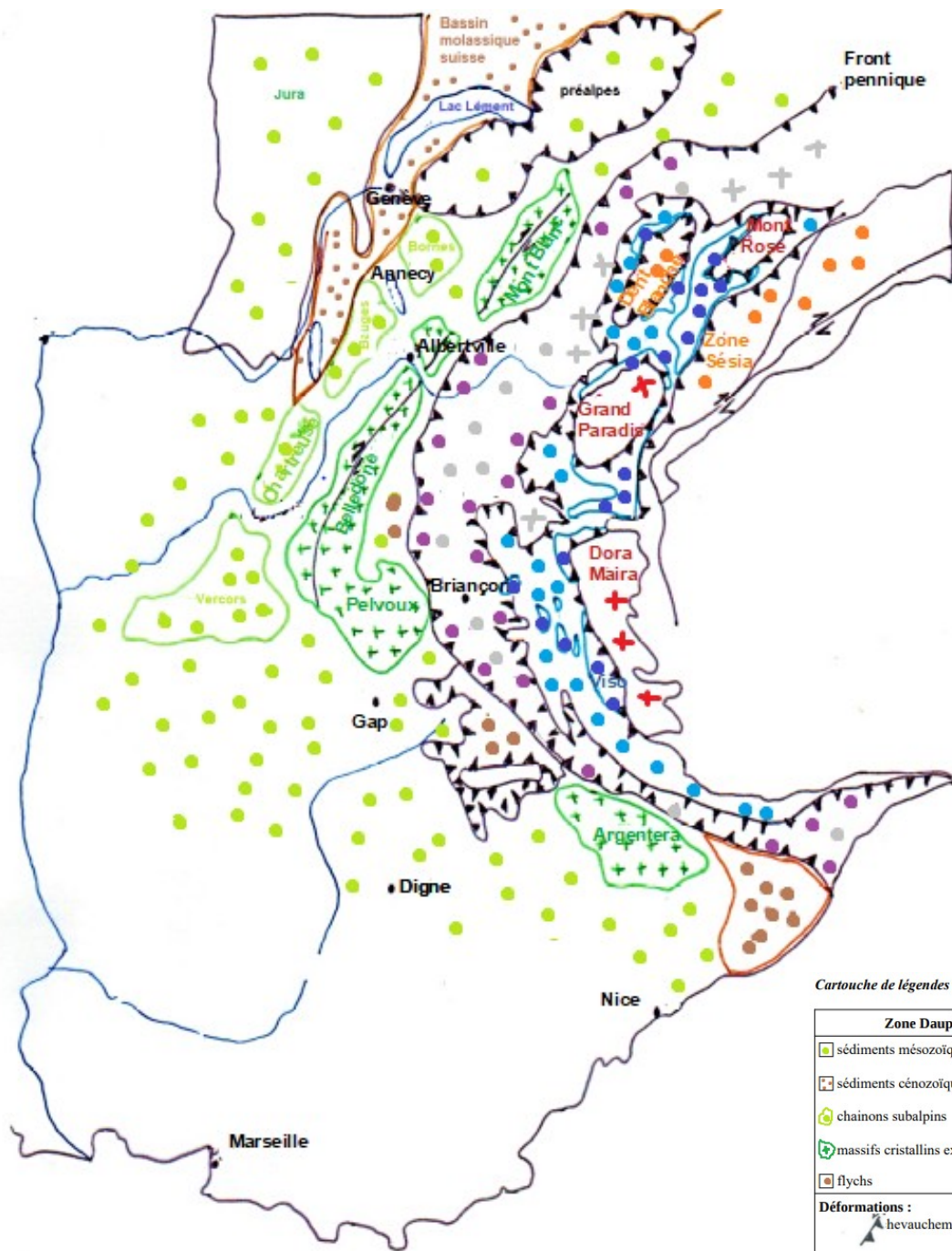
(nombreuses lacunes de sédimentation).

Ces roches sédimentaires sont métamorphisées dans le faciès schistes verts par endroit.

Cartouche de légendes à utiliser pour le schéma structural :

| Zone Dauphinoise   | Zone Briançonnaise  | Zone Ligure Piémontaise  | Zone Austro Alpine  |
|--|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>sédiments mésozoïques</li> <li>sédiments cénozoïques</li> <li>chainons subalpins</li> <li>massifs cristallins externes</li> <li>flychs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>socle sédimentaire paléozoïque peu métamorphisé</li> <li>carbonifère</li> <li>trias dont gypse (couche savon)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>massifs cristallins internes (socle métamorphisé HP BT)</li> <li>ophiolites (métamorphisme HP-BT)</li> <li>schistes lustrés (sédiments océaniques métamorphisés)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>socle sédimentaire apulien métamorphisé</li> </ul> |
| <b>Déformations :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>hevauchement</li> <li>décrochement</li> <li>faille</li> </ul>   |   |  |   |



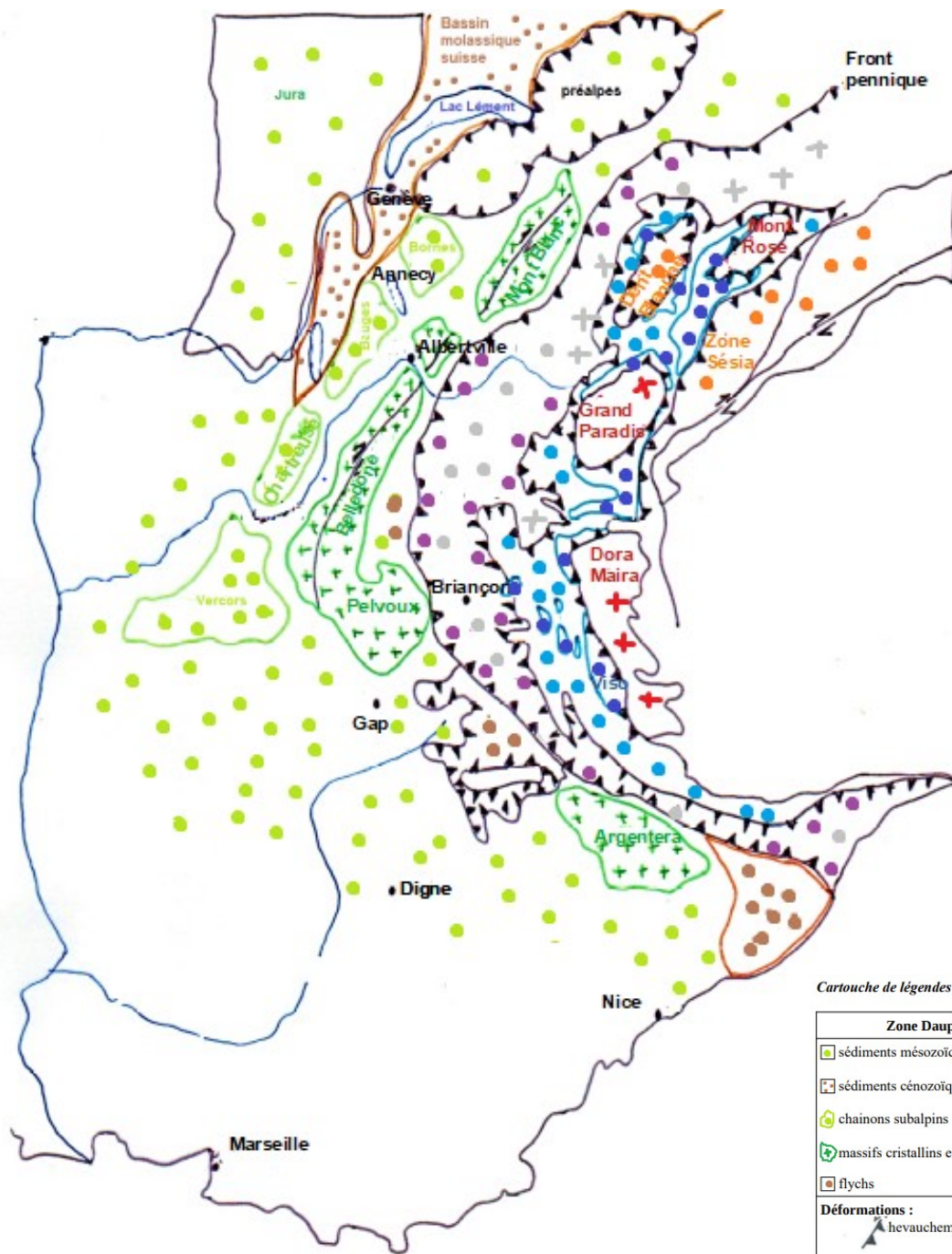


**La zone liguro-piémontaise : la couverture mésozoïque est métamorphisée dans le faciès schistes bleus et des ophiolites chevauchent les massifs cristallins internes paléozoïques.**

Certaines roches métamorphiques sont du faciès éclogites.

Cartouche de légendes à utiliser pour le schéma structural :

| Zone Dauphinoise   | Zone Briançonnaise   | Zone Liguro Piémontaise   | Zone Austro Alpine   |
|--|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>sédiments mésozoïques</li> <li>sédiments cénozoïques</li> <li>chainons subalpins</li> <li>massifs cristallins externes</li> <li>flychs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>sole sédimentaire paléozoïque peu métamorphisé</li> <li>carbonifère</li> <li>trias dont gypse (couche savon)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>massifs cristallins internes (sole métamorphisé HP BT)</li> <li>ophiolites (métamorphisme HP-BT)</li> <li>schistes lustrés (sédiments océaniques métamorphisés)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>sole sédimentaire apulien métamorphisé</li> </ul> |
| <b>Déformations :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>hevauchement</li> <li>décrochement</li> <li>faille</li> </ul>   |  |   |  |



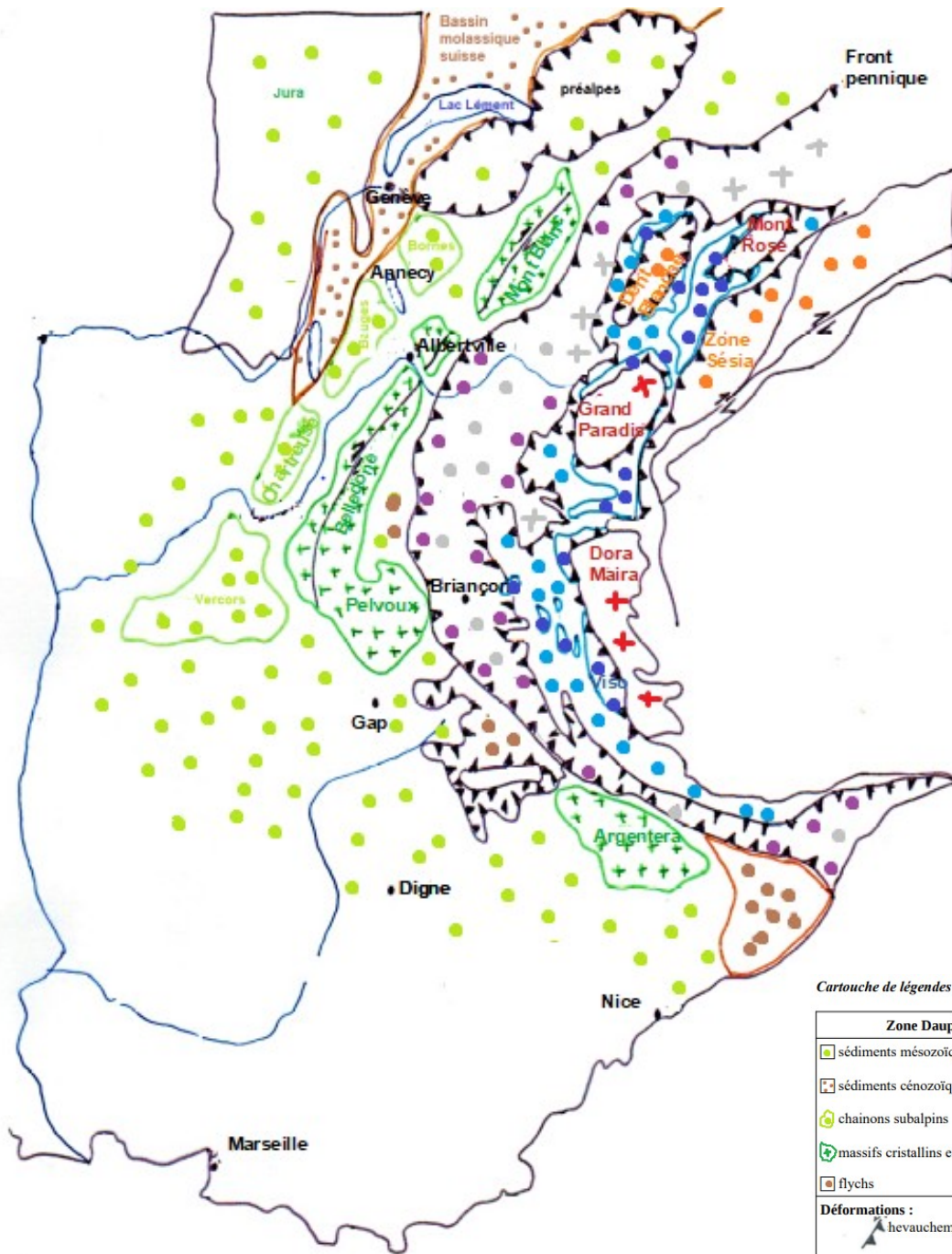
Un **chevauchement majeur** traverse l'ensemble de la chaîne et sépare la **région externe dauphinoise**, pas à peu **métamorphisée**, de la **zone interne briançonnaise et liguro-piémontaise** : c'est le **front pennique**.

La partie interne chevauche la partie externe. Il y a un **empilement d'écailles d'est en ouest**.

Cartouche de légendes à utiliser pour le schéma structural :

| Zone Dauphinoise   | Zone Briançonnaise  | Zone Liguro Piémontaise  | Zone Austro Alpine  |
|--|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>■ sédiments mésozoïques</li> <li>■ sédiments cénozoïques</li> <li>● chaînons subalpins</li> <li>■ massifs cristallins externes</li> <li>■ flychs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ socle sédimentaire paléozoïque peu métamorphisé</li> <li>■ carbonifère</li> <li>■ trias dont gypse (couche savon)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ massifs cristallins internes (socle métamorphisé HP BT)</li> <li>■ ophiolites (métamorphisme HP-BT)</li> <li>■ schistes lustrés (sédiments océaniques métamorphisés)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ socle sédimentaire apulien métamorphisé</li> </ul> |
| <b>Déformations :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ chevauchement</li> <li>↯ décrochement</li> <li>↯ faille</li> </ul>  |   |  |   |





De part et d'autre de la chaîne alpine, on trouve de **grands bassins sédimentaires** remplis de **sédiments détritiques** issus de l'**érosion des reliefs** : ce sont des **bassins flexuraux molassiques**.

Les **massifs carbonatés** constituant la **bordure ouest de la zone dauphinoise** comme le Vercors, la Chartreuse, les Bauges et les Bornes constituent **la zone subalpine**

Cartouche de légendes à utiliser pour le schéma structural :

| Zone Dauphinoise   | Zone Briançonnaise   | Zone Ligure Piémontaise   | Zone Austro Alpine   |
|--|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>sédiments mésozoïques</li> <li>sédiments cénozoïques</li> <li>chainons subalpins</li> <li>massifs cristallins externes</li> <li>flychs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>sole sédimentaire paléozoïque peu métamorphisé</li> <li>carbonifère</li> <li>trias dont gypse (couche savon)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>massifs cristallins internes (sole métamorphisé HP BT)</li> <li>ophiolites (métamorphisme HP-BT)</li> <li>schistes lustrés (sédiments océaniques métamorphisés)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>sole sédimentaire apulien métamorphisé</li> </ul> |
| <b>Déformations :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>hevauchement</li> <li>décrochement</li> <li>faille</li> </ul>   |  |   |  |



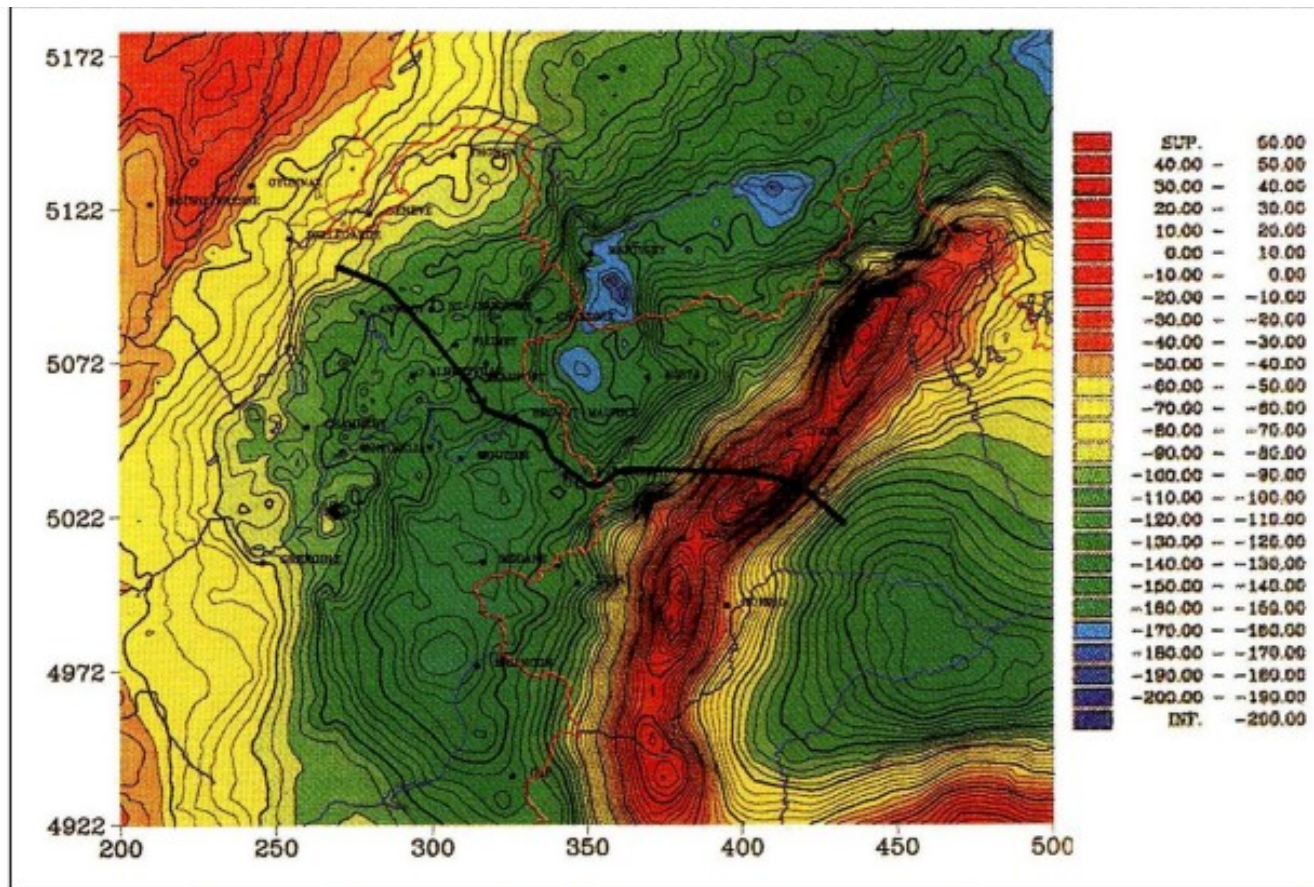
## 2. Les données géophysiques montrent un épaissement crustal lié à une frontière convergente de plaques

### 2.1. Les apports de la gravimétrie.

#### Activité 2 :

→ Analysez et interprétez la carte des anomalies gravimétriques dans la région des Alpes en essayant de nommer les différents secteurs à partir de la carte de France au millionième.

→ Mettez en relation l'analyse de ce document avec le document 4 révélant la profondeur du Moho sur la carte de France



Document 3 : anomalies de Bouguer au niveau des Alpes

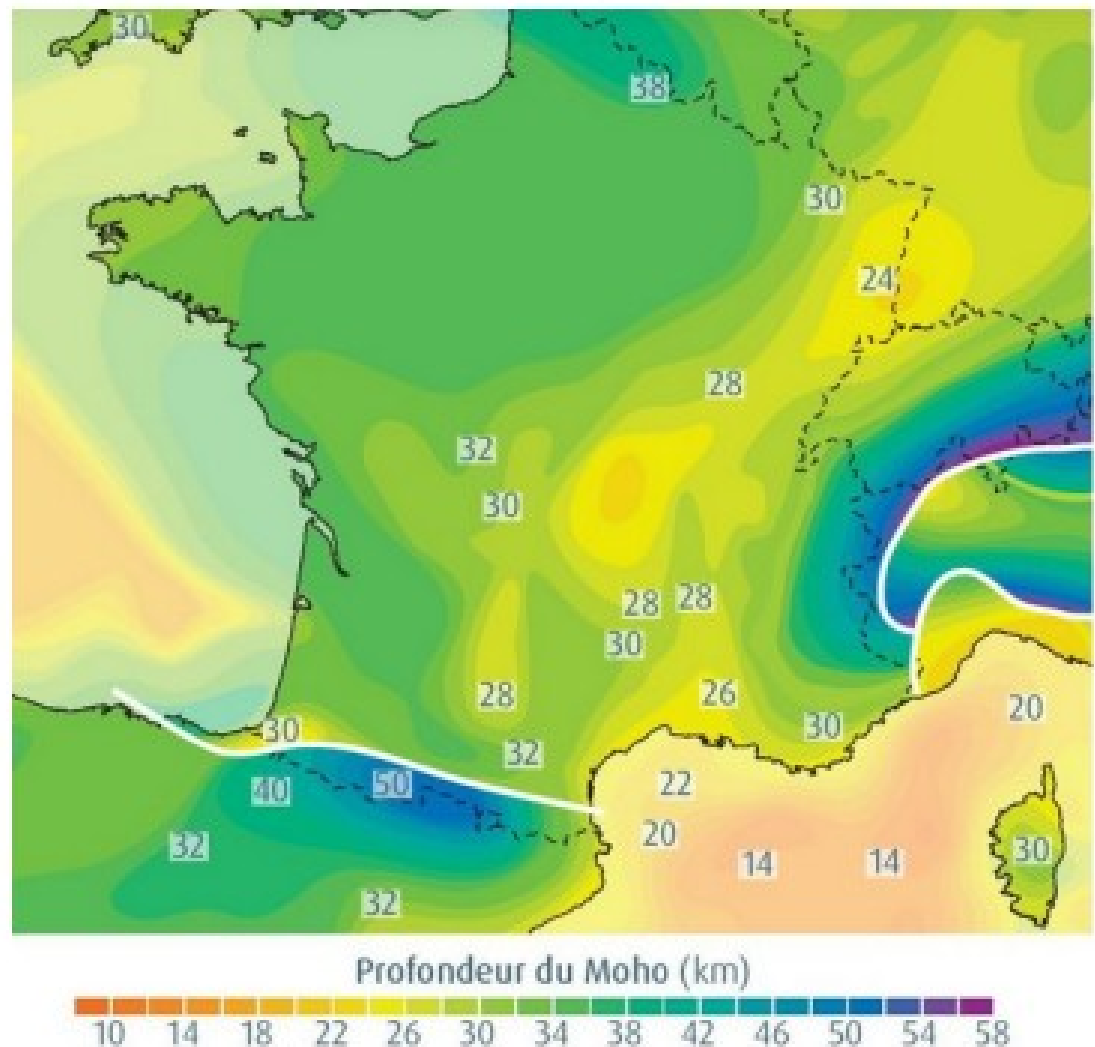
⇒ **anomalies gravimétriques** de Bouguer **très négatives** au niveau de la **zone Briançonnaise** :

⇒ **témoigne** de roches moins denses que prévu en profondeur et donc d'une **racine crustale de grande ampleur**.

Cette **racine crustale assure** en partie la **compensation isostatique du relief** (c'est en effet dans cette zone, que se situe **les plus hauts sommets** des massifs cristallins externes).

Il existe cependant à l'**est de la zone liguro-piémontaise** une **anomalie positive**, traduisant un **excès de masse** et donc la **présence du manteau plus haut que prévu**.

Ces conclusions sont **confirmées** par la carte de **profondeur du Moho**



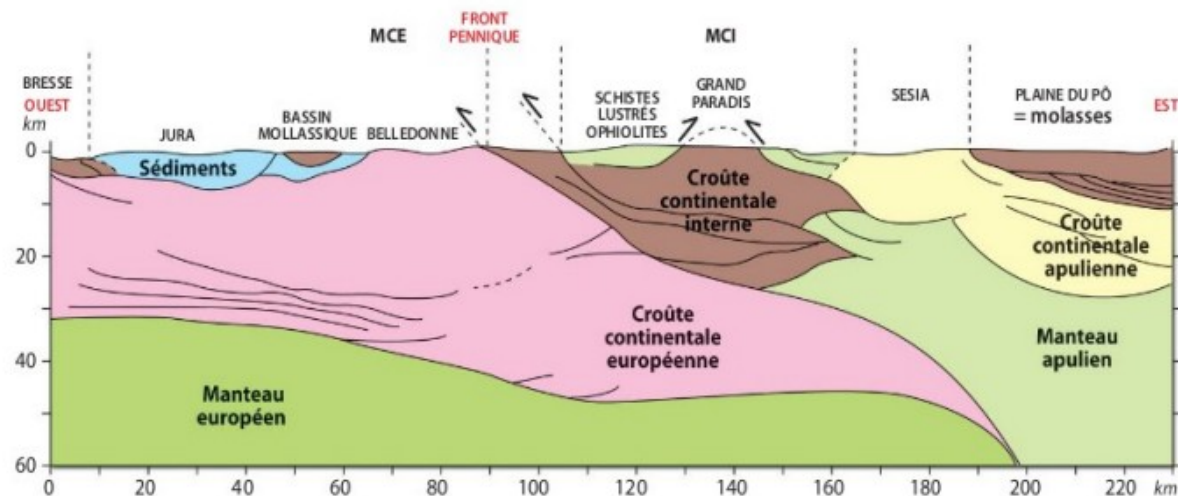
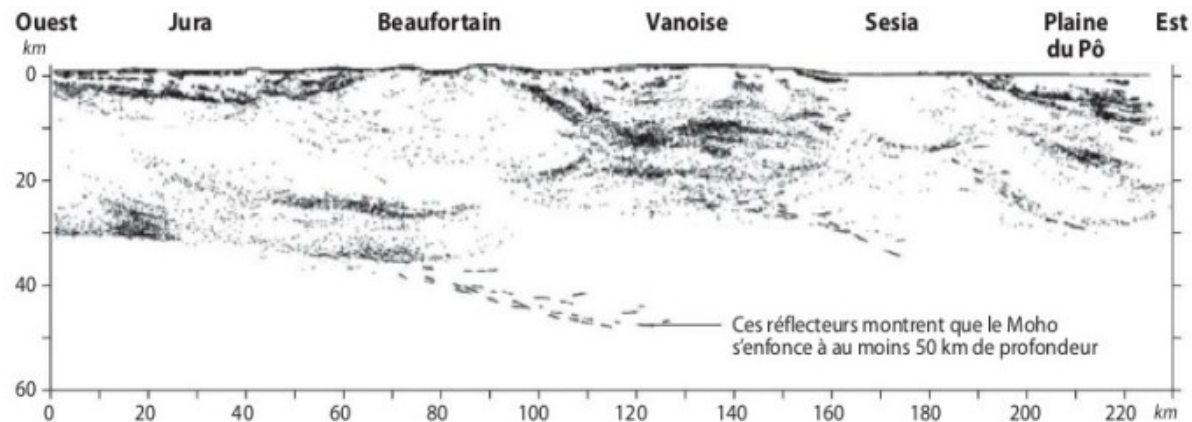
Document 4 : profondeur du Moho

## 2.2 les apports de la sismologie

### Activité 3 :

→ A l'aide d'un calque, recopiez l'interprétation du profil ECORS et superposez le calque sur le profil original afin d'y repérer les différentes unités.

→ Mettez en relation ces informations avec celles apportées par les données gravimétriques.



Document 5 : le profil ECORS Bresse Jura Alpes et son interprétation



Les **données de sismique réflexion et sismique réfraction** ont permis l'élaboration d'un **profil ECORS** le long des Alpes et ainsi de faire ressortir la **géométrie en écaillés** avec les principaux accidents tectoniques. On observe le **plongement actuel de la lithosphère européenne sous les Alpes et sous la lithosphère africaine**.

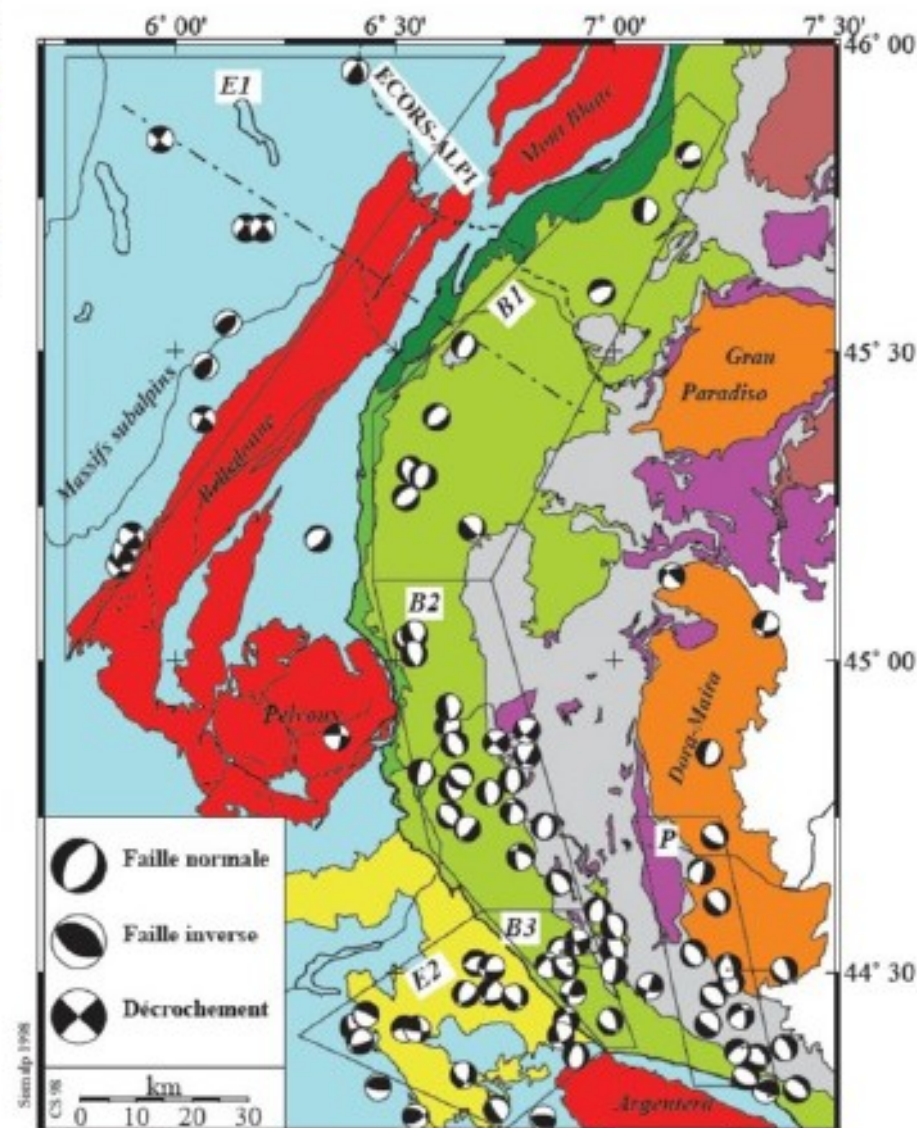
On voit bien également l'**épaississement crustal** (Moho vers -55 km) ainsi qu'une « **lame** » de manteau impliquée dans l'épaississement qui est donc lithosphérique et pas seulement crustal : **la formation des Alpes est bien un processus à l'échelle lithosphérique**.

En liaison avec le sous-charriage de l'Europe sous l'Afrique, **c'est l'Europe qui supporte le poids de la chaîne** et a subi une **flexure quasi élastique, faisant apparaître une dépression**, réceptacle des produits de l'érosion de la chaîne : le **bassin molassique péri-alpin** : celui-ci est donc une **réponse à une surcharge provoquée par l'épaississement lithosphérique associé à la collision**.

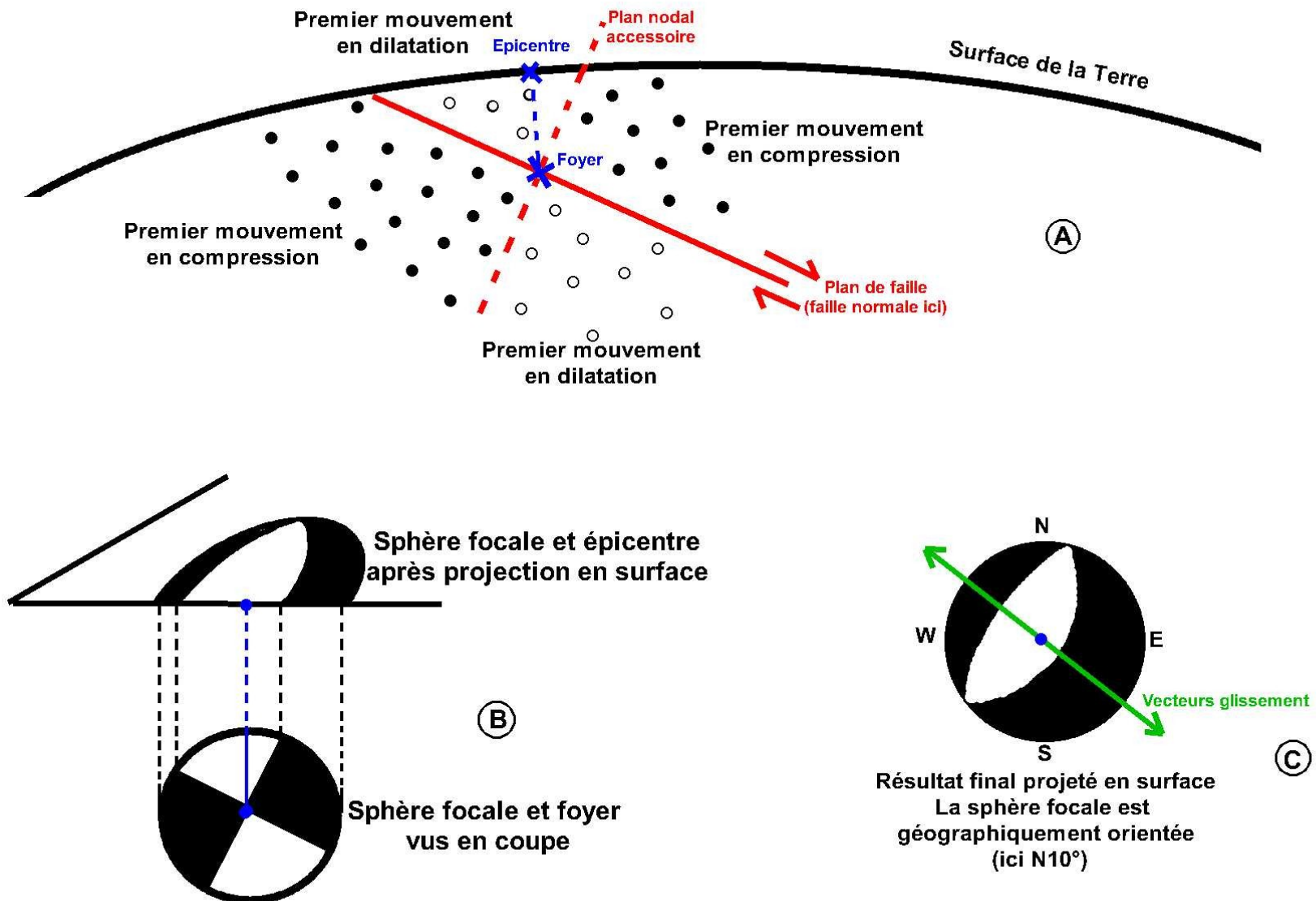
**Activité 4 :**

→ Analysez à présent, les mécanismes au foyer des séismes récents et faites le lien avec les grandes failles observées sur la carte au 1/1 000 000.

→ Proposez une interprétation permettant de concilier ces résultats.



Carte sismotectonique synthétique regroupant l'ensemble des solutions focales fiables calculées avec les données Sismalp



Document 7 : rappel du principe des mécanismes au foyer



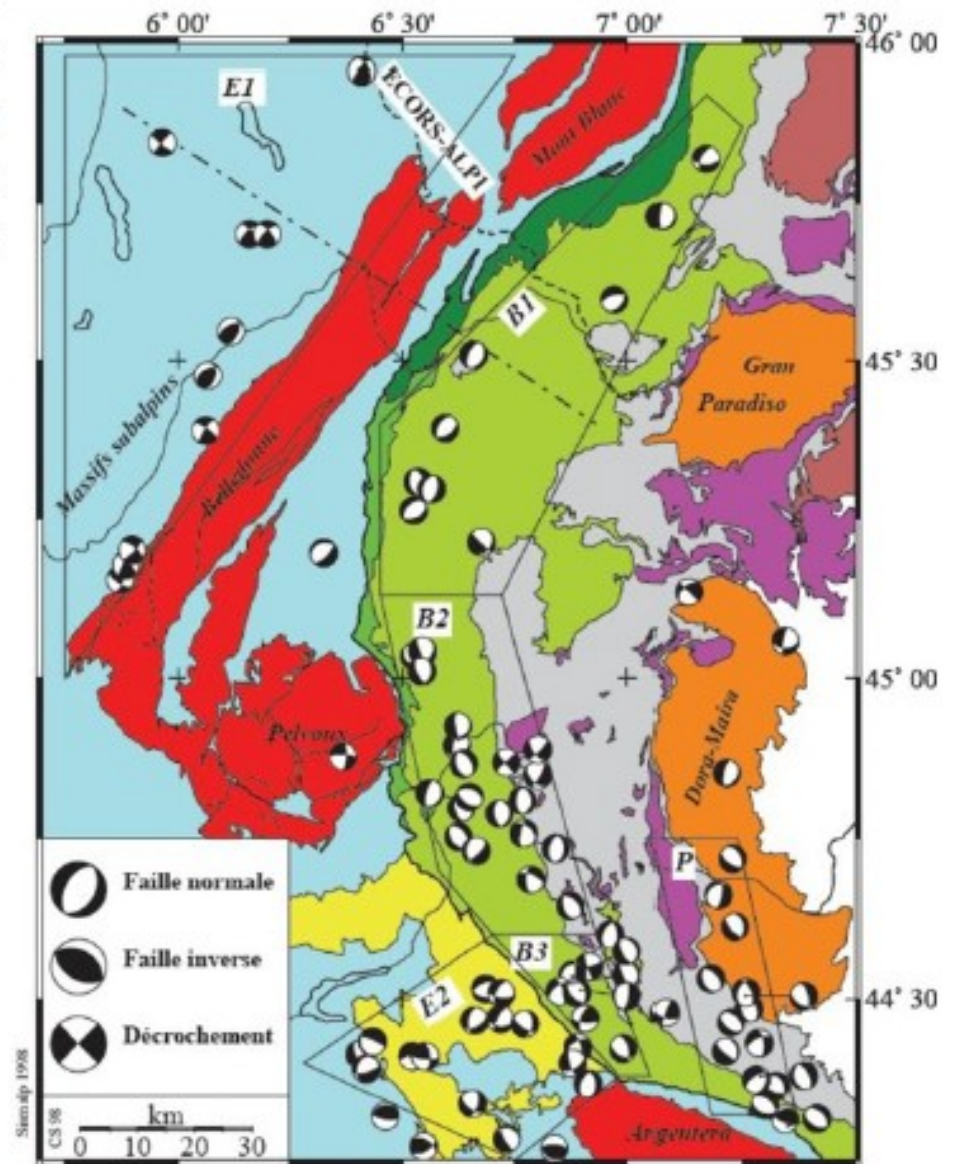
**Activité 4 :**

→ Analyser à présent, les mécanismes au foyer des séismes récents et faire le lien avec les grandes failles observées sur la carte au 1/1 000 000.

→ Proposer une interprétation permettant de concilier ces résultats

La sismologie montre que les **déformations** sont **très actives** dans les Alpes avec une **différence de mécanismes** entre la **zone externe** et la **zone interne** :

- la **zone externe** est caractérisée par des **failles** actuellement **inverses** et **décrochantes**
- la **zone interne** possède des jeux en **failles normales** traduisant l'effondrement de l'arrière de la chaîne.



Carte sismotectonique synthétique regroupant l'ensemble des solutions focales fiables calculées avec les données Sismalp

## Exercice et travail préparatoire aux TP2 et TP3 : étude de la carte d'Annecy au 1/250 000

→ *Réaliser un schéma structural de la carte d'Annecy au 1/250 000 en identifiant les différents ensembles vus précédemment. Repérer bien les différents accidents tectoniques et distinguer les failles normales, les failles inverses, les nappes de charriages, les klippes ou les éventuelles fenêtres et indiquez-les sur le schéma structural.*

→ *A l'aide de l'étude fine lithologique de la carte et des informations apportées dans la notice, retrouver :*

- 1) les témoins d'un ancien domaine océaniques*
- 2) les témoins de l'ancienne marge passive européenne*
- 3) des traces de la subduction*
- 4) des témoins de la collision : plis et failles, chevauchements, nappes de charriage*
- 5) des témoins de glaciations et d'érosions*

→ *Replacer les zones correspondantes sur le schéma structural réalisé*

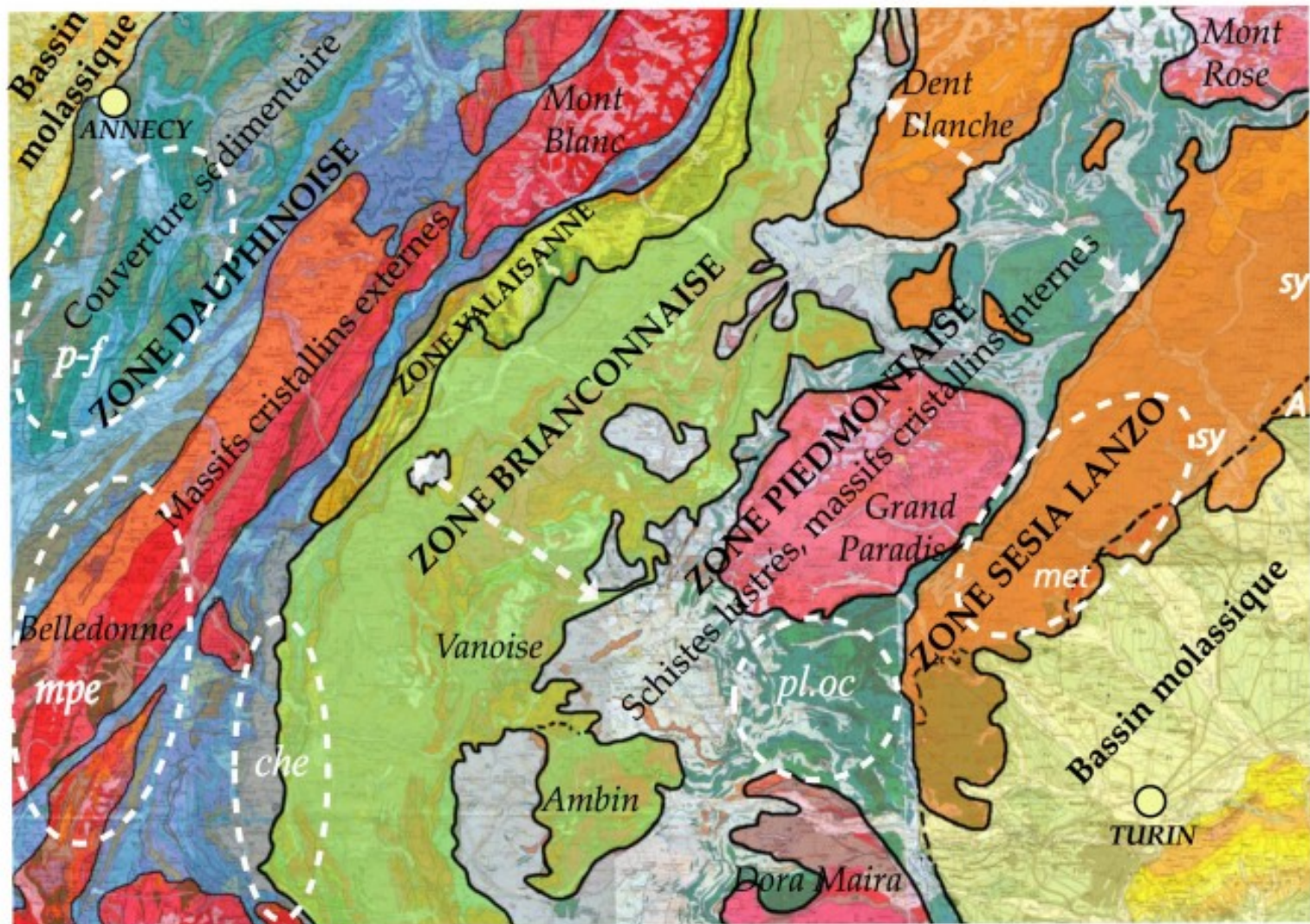




**Carte d'Annecy au 1/250 000**



# Correction



Zones externes

Zones internes

Front Pennique



### **1) Des témoins d'un ancien domaine océanique (pl oc)**

#### **- Des roches de plancher océanique dans la zone piémontaise.**

Elles sont bien exposées au sud du Grand Paradis : Serpentinites, péridotites, gabbros, sont cités dans la légende. Le terme d'ophiolites apparaît dans la notice. Des termes de « roches vertes », les « prasinites » désignent des roches magmatiques basiques métamorphisées ; les « diabases » à structure en coussins correspondent à des basaltes ou dolérites métamorphisés.

#### **- Une **sédimentation océanique** de marge, de talus et de plaine abyssale, d'âge secondaire.**

La légende de la carte mentionne des noms de roches sédimentaires. La notice permet d'en prouver l'origine marine, parfois profonde, d'après les fossiles qu'elles renferment (Ammonites, Bélemnites, Polypiers, Calpionelles, divers Foraminifères, etc.).

### **2) Des témoins de l'ancienne marge passive européenne (mpe)**

Des **blocs basculés peuvent être identifiés** dans le secteur des massifs cristallins externes, comme les massifs de Belledonne, des Grandes Rousses, du Pelvoux, découpés par d'anciennes failles normales nord-est sud-ouest. La couverture syn-rift (Lias et Jurassique moyen) est discordante à l'ouest sur le socle que constituent ces massifs alors que le contact se fait par des failles normales à l'est.

### **3) Des traces de la subduction (met)**

Elles sont décelables sur le versant italien des Alpes. Il s'agit du métamorphisme HP-BT : une lecture attentive de la légende, complétée par la notice, permet de relever l'existence de roches des zones internes à faciès schistes bleus et écloïtes à la fois dans la nappe des schistes lustrés et dans le socle de la zone Sésia. Cela signifie un passage de ces roches en profondeur, avant leur mise en relief.

#### 4) Des témoins de la collision

##### **- Plis et failles (p-f)**

Le nord-ouest de la carte aux environs d'Annecy montre bien les plissements de la couverture sédimentaire de la marge européenne. La direction des axes des plis permet de déduire la direction des contraintes tectoniques dans ce secteur : est-sud-est à ouest-nord-ouest.

Certains de ces plis sont déversés vers le nord-ouest (leurs flancs apparaissent dissymétriques sur la carte) et passent parfois à des plis-failles (à flanc inverse faillé). Cette dissymétrie indique un sens de poussée vers le nord-ouest.

Les plis associés à des failles de même direction donc liées aux mêmes contraintes. D'autres failles correspondent à des décrochements.

Ces déformations peuvent être datées de façon relative : elles affectent des terrains secondaires et tertiaires jusqu'au miocène inférieur. Elles sont masquées par les dépôts glaciaires. On peut donc les dater du mio-pliocène.

##### **- Chevauchements(che)**

Les zones externes des Alpes et les zones internes sont en contact par un front de chevauchement majeur, le front qui traverse la carte du nord au sud. Dans le secteur du Galibier et à l'ouest de la Vanoise des superpositions anormales des terrains sont bien visibles sur la carte. (par exemple, de bas en haut : tertiaire \ crétacé \ trias et jurassique \ trias \ permien et carbonifère). Les différents ensembles sont séparés par des contacts anormaux qui sont identifiés comme des chevauchements dans la légende. Cette superposition correspond à un empilement d'écaillés. Sa mise en place est postérieure à l'Eocène.

##### **- Nappes de charriage** : Deux nappes sont bien exposées sur cette carte (◄ · ►)

- la **nappe des schistes lustrés**, formée de sédiments océaniques métamorphisés, les schistes lustrés, mêlés à des ophiolites, charriés sur la zone briançonnaise. Des klippes situées très à l'ouest permettent de comprendre que cette nappe s'étendait sur une plus grande surface qu'actuellement, mais qu'elle a été partiellement érodée.

Un calcul simple montre que cette extension vers l'ouest était d'au moins 25 km ( $10 \times 250\,000 = 2\,500\,000$  cm)

##### **- la nappe de la Dent Blanche**

C'est un morceau de la marge apulienne, de même nature que la zone Sesia, charrié sur les schistes lustrés.

Son déplacement minimum par rapport à la zone Sesia peut être calculé :  $16 \text{ cm} \times 250\,000 = 4\,000\,000 \text{ cm} = 40 \text{ km}$ .

(Remarque : cette distance ne correspond pas au déplacement réel des terrains par rapport à leur position d'origine, car la zone Sesia est elle-même déplacée vers l'ouest)

Ces déformations correspondent à un raccourcissement et à un épaississement de la couverture.



### **5) Des témoins de l'histoire récente : glaciation et érosion**

**L'histoire récente**, quaternaire, de la chaîne se caractérise par

- les glaciations. Les glaciers actuels apparaissent sur la carte ainsi que trois glaciations anciennes successives bien marquées surtout sur le versant italien par des dépôts morainiques et fluviaux
- l'érosion active, le creusement de vallée qui se poursuit parallèlement à la mise en relief de la chaîne et alimente les bassins molassiques depuis le miocène.