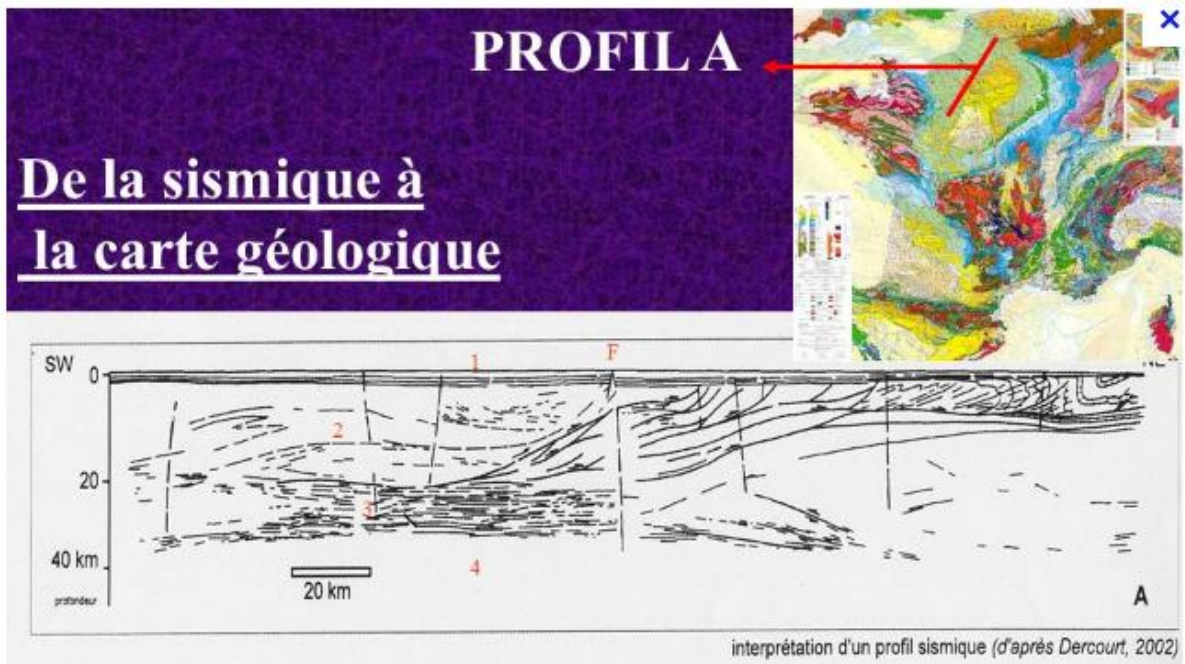
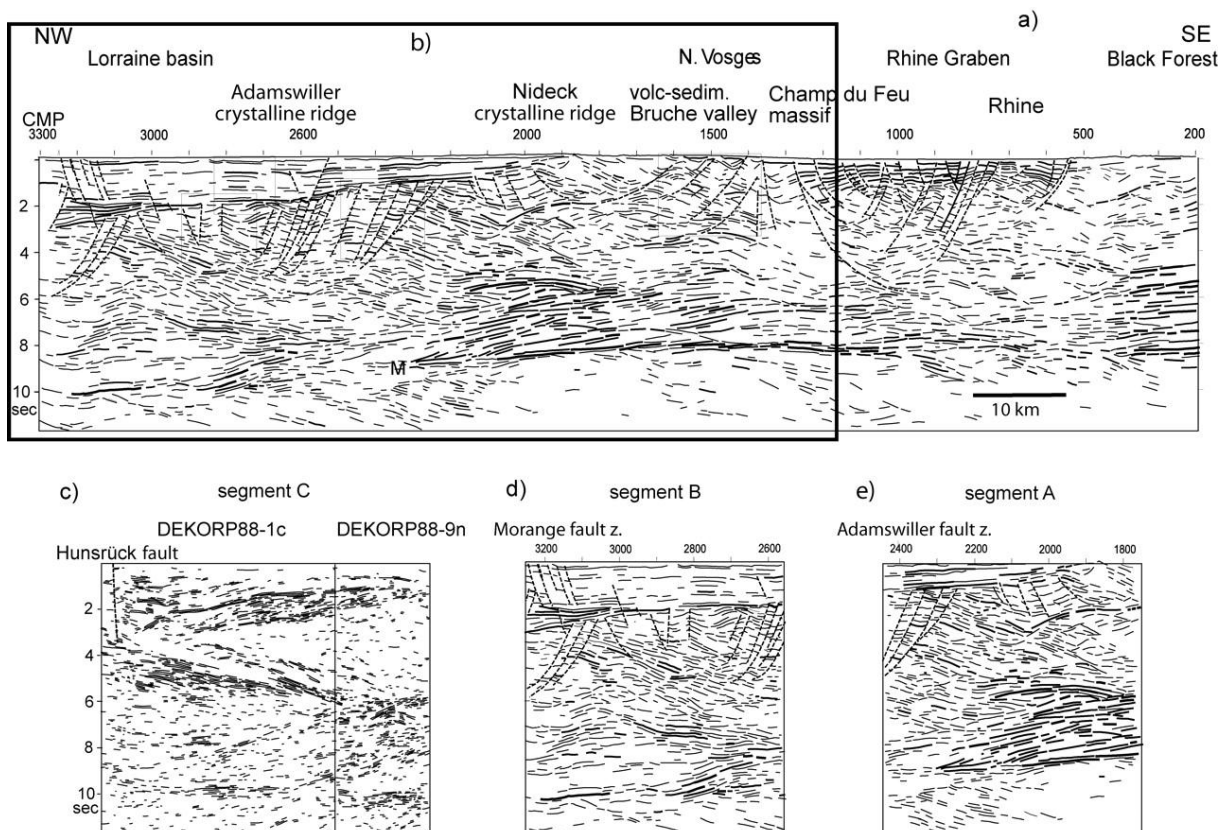


Bassin de Paris

Profil sismique Nord-est :



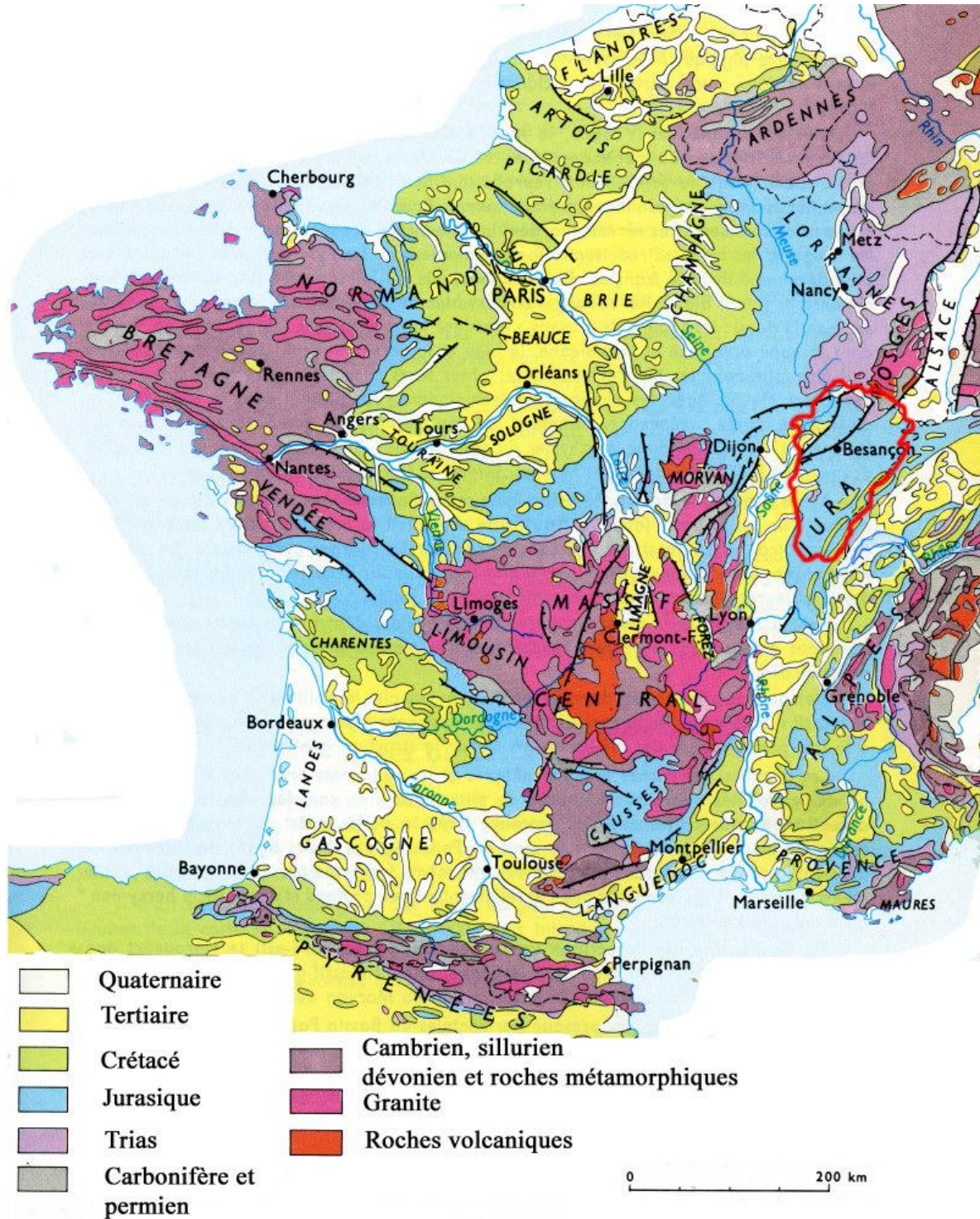
Profil sismique région Est :



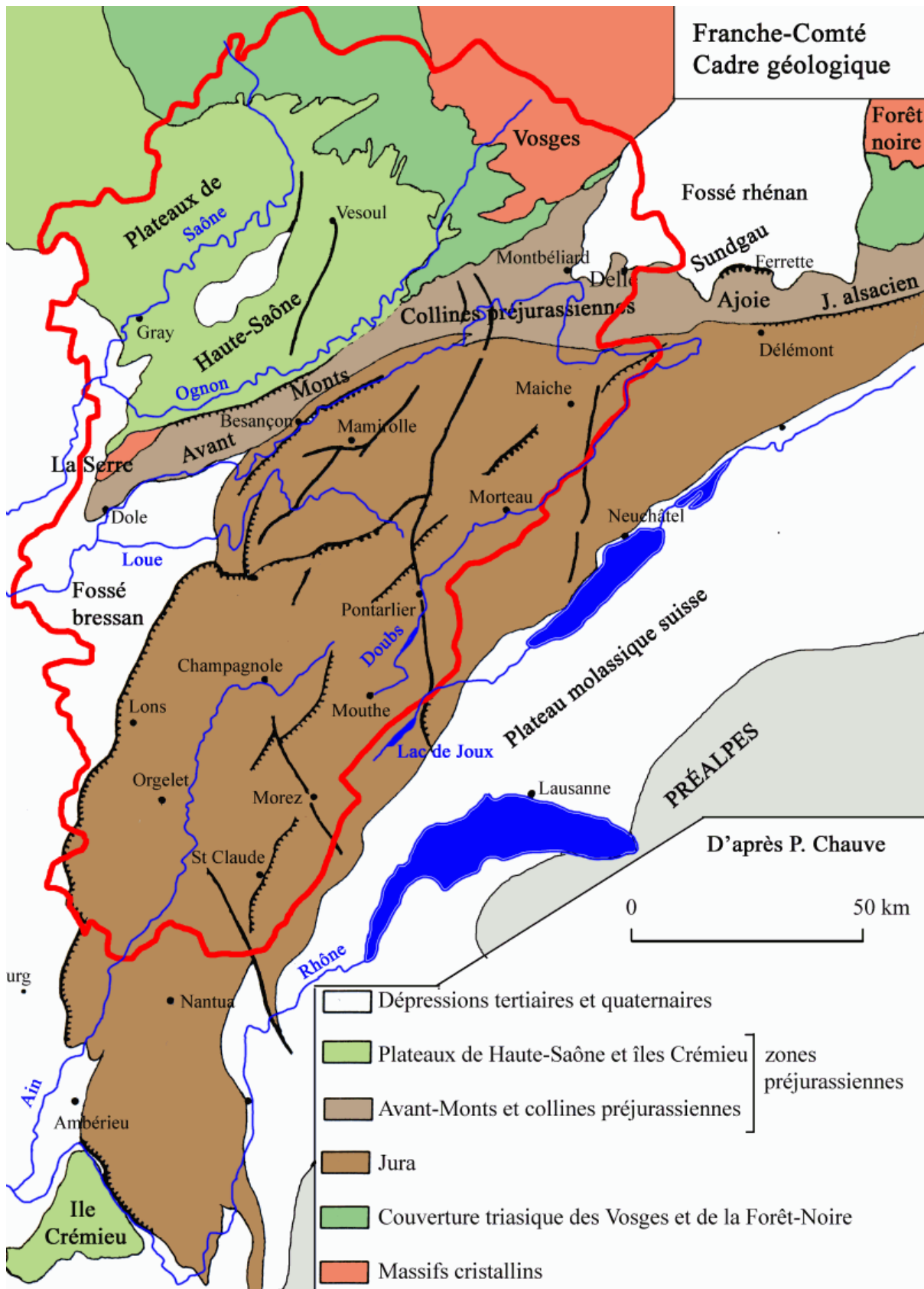
Données subsidence :

2. Le JURA : une chaîne très récente, pelliculaire, portion occidentale du prisme orogénique alpin

La Franche-Comté est occupée par le massif jurassien (**Carte géologique de la France au 1/ 1 000 000** et **cadre géologique de la Franche-Comté**). Ce massif forme un croissant, du Rhône au Rhin, sur une longueur de 250 km et se situe sur la bordure Nord-Ouest de la « France Alpine ».



Carte géologique de la France (in Sciences naturelles 1e D tome II Géologie Bordas 1972)



Le Jura est séparé des Alpes par une zone affaissée : le plateau molassique suisse où se situent les grands lacs (Léman, Neuchâtel...).

Au nord de la Franche-Comté, les Vosges Comtoises ne représentent qu'une partie du massif vosgien (650 km² sur 4 000 km²).

Les plateaux de la Haute-Saône assurent vers le Nord-Ouest le passage entre le Jura et le Bassin de Paris.

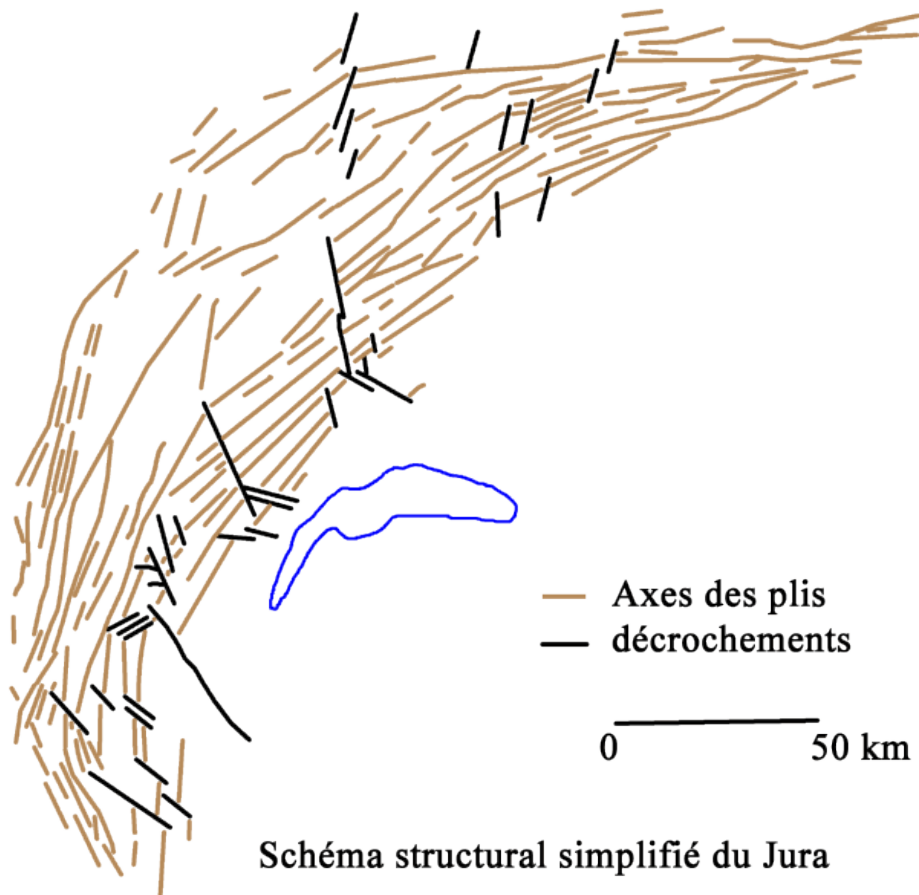
Deux fossés d'effondrement bordent la Franche-Comté :

- Au Nord-Est, le fossé rhénan qui forme la plaine d'Alsace entre Vosges et Forêt Noire,
- A l'Ouest le fossé bressan.

Le Jura s'est mis en place au cours du cycle orogénique alpin : à la fin du Crétacé, le mouvement de la plaque africaine vers la plaque européenne provoque la naissance des Alpes ; à la fin du Miocène, la même poussée produit une série de plis au Nord du bassin mollassique suisse.

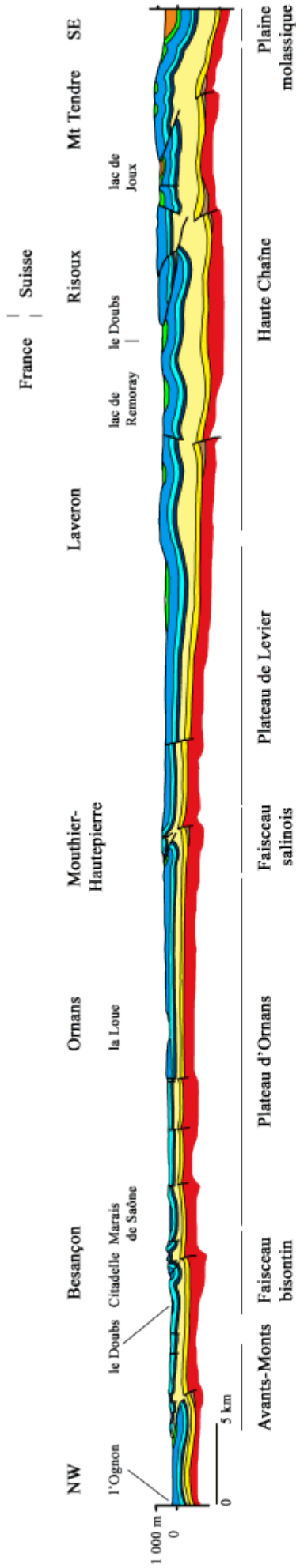
Le Jura est une chaîne de couverture décollée de son socle sous-jacent. La couverture sédimentaire est désolidarisée de son socle au niveau des argiles et des dépôts évaporitiques du Trias supérieur. Elle a glissée à la suite de déformations du socle. Trop petite par rapport à son socle réduit, elle s'est plissée, s'est superposée à elle-même (Avants-Monts et faisceau bisontin) ou a glissée vers l'extérieur (la couverture jurassienne chevauche la Bresse).

- Un **schéma structural simplifié du Jura** montre que le raccourcissement de la couverture a été absorbé par des plis liés à des chevauchements et par des décrochements conjugués.



- Sur une **coupe géologique à travers le Jura central** , trois ensembles lithologiques peuvent être distingués :

- . Les formations anciennes qui constituent le socle hercynien de la chaîne hercynienne,
- . La couverture sédimentaire secondaire qui s'est déposée dans une mer épicontinentale à l'avant des mers alpines plus profondes,
- . Les terrains alluviaux ou détritiques qui remplissent les fossés creusés lors de la surrection du Jura ou qui tapissent le fond des vallées actuelles ou fossiles.



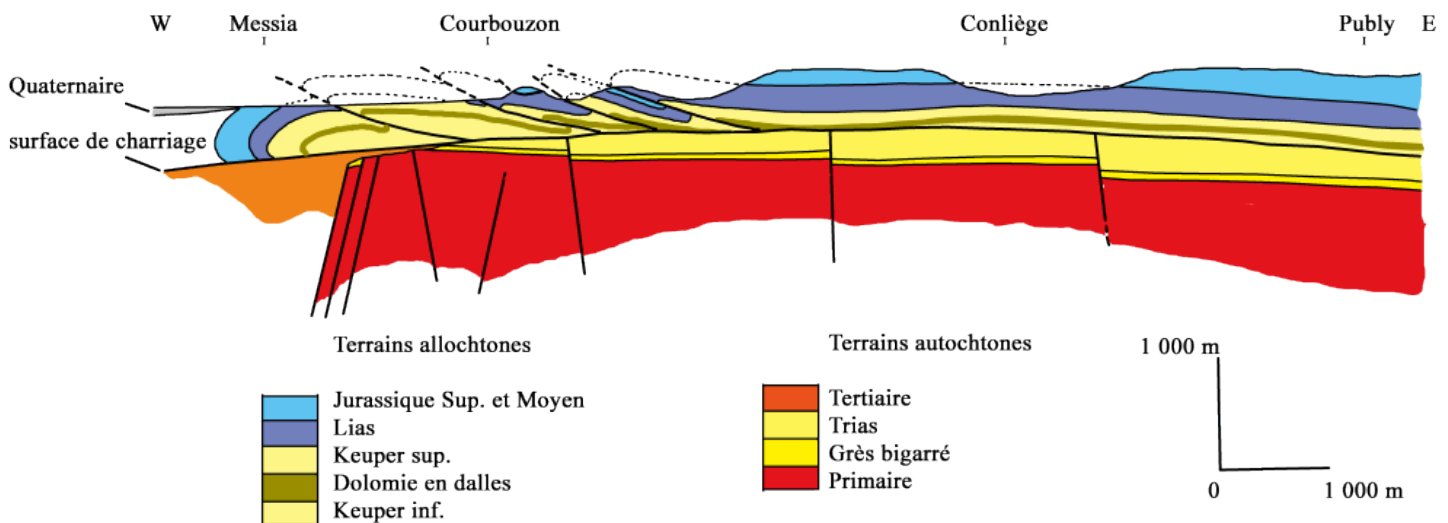
- Tertiaire
- Crétacé
- Jurassique supérieur
- Jurassique moyen
- Lias
- Trias moyen et supérieur
- Trias inférieur
- Permien
- Socle hercynien

Coupe géologique à travers le Jura central (d'après P. Chauve)

A partir de cette coupe, nous pouvons faire les remarques suivantes :

- . La couverture sédimentaire est relativement mince dans le Jura septentrional. D'une façon générale, la série sédimentaire est beaucoup plus épaisse dans la partie interne que dans la partie externe du Jura. Cela signifie que le socle était incliné vers l'Est dès le Mésozoïque.
- . La faille de l'Ognon fait chevaucher les Avants-Monts sur les plateaux de la Haute-Saône.
- . L'Ognon coule dans une large vallée synclinale où affleure du Crétacé. Dans ce secteur, l'érosion tertiaire et quaternaire a été très faible.
- . Le Jura externe est formé de zones tabulaires ou « plateaux » séparées par d'étroites bandes plissées et faillées (les faisceaux).
- . Le Jura interne (encore appelé Jura plissé, Haute chaîne, faisceau helvétique ou Haut Jura) dessine un arc montagneux qui domine la plaine molassique suisse plus à l'Est. Il comporte un ensemble de plis parallèles qui se suivent d'une manière presque continue du Nord vers le Sud.
- . Au point de vue tectonique, le style haut jurassien est caractérisé par une succession de plis assez réguliers : vastes synclinaux et larges anticlinaux droits ou coiffés au fond desquels le Crétacé est plissé.
- . Le relief est globalement conforme à la structure plissée, mais dans le détail les formes sont très émoussées par rapport aux plis.
- . Si le Haut Jura a conservé une grande partie de sa couverture Crétacé, l'érosion a été beaucoup plus importante dans les faisceaux externes où le Lias affleure souvent. Cette différence date du Miocène, époque où le Jura externe formait un point haut drainé vers la Suisse.
- . Le principal niveau de décollement est localisé à la base de la couverture dans les horizons incompetents, riches en évaporites du Trias supérieur ; il est souvent associé aux marnes liasiques. Le Trias inférieur est ainsi solidaire du socle, il constitue le tégument.
- . Le socle est réduit par rapport à la couverture. En effet si l'on remet à plat la couverture, on voit que l'on ne dispose pas une surface de socle suffisante. En fait le décollement de la couverture n'a pas la même amplitude tout au long de la chaîne : le raccourcissement relativement faible à l'extrémité Nord-Est de la chaîne peut atteindre 30 km dans le Jura central.
- . Aujourd'hui encore, le socle présente une pente toujours dirigée vers la Suisse, même après la surrection récente du Jura interne.

- Une **coupe géologique du Jura passant par la Bresse** confirme le décollement de la couverture jurassienne qui vient chevaucher la Bresse.



Coupe du chevauchement de la bordure occidentale du Jura sur la Bresse (d'après G. Lienhardt)

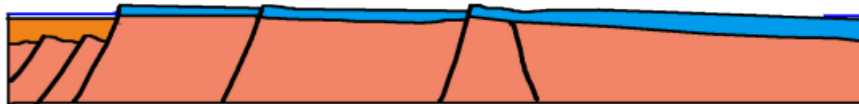
- Sans vouloir retracer dans le détail l'histoire géologique du Jura, il semble utile d'évoquer **les grandes étapes de la genèse du relief** avant les glaciations Quaternaires :

NW

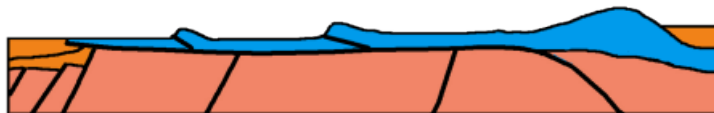
SE



Au cours du Secondaire



A l'Oligocène



Au Quaternaire

Les grandes étapes de la genèse du relief du Jura

- . Du Trias au Crétacé, le Jura actuel occupe une plate-forme épicontinentale en marge de l'océan alpin.
- . Dès le début du Tertiaire, la plate-forme émerge et la plus grande partie du Jura va être soumise à une évolution continentale. Le Jura présente alors un faible relief dirigé vers la Suisse.
- . A l'Eocène des mouvements tectoniques ébauchent les futures dépressions périphériques (Bresse, plaine molassique suisse et fossé rhénan).
- . A l'Oligocène, en relation avec la mise en place des dépressions périphériques, des mouvements tectoniques créent des reliefs de failles et des ondulations à grand rayon de courbure. A la fin de l'Oligocène, le Jura est un plateau incliné vers l'Est et dominant le lac Bressan de près de 700 m.
- . S'élabore ensuite une surface d'érosion (dite « surface supérieure ») en fonction d'un niveau de base constitué par la mer Miocène qui recouvre la partie orientale du Haut Jura.
- . Au Pontien se produit le plissement principal de la Chaîne. La couverture se décolle, glisse vers l'Ouest et vient chevaucher le bassin Néogène de la Bresse. Au droit de Lons-le-Saunier la portée du chevauchement est évaluée entre 3 et 5 km.

La couverture se déforme de façon plus ou moins souple suivant son épaisseur et sa nature lithologique : la partie Ouest du Jura garde une certaine rigidité, le style est plus cassant et les plis ont une amplitude moindre, tandis que la partie Est, à couverture plus épaisse, forme des plis plus développés et plus réguliers.

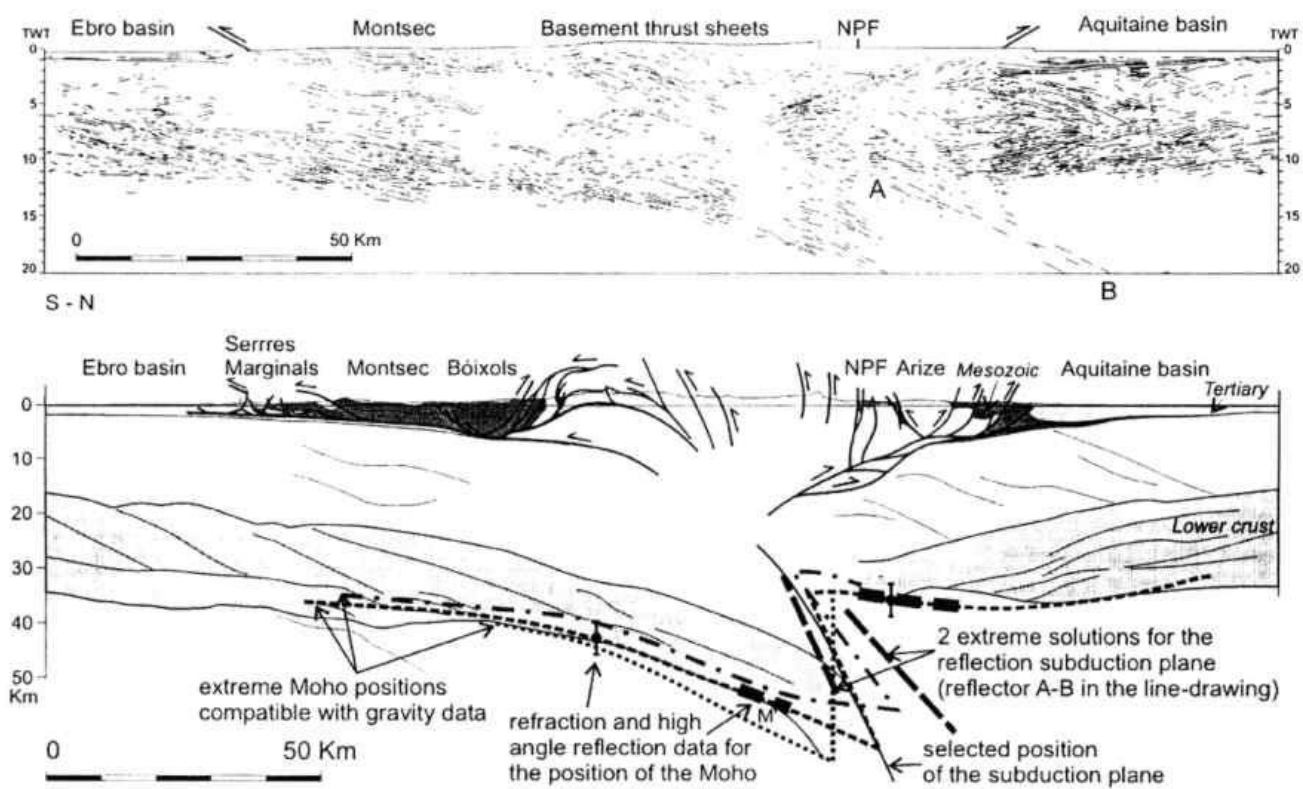
Ce mouvement de glissement est accompagné ou suivi par le soulèvement du Jura interne dont la surface topographique s'incline alors vers l'Ouest (mais la pente du socle reste cependant toujours dirigée vers l'Est).

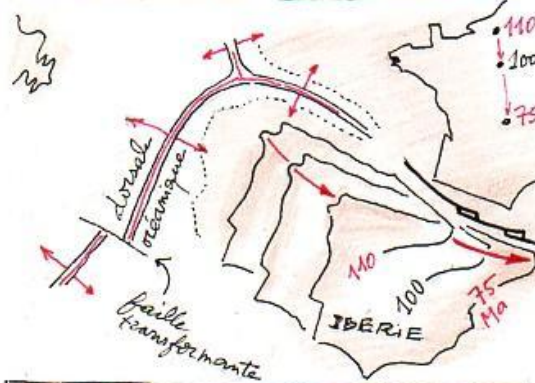
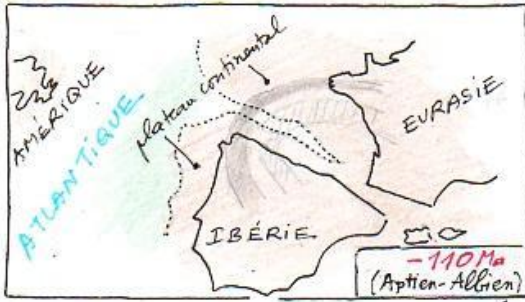
D'après :

*Guides géologiques régionaux : Le Jura (P. Chauve);
APBG Besançon 91 (P. Chauve)
Le relief de la France Coupe et croquis Y. Battiau-Queney)
Géologie de la France, tome 2 (J. Debelmas)*

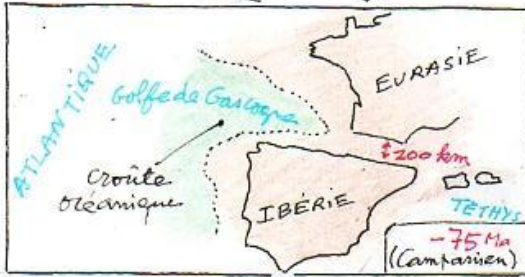
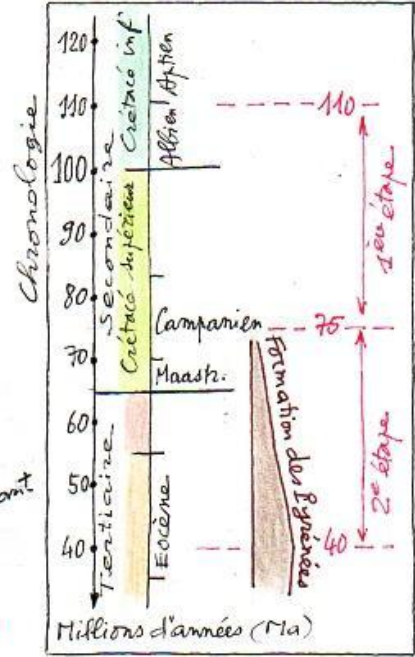
3. Les PYRENEES : une chaine récente originale, «d'inversion de rift»

Structure profonde :

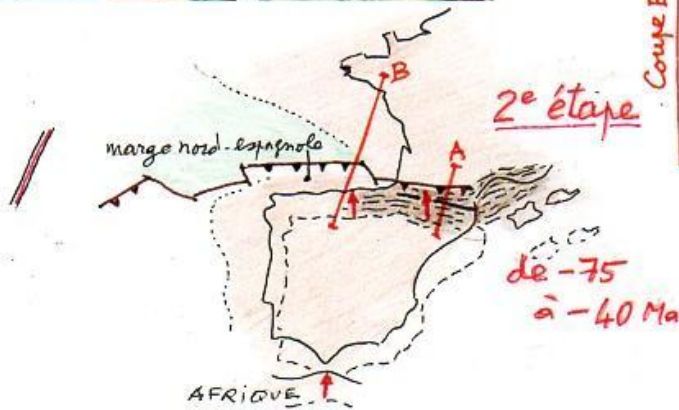




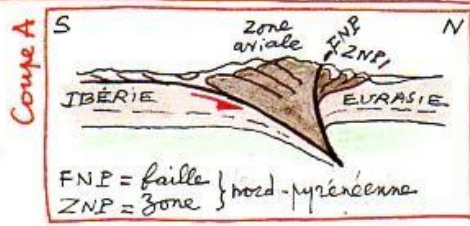
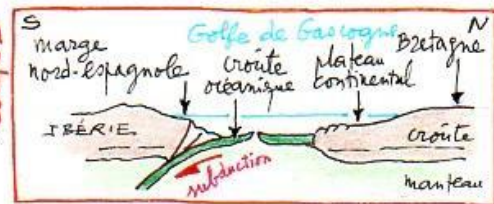
1^{ère} étape
couloir transformant de -110 à -75 Ma

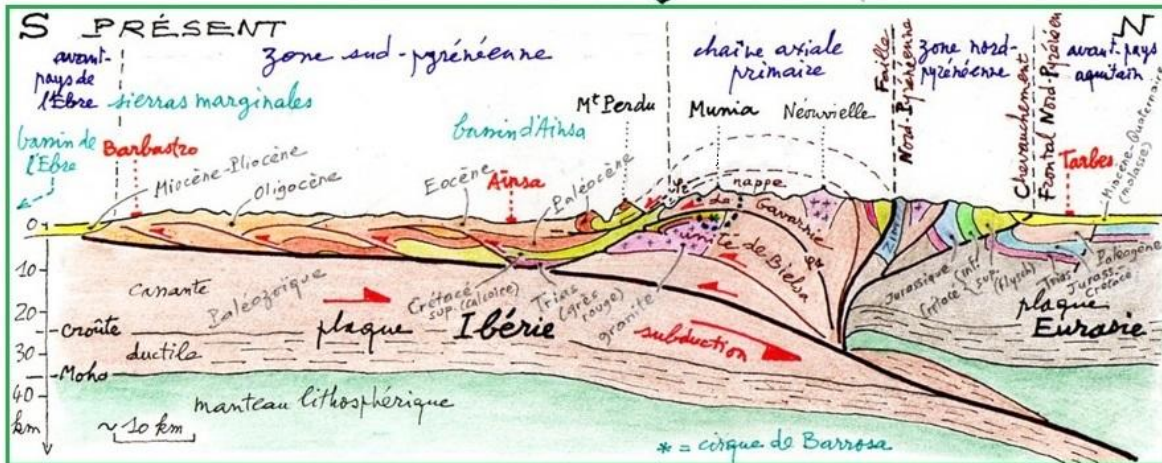
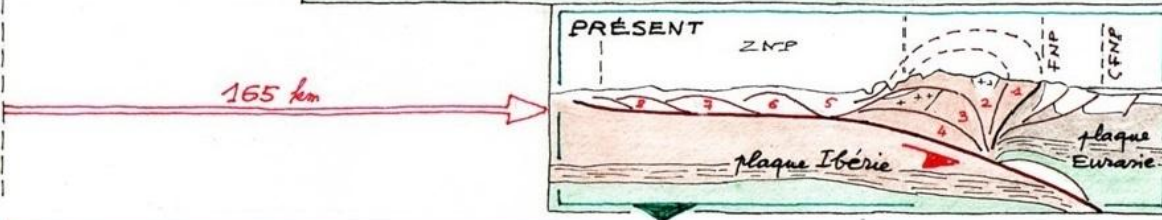
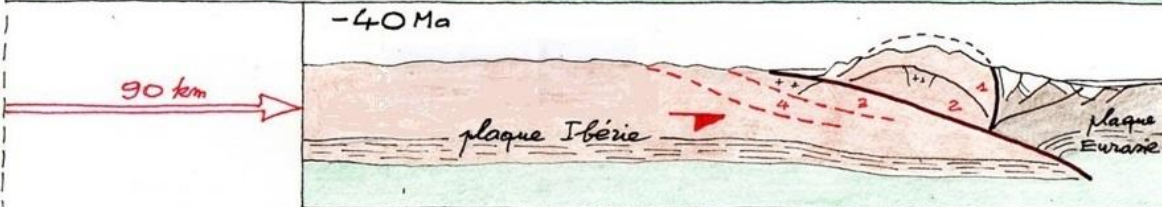
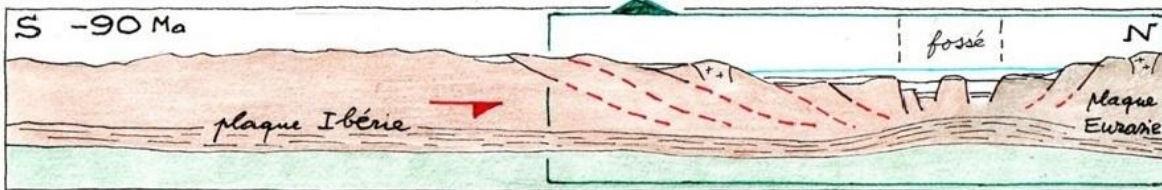
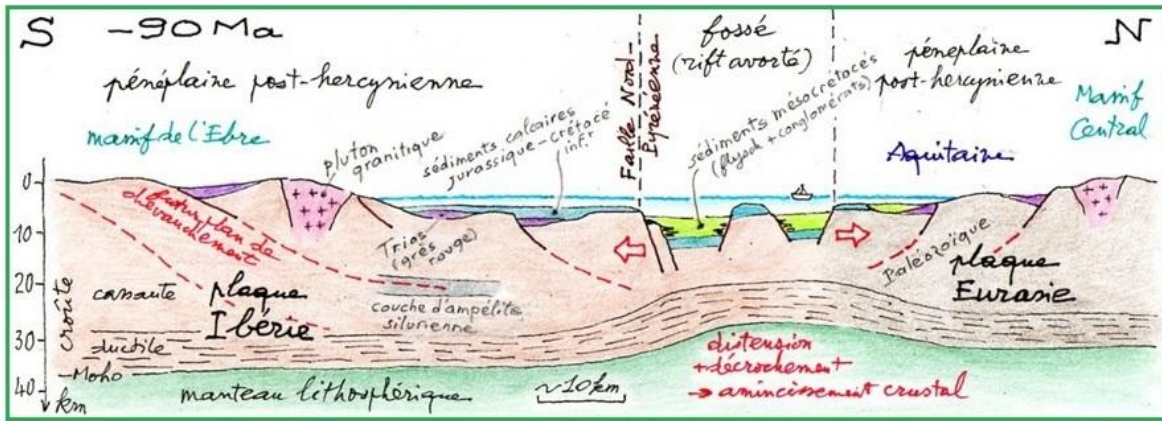


Migration de la micro-plaque ibérique

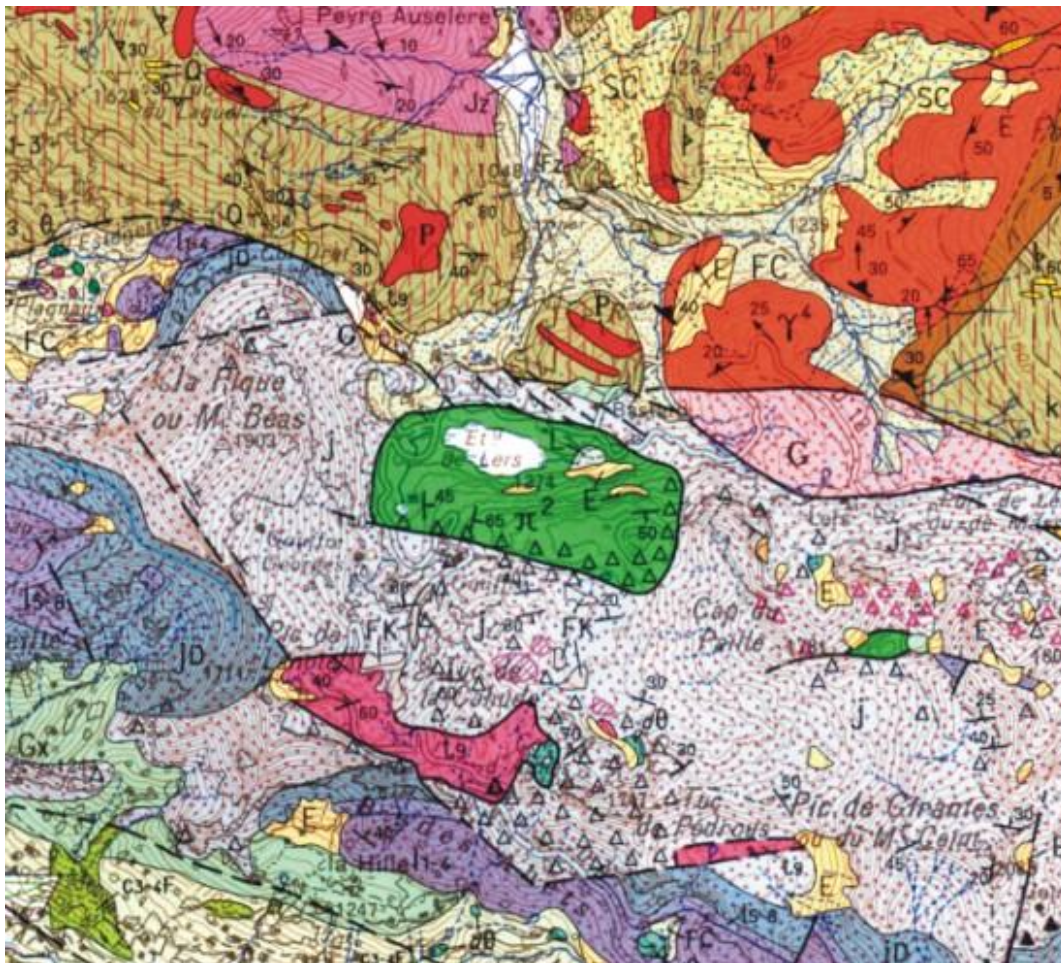


2^e étape
de -75 à -40 Ma





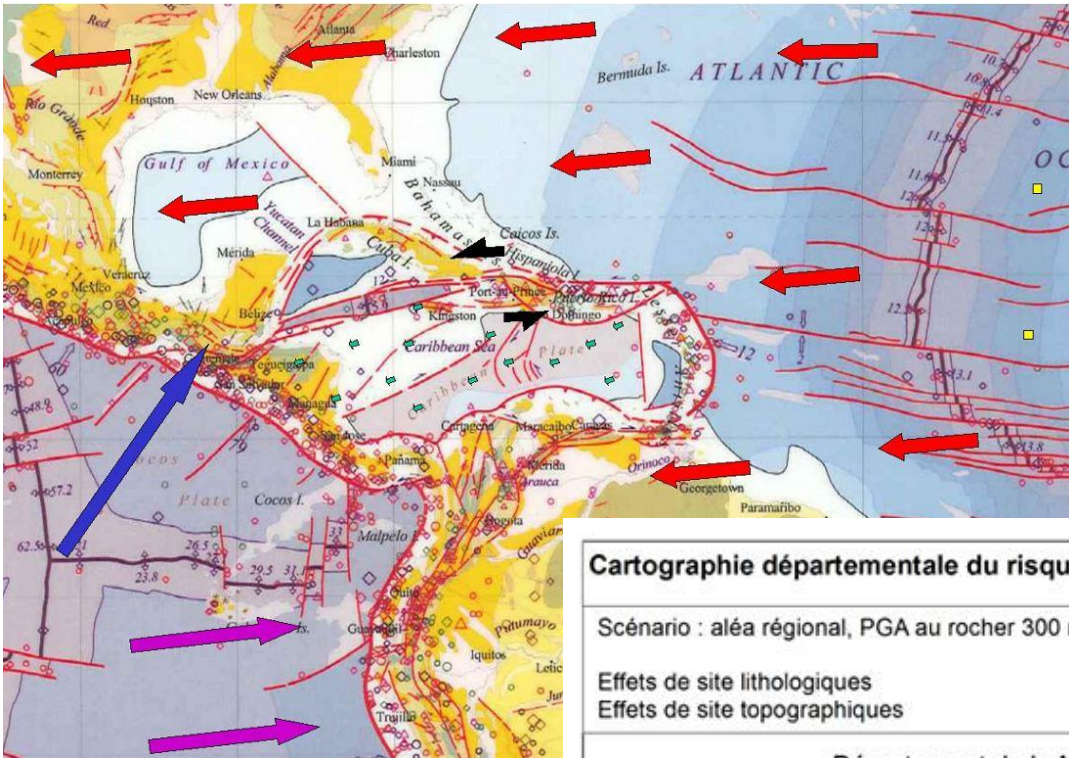
Du manteau dans les Pyrénées : une lherzolite !



Légende :

- **Quaternaire :** E = glaciaires indifférenciées; C = colluvions; FC, FG = fluvio-glaciaires; Gx = moraines.
- **Mésozoïque :** C3-4f = Turonien-Sénonien inférieur- flysch à fucoïdes; j7-9, jD, I5-8, I1-4 = Jurassique- marbres et marbres dolomitiques; t9 = Rhétien-cornéennes tachetées.
- **Paléozoïque :** k1-3 = Cambrien- formations grésopélitiques métamorphisées, à intercalations de cipolins (C).
- **Formations métamorphiques de haut grade :** ζM = gneiss (métatexites); G = granulites.
- **Roches magmatiques :** - *mésozoïques* : θ = gabbros; dθ = dolérites (ophites) ; - *hercyniennes* : γ4= granodiorite à biotite; η2 = tonalite; γ2-bm = granite à muscovite-biotite; P = filon de pegmatites; Q = filon de quartz.

Martinique :

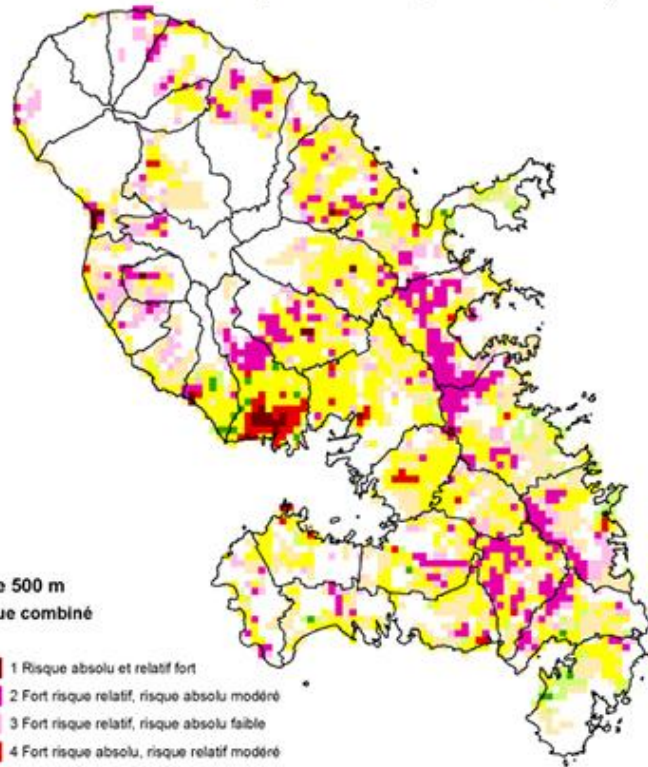


Cartographie départementale du risque sismique de la Martinique

Scénario : aléa régional, PGA au rocher 300 milli-g

Effets de site lithologiques
Effets de site topographiques

Département de la Martinique Carte de risque combiné (absolu et relatif)



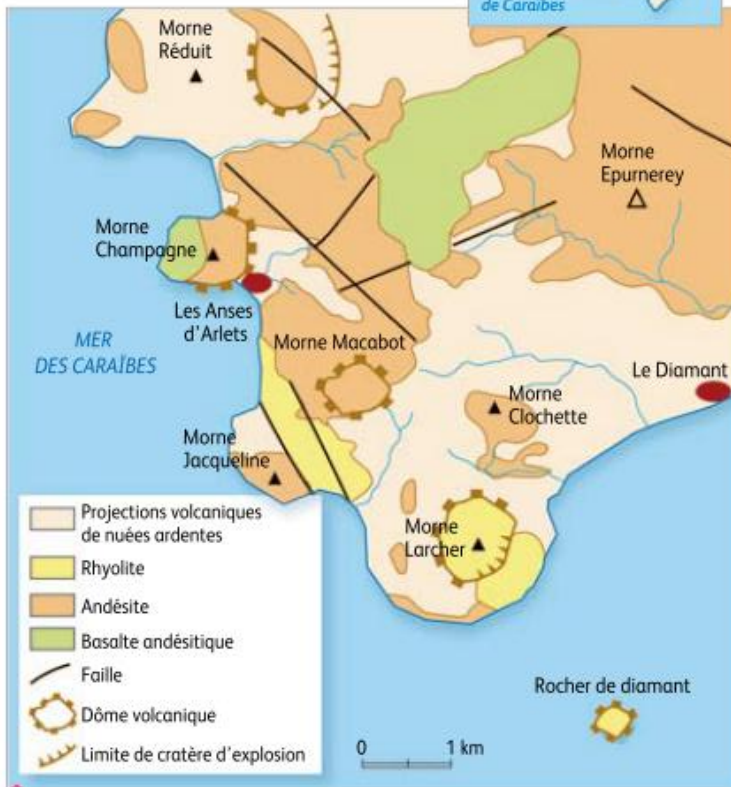
Grille 500 m
Risque combiné

- 1 Risque absolu et relatif fort
- 2 Fort risque relatif, risque absolu modéré
- 3 Fort risque relatif, risque absolu faible
- 4 Fort risque absolu, risque relatif modéré
- 5 Risque relatif et absolu modérés
- 6 Risque relatif modéré, risque absolu faible
- 8 Risque relatif faible, risque absolu modéré
- 9 Risque absolu et relatif faible

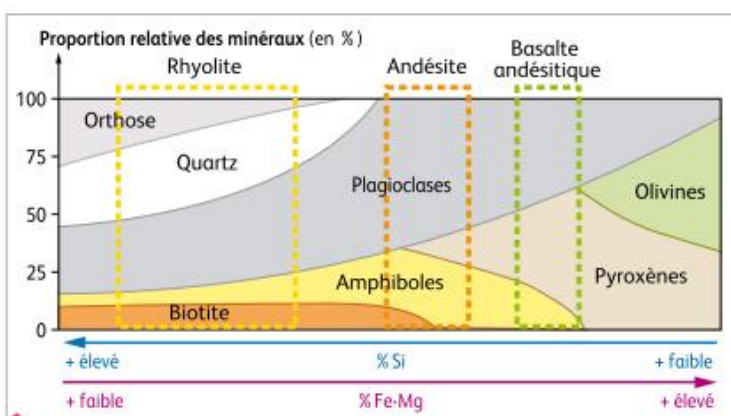


1 Les roches de la Martinique

- ▶ La Martinique est une des îles de l'arc volcanique des Petites Antilles.
- ▶ Au Nord-Ouest de l'île, la Montagne Pelée est un volcan actif : ses dernières éruptions majeures datent de 1902 et des années 1929-1932. Les retombées des projections volcaniques recouvrent un peu partout les coulées de laves refroidies.
- ▶ Au Sud-Ouest de l'île, sur la presqu'île des Trois Îlets, les roches volcaniques formées par refroidissement des laves sont beaucoup plus accessibles.



a Extrait simplifié de la carte géologique de la Martinique au 1/50 000^e dans le secteur de la presqu'île des Trois Îlets.



b Composition minéralogique des trois principaux types de roches volcaniques présentes à l'affleurement sur le secteur des Trois Îlets. Du fait de leur chimie, les amphiboles sont des **minéraux hydroxylés**.

2 L'andésite, une roche caractéristique de la subduction

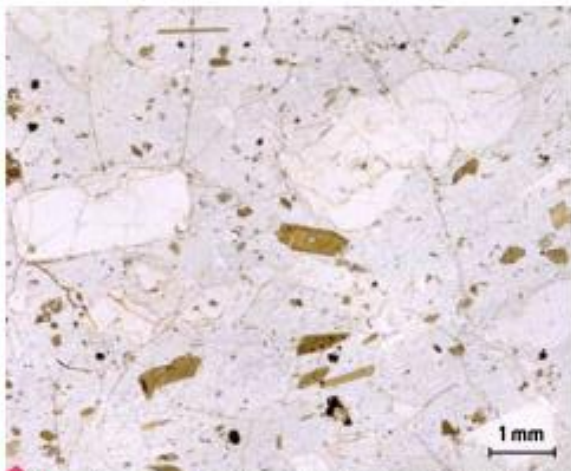
Les andésites sont avant tout des roches volcaniques caractéristiques du volcanisme des Andes. Souvent associées à d'autres roches telles que des **basaltes andésitiques** et des **rhyolites**, elles n'en demeurent pas moins les roches volcaniques majoritaires des zones de subduction.

Si les andésites sont les roches volcaniques caractéristiques de la subduction, les basaltes sont quant à eux les roches volcaniques caractéristiques du plancher océanique.

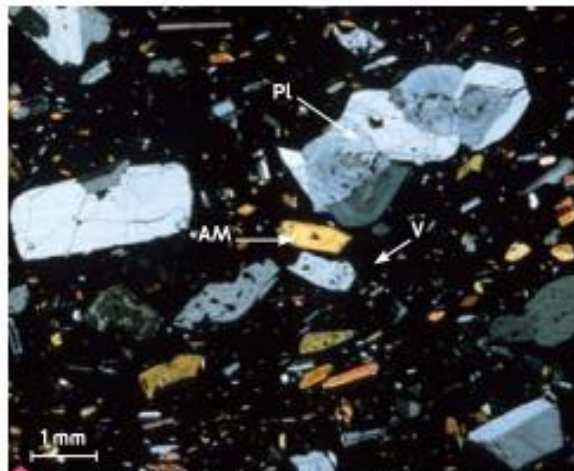
Des études géochimiques montrent que les péridotites sont à l'origine des magmas dont le refroidissement est à l'origine de ces deux types de roches.



Échantillon d'andésite.



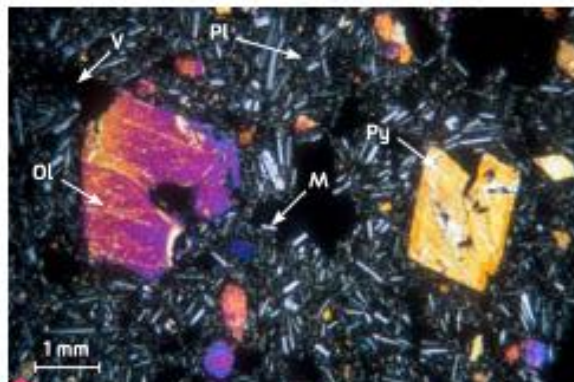
Lame mince d'andésite observée au microscope (LPNA).



Lame mince d'andésite observée au microscope (LPA).
Pl : plagioclase ; AM : amphibole ; V : verre.



Échantillon de basalte.



Lame mince de basalte observée au microscope (LPA).
Pl : plagioclase ; Py : pyroxène ; Ol : olivine ; V : verre ; M : microlites.

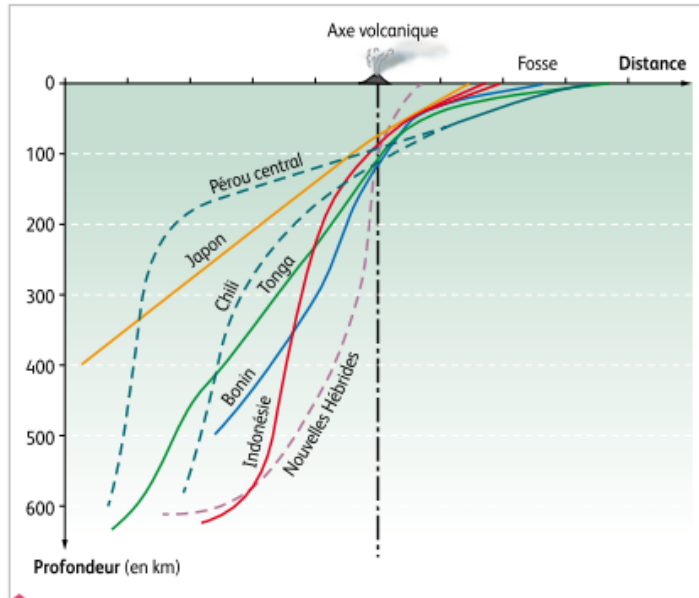
| Éléments chimiques | O | Si | Al | Ca | Mg | Fe | Na | K | H |
|--------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Basalte (1) | 44,3 | 23,5 | 8,1 | 8,1 | 4,6 | 7,9 | 2,0 | 0,2 | - |
| Andésite (2) | 46,2 | 27,3 | 9,0 | 5,1 | 1,6 | 6,8 | 2,8 | 0,7 | 0,1 |

Compositions chimiques de deux roches volcaniques (en % massique).

(1) Basalte de la dorsale atlantique ;
(2) Andésite de la Montagne Pelée.

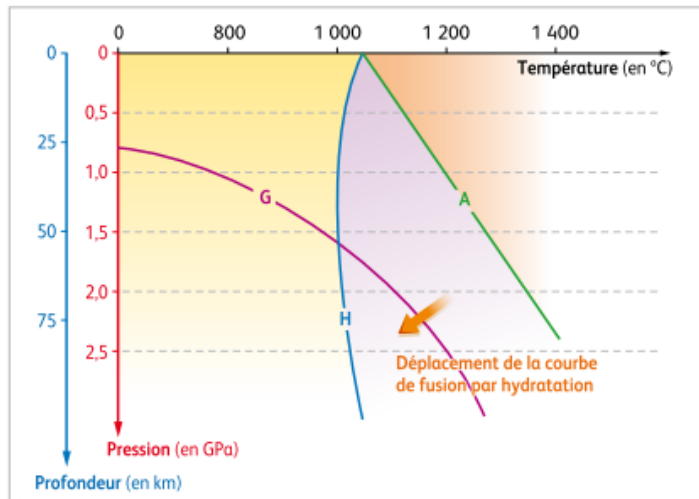
1 Géotherme et fusion partielle de la péridotite

Les volcans actifs des zones de subduction se concentrent le long d'un arc volcanique parallèle à la fosse de subduction. Les données sismiques permettent de reconstituer la position du sommet de la lithosphère subduite à l'aplomb de l'arc.



a Géométrie des panneaux lithosphériques sous différents arcs volcaniques de subduction.

Il est possible, en laboratoire, de soumettre la péridotite à des conditions de pression et de température comparables à celles qui règnent dans le manteau terrestre en absence ou en présence d'eau. On peut alors définir les conditions physico-chimiques qui lui permettent de produire du magma par **fusion partielle**.



b Conditions de fusion expérimentale de la péridotite.

La courbe A représente le **solidus** du manteau sec, la courbe H celle du solidus hydraté. La courbe G représente l'évolution moyenne de température dans le manteau situé sous une croûte continentale en fonction de la profondeur.

7 Des empreintes géochimiques dans les laves antillaises

▶ À l'Est de l'arc volcanique de Saint-Vincent, l'île de la Barbade est le sommet émergé d'un prisme d'accrétion.

▶ Dans ce secteur, on considère que les sédiments déposés sur la lithosphère océanique sont, pour partie, rabotés et intégrés au prisme d'accrétion qui poursuit ainsi sa croissance et accompagnent, pour une autre partie, la lithosphère océanique dans sa subduction vers le manteau plus profond.

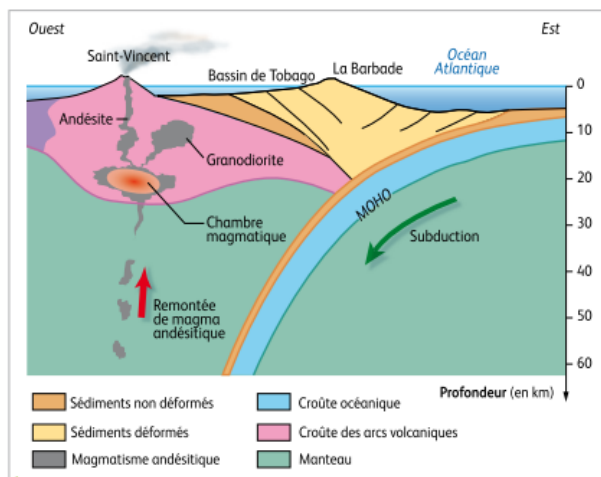
▶ Les rapports isotopiques des laves de cette région sont comparés aux rapports isotopiques des sédiments océaniques et des basaltes récents de dorsales. On admet que, les rapports isotopiques des magmas récents diffèrent peu de ceux du manteau dont ils sont extraits par fusion partielle.

QUESTIONS

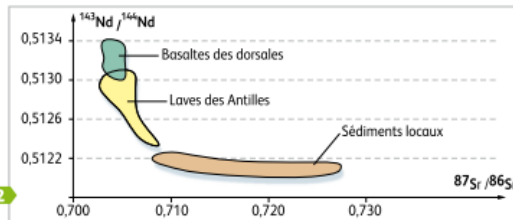
1 Expliquez comment les données géochimiques valident l'idée d'un enfouissement de sédiments vers le manteau (document 1) ?

2 Justifiez votre réponse en formulant des hypothèses susceptibles d'expliquer les caractéristiques particulières des laves dans cette région.

Rapports isotopiques des roches volcaniques des Antilles.



1 Coupe schématique de l'arc des Antilles à la latitude de l'île de Saint-Vincent.



2

Prisme de la Barbade :

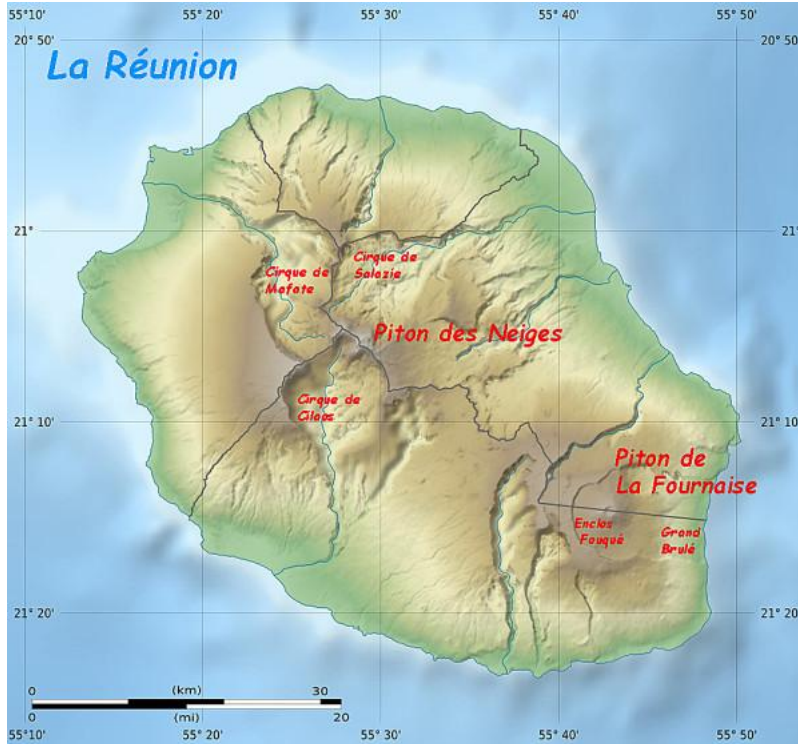


Sédiments de la partie émergée du prisme d'accrétion de la Barbade (Région de Windy Hill, Est de la Barbade).

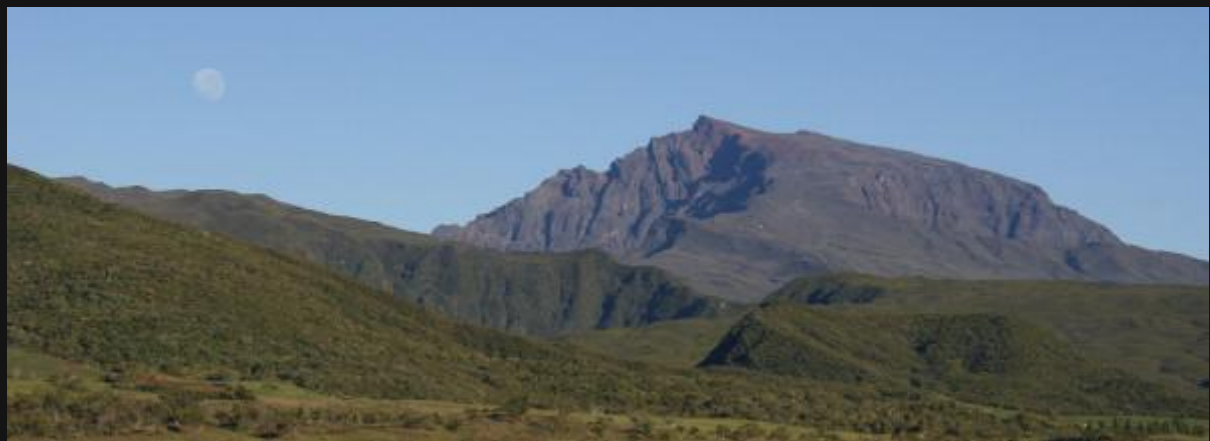


Profil sismique au travers du prisme (O-E)

Réunion : Située 700 km. à l'est de Madagascar, l'île de la Réunion est entièrement d'origine volcanique. Elle est constituée d'un massif intraplaque, du à une remontée de magma profonde perçant la plaque Africaine : "un point chaud". L'accumulation de produits éruptifs sur le fond océanique, à moins 4.000 mètres, a fini par créer une île de forme elliptique, de 70 km. sur 50, allongée NO-SE., d'une superficie de 2.512 km².

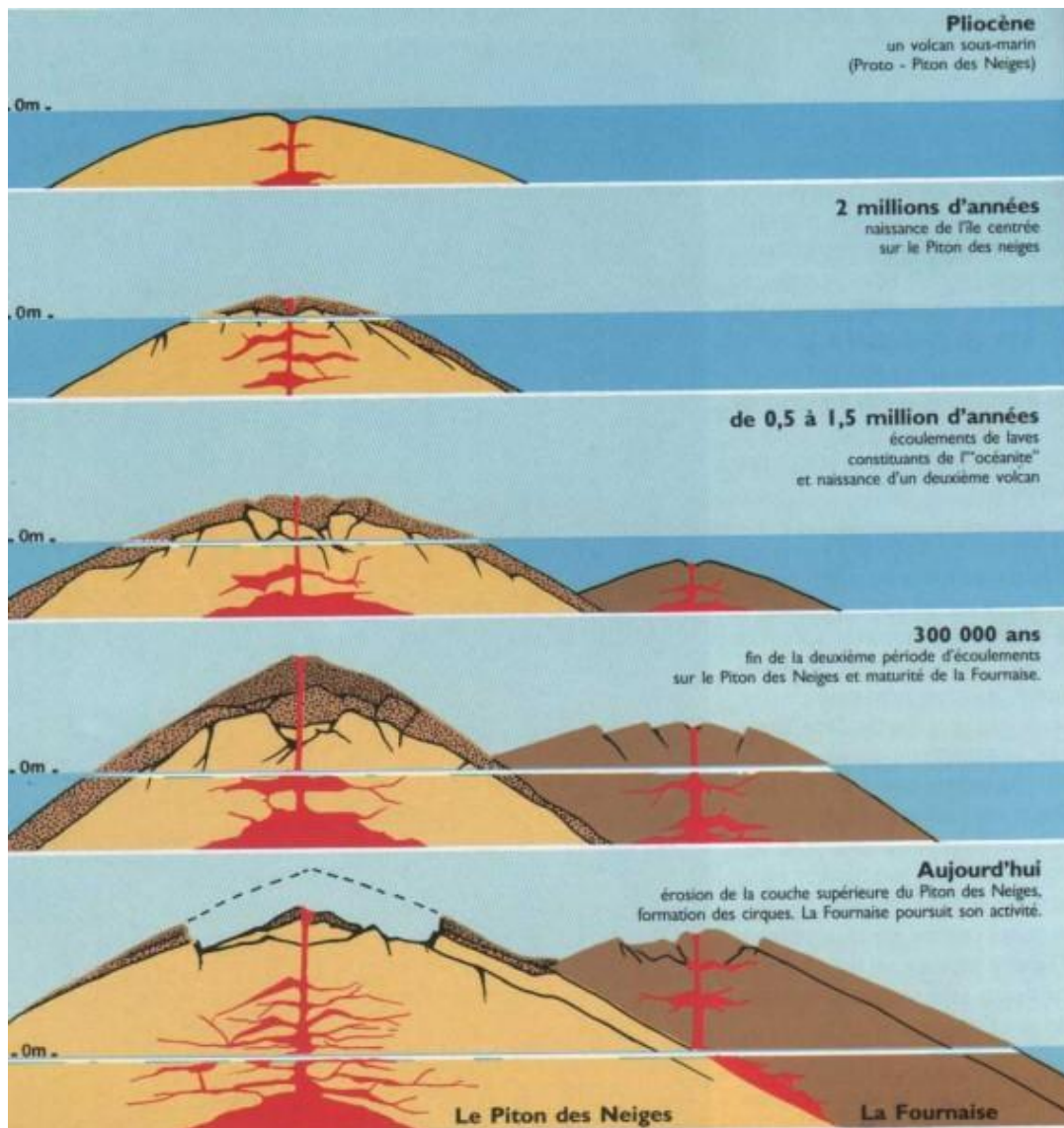


Le Piton des Neiges - 3.070 m. :



Le Piton des Neiges - photo B.Navez 10.2008

Ce vaste cône volcanique de 50 km. de diamètre voit sa zone sommitale fortement érodée et entaillée par trois cirques disposés en feuille de trèfle : les cirques de Mafate, Cilaos et Salazie; ils enserrant le Piton des Neiges strictu senso, point culminant de l'île et des Mascareignes.



L'histoire sous-marine du Piton des Neiges n'est pas connue; elle doit avoir débutée, il y a 6 à 10 millions d'années, sur une dorsale fossile ayant cessé de fonctionner il y a 60 Ma.

Le volcan n'est sorti des eaux qu'il y a un peu plus de 2 Ma. Ce grand bouclier, formé d'un empilement de coulées basaltiques, s'est affaissé, il y a 430.000 ans, avec la formation d'une caldeira de 30 km de diamètre.

Cent mille ans plus tard, un appareil volcanique aux pentes plus fortes s'installe sur le précédent : cette phase correspond à l'émission de laves trachytiques et à l'apparition de phénomènes plus explosifs, avec coulées pyroclastiques et ignimbrites recouvrant l'ensemble du volcan. Il y a 190.000 ans, le réservoir magmatique étant partiellement vidé, on assiste à un collapsus générant une nouvelle caldeira elliptique de 15 km. de long... qui sera comblée par le produit de nouvelles éruptions.

Il y a 70.000 ans, un nouvel affaissement de la caldeira joint à une érosion, guidée par la tectonique, sont à la base du creusement des cirques. Les dernières nuées ardentes trachytiques sont datées de 20.000 ans.

Une activité plus paisible clôturera l'histoire volcanique du Piton des Neiges avec la construction du cône strombolien sommital.

Le Piton de La Fournaise - 2.632 m.:

Suite au déplacement de la plaque Somalienne au dessus du point chaud, s'est créé un second volcan, qui repose sur le flanc sud-est de son encombrant voisin.

Ce volcan-bouclier aux pentes faibles est marqué dans sa partie sommitale par deux grands effondrements volcano-tectoniques plus ou moins concentriques ; le plus grand, est souligné par le rempart de la Plaine des sables.

Le second est l'enclos Fouqué, une dépression en U, ouverte vers la mer et bordée par les Rempart du Bois Blanc et du Tremblet. La dépression enserme un cône central couronné par un double cratère, siège de la plupart des éruptions historiques : le fameux Piton de La Fournaise.



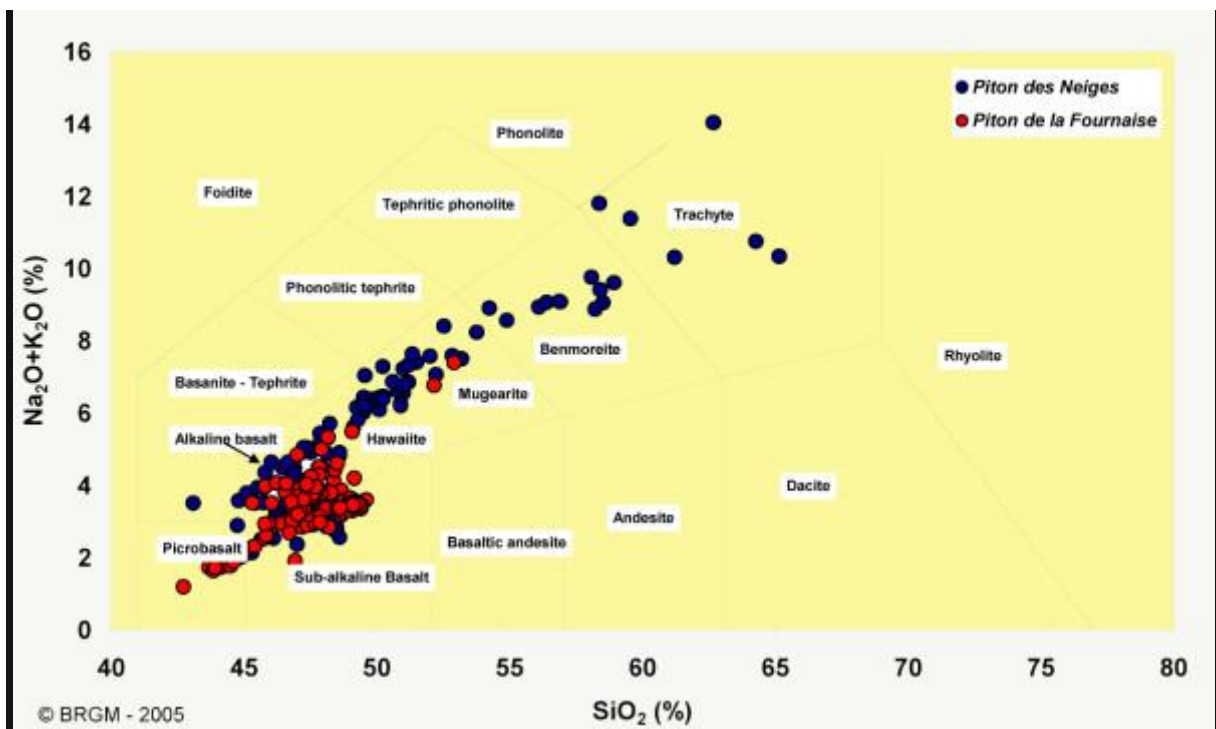
Maquette topographique du Piton de La Fournaise .

Le massif de La Fournaise est entaillé par trois vallées ayant souvent plus de mille mètres de profondeur : au sud, les rivières de Remparts et Langevin, au nord, la rivière de l'est.

Évolution des produits volcaniques lors de leur ascension vers la surface : les chambres magmatiques

Les produits volcaniques de La Réunion recouvrent une grande diversité pétrologique : des basaltes, des hawaïites, des mugéarites, des benmoréites, des trachytes. Seuls les basaltes sont produits par fusion partielle du manteau. Les autres sont les produits de la cristallisation fractionnée dans des chambres magmatiques sous l'édifice volcanique. Les nombreuses études pétrologiques couplées à des datations et à des analyses géochimiques ont permis d'aboutir à un modèle magmatique rendant compte des produits au stade différencié en dépit de leur apparente complexité.

Ce modèle propose deux réservoirs magmatiques superposés à évolution indépendante : un réservoir profond (vers 15 km de profondeur) et des réservoirs superficiels plus petits. Dans le premier, se serait différencié lentement un magma tandis que dans les seconds se serait différencié plus vite un magma issu du réservoir profond. Les roches « pintades » (*) seraient issues directement du réservoir profond alors que les roches plus différenciées auraient évolué dans les réservoirs superficiels. Des temps de résidence suffisamment importants du magma dans ces réservoirs superficiels ont constitué des conditions favorables à la cristallisation fractionnée, ce qui a permis d'aboutir à l'élaboration d'une gamme de produits très différenciés allant jusqu'aux comendites (formes de trachytes rhyolitiques**).

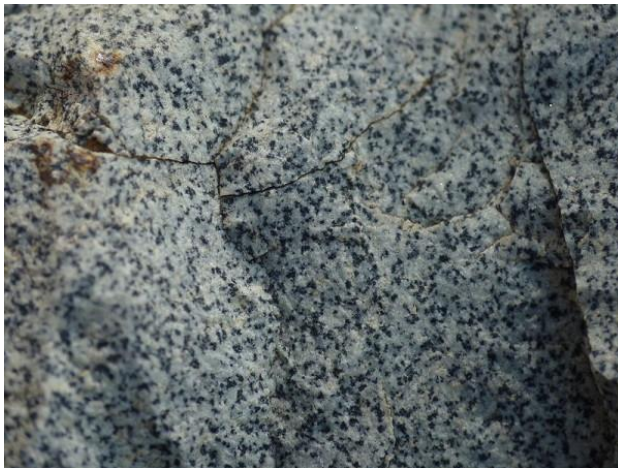


(*) Les "roches pintades" de La Réunion sont des hawaiiites, et donc des trachy-basaltes, qui présentent des gros cristaux blancs de feldspath dans une matrice sombre, d'où leur nom qui rappelle le plumage des pintades.

Massif de La Fournaise - Rivière des remparts - "Roche pintade" - doc. JF.Moyen.



(**) : Les comendites : roches très dures; forme gris-bleuté de rhyolite.



Comendite -