

I.

Stratigraphie et Chronologie relative

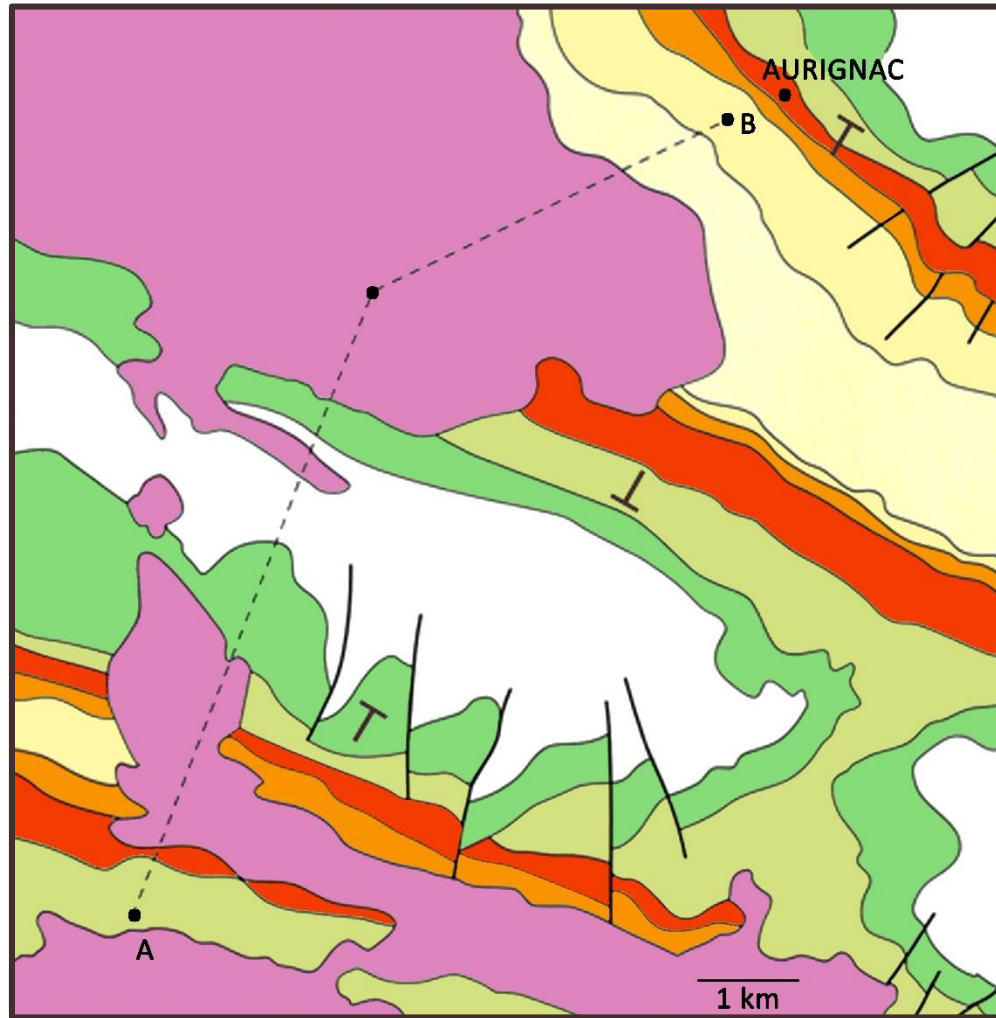


Sur le plan historique

Au tout début de la première moitié du XIX^{ème} siècle, les géologues ne travaillent que sur les caractères lithologiques des roches : on recherche avant tout des roches utiles, des minerais... pour la construction et la sidérurgie naissante.

Dans le raisonnement qui suit, on va se mettre à la place de géologues de cette époque qui ne raisonne que sur la lithologie des roches.

Objectif : retracer l'histoire géologique d'une région à partir de cartes et coupes géologiques



Extrait de la carte géologique d'Aurignac
au Nord de Saint-Gaudens (Haute-Garonne)

L'interprétation rapide, sommaire de la coupe de la région d'Aurignac pourrait venir en premier pour poser les problèmes.

1- Ce que les géologues (stratigraphes ou tectoniciens de formation) construisent en premier à partir des observations, prélèvements et relevés de terrains (carrières, affleurements divers, pierres volantes), c'est la carte géologique.

Pour la construire, on dira en simplifiant qu'ils vont reporter sur un fond de carte topographique existant (donc une surface à deux dimensions) et par une même couleur les roches ou les formations présentant des faciès identiques.

L'intérêt des carrières, des tranchées de routes ou de certains affleurements exceptionnels comme les falaises en régions montagneuses ou côtières est qu'ils offrent, en plus, de véritables coupes naturelles (à l'échelle locale) qui permettent d'accéder à une troisième dimension : la profondeur.

Mais la région d'Aurignac est pratiquement plane : altitude moyenne autour de 350-400 m.

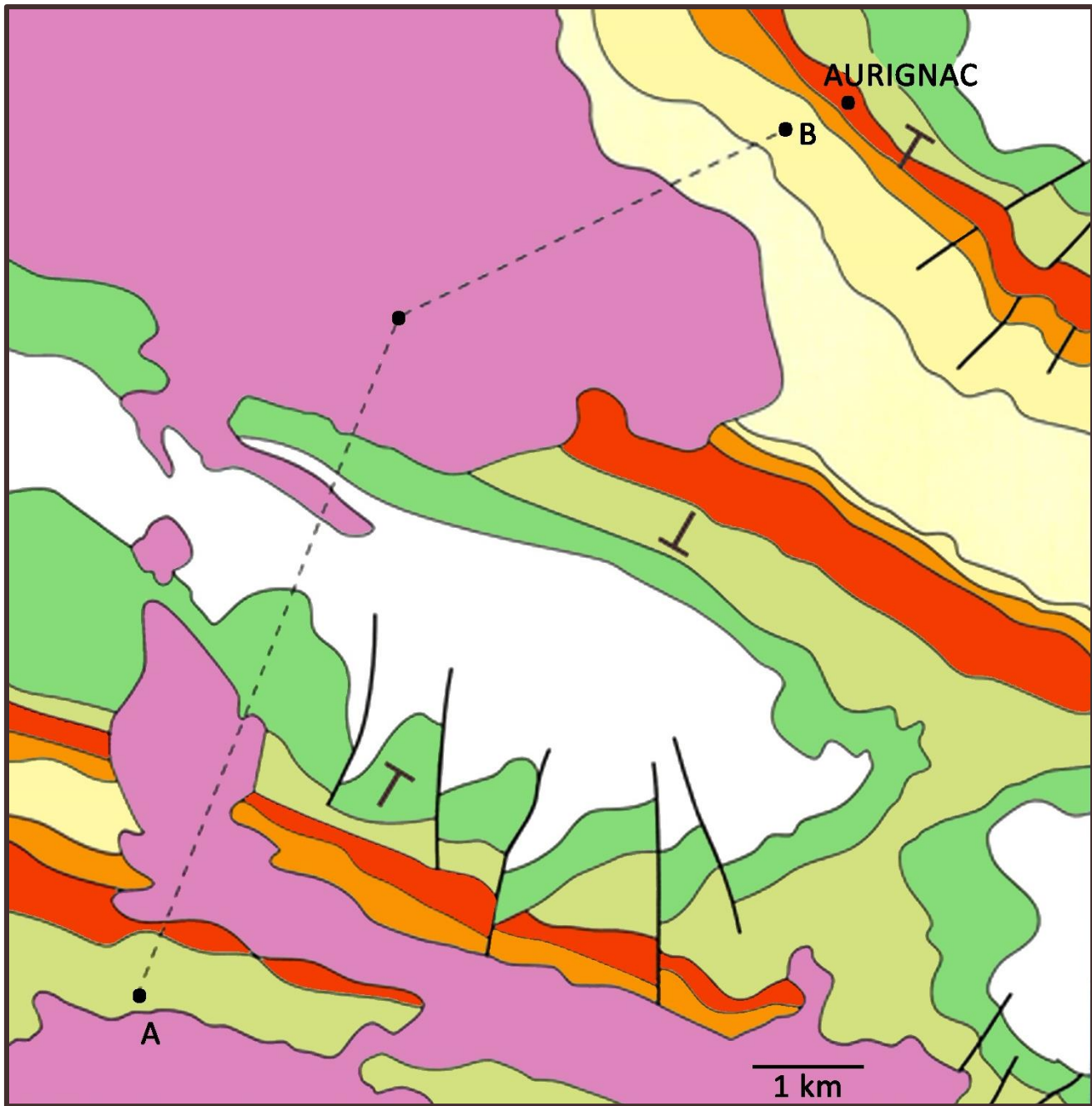
2- Les affleurements ne sont généralement que ponctuels et donc discontinus.

Supposons maintenant que sur la carte simplifiée d'Aurignac, les affleurements de même couleur donc de même faciès sont en même temps de même âge (ce qu'il faudra bien sûr démontrer par la suite), ils doivent être par conséquent en continuité, appartenir à une même couche. Est évoqué le **Principe de continuité latérale**.

NB : *Nous sommes en pays sédimentaire.*

Se pose alors le problème d'établir la continuité entre les affleurements de différentes couleurs.

But du jeu donc : comment relier les affleurements de même couleur !



3- On aborde ainsi la coupe géologique donc la troisième dimension.

On ne peut pas les réunir par une couche horizontale. Il reste deux façons de les réunir :

- on peut réunir les deux affleurements orange situés près de A « par le haut ». On suppose alors qu'à l'origine les couches se prolongeaient au-dessus de la surface du sol,
- ou au contraire « par le bas » en les prolongeant dans le sous-sol.

On continue le raisonnement avec les affleurements de même couleur voisins et de proche en proche.

On découvre alors une évidence ! Quelque soit l'option choisie, dans les deux cas, les couches se montrent plissées.

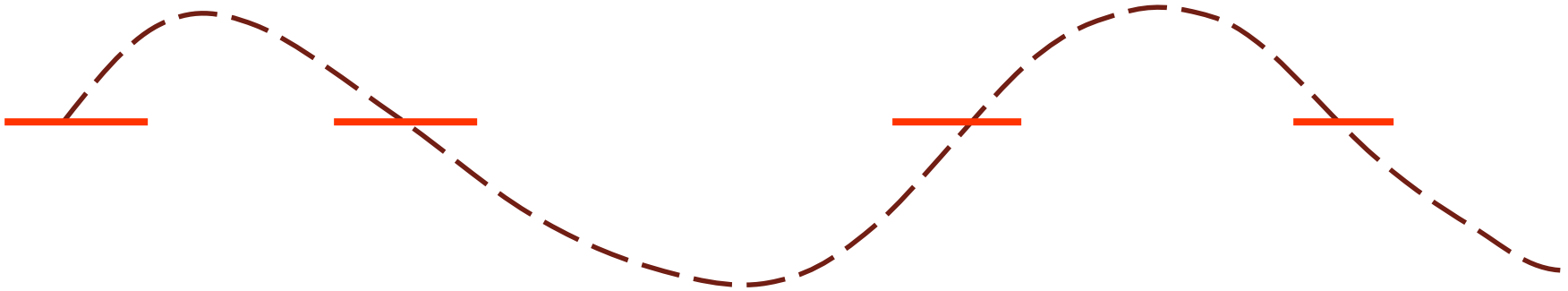
Conclusion : La région d'Aurignac a été plissée à un moment donné de son histoire géologique.

Remarque importante : Mais selon la façon dont on va réunir les affleurements (par le haut ou par le bas), les conséquences vont être complètement différentes en ce qui concerne leurs âges respectifs.

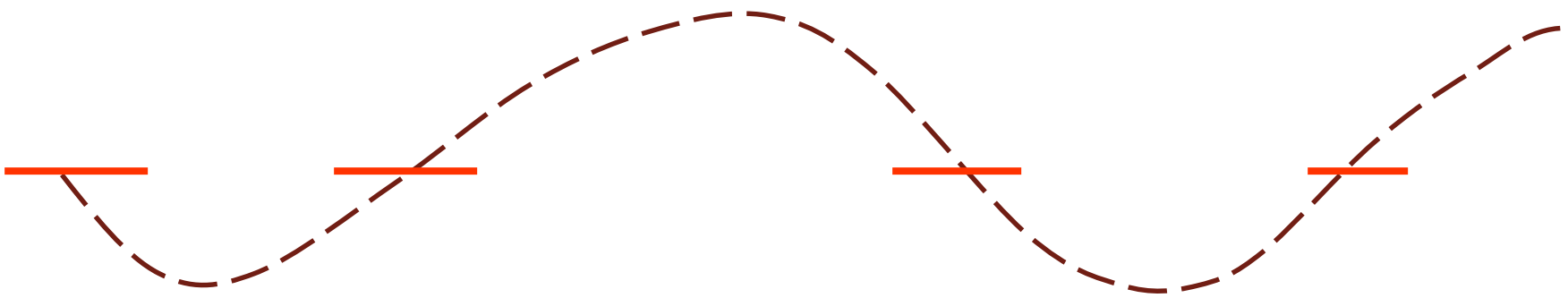
Première hypothèse

SSO (près du point A)

NNE (près d'Aurignac)



Deuxième hypothèse

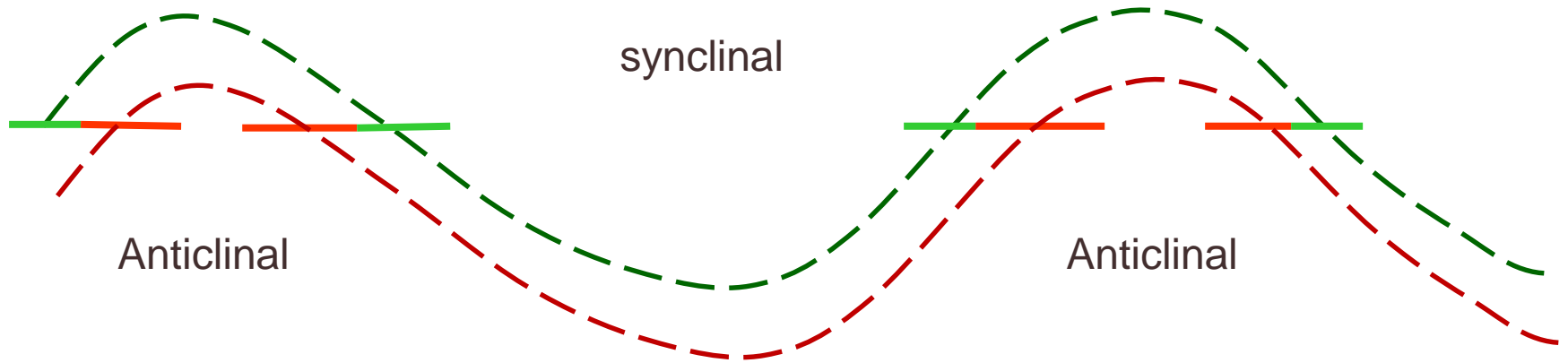


Première hypothèse

SSO (près du point A)

Dans cette hypothèse, la couche ou formation verte est située au-dessus de la couche ou formation brune et donc est plus jeune qu'elle en faisant appel au Principe de superposition.

NNE (près d'Aurignac)

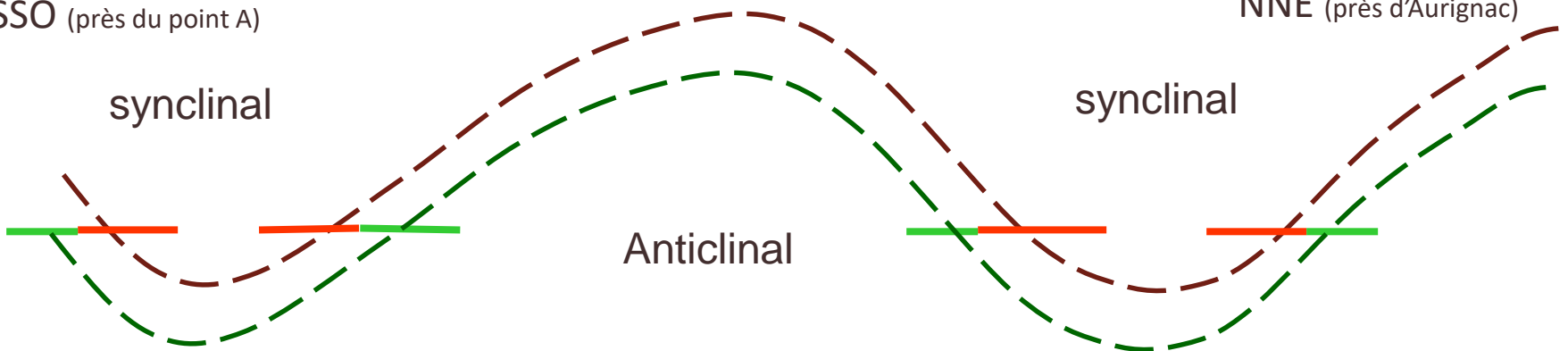


Deuxième hypothèse

SSO (près du point A)

Dans cette hypothèse, la couche ou formation verte est située sous la couche ou formation brune et donc plus âgée qu'elle en vertu du même Principe de superposition !

NNE (près d'Aurignac)

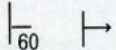


4- Bien évidemment, une seule option est valable. Mais laquelle ?

A votre avis, que va faire de plus le géologue sur le terrain ? Il n'a pas qu'un marteau et une carte topo à sa disposition ! Il a aussi une boussole ! Il va donc noter la direction de ces plis : elle est à peu près Ouest-Est mais encore ?

En même temps qu'il va prélever des échantillons de roches, faire des croquis (pas de photos au XIX^{ème} !), il va mesurer la direction et le pendage des couches. Et il va reporter ces indications sur la carte géologique qu'il est en train de construire sous la forme d'un petit symbole en « T », la barre du « T » représentant la direction des couches et le pied du « T » leur inclinaison par rapport à l'horizontale.

Signes de pendage

 Pendage incliné de la stratification

 Le pied du « T » est orienté vers le « bas » topographique.

Cette inclinaison ou pendage est donnée par une valeur numérique exprimée en degrés, la direction par l'angle que fait la barre du « T » avec le Nord géographique de la carte.

NB : Aujourd'hui, on mesure le pendage avec un inclinomètre. A cette époque, si l'inclinomètre n'existait pas, nos géologues pouvaient utiliser le fil à plomb et le rapporteur ! Ils devaient utiliser un « éclimètre ».

5- On examine ces symboles sur la carte d'Aurignac.

On a donc successivement du SO vers le NE (profil AB) : une « cuvette » ou synclinal puis une « bosse » ou anticlinal et de nouveau, immédiatement au Sud d'Aurignac, une nouvelle « cuvette » ou synclinal. Un anticlinal débute tout au NE de la carte mais il est en dehors de la coupe AB.

On a notre réponse ! L'hypothèse 2 est la bonne!

On peut alors dater relativement les couches ou formations en appliquant le Principe de superposition.

Sur la carte muette d'Aurignac, la couche la plus ancienne est la blanche puis viennent la vert foncé, la vert-jaune, l'orange foncé, l'orange clair, la jaune foncé et la jaune clair.

6- Pourquoi a-t-on alors autant de couleurs différentes sur la carte ?

Normalement, vue d'avion, on ne devrait avoir qu'une seule couleur : celle de la dernière couche déposée, la plus jeune.

Réponse : Il y a eu érosion des anticlinaux ... tout simplement parce qu'ils formaient des reliefs.

Mais s'il y a eu érosion, qu'est-ce que cela implique obligatoirement ?

Cela implique que ces plis ont été émergés pour qu'ils soient soumis à l'action des agents d'érosion que sont l'eau, le gel, le vent... Si la région d'Aurignac était auparavant sous la mer (ce qu'on ne sait pas !), elle a dû émerger à une période donnée.

Remarque : On peut facilement localiser cartographiquement un anticlinal. Au cœur d'un anticlinal, affleure toujours un terrain plus vieux que ses bords et inversement pour un synclinal.

7- Tout a-t-il été plissé?

Non ! Pas la couche violette qui recoupe sur la carte toutes les couches précédentes qui ont été plissées. Elle est **en discordance cartographique** sur toutes les autres.

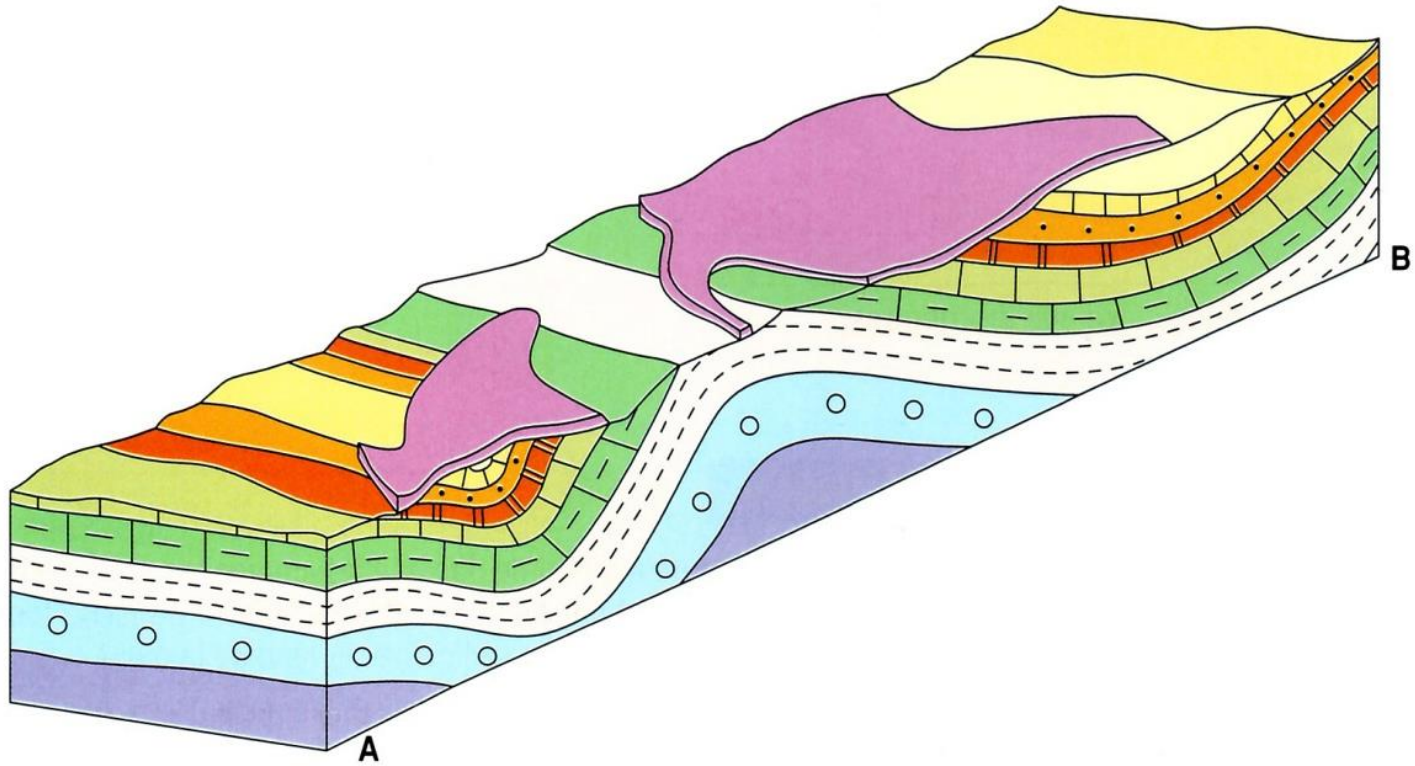
Remarque : Aucun symbole « T » sur la couche violette. Sur le terrain, nos géologues du XIX^{ème} l'ont constaté facilement !

8- Peut-on alors dater le plissement ?

Il est postérieur à toutes les couches autres que la violette puisqu'il les a plissées mais antérieur à la couche violette qui n'a pas été plissée, qui est restée horizontale.

On vient de mettre ici en évidence un troisième grand principe de la stratigraphie qui est le **Principe de recoupement**.

Parallèlement, on date relativement la couche violette : c'est la plus jeune de la carte.



Coupe géologique et bloc diagramme selon AB

On peut alors reconstituer une chronologie relative des événements qui se sont succédés dans la région d'Aurignac en utilisant uniquement des critères géométriques sur lesquels reposent les principes fondamentaux de la stratigraphie que l'on a évoqués (superposition, recoupement, continuité) et quelques repères lithologiques concernant les roches.

1- **Sédimentation** de la couche bleu foncé puis de la couche bleu ciel puis de la couche blanche puis de la couche vert foncé puis de la couche vert clair puis de la couche orange foncé puis de la couche orange clair puis de la couche jaune foncé puis de la couche jaune clair.

2- **Plissement** de toutes ces couches ce qui a engendré des anticlinaux et des synclinaux, du relief.

3- **Erosion** des anticlinaux ce qui implique qu'ils étaient à l'air libre à la suite du plissement et donc que si la région d'Aurignac était avant sous l'eau, elle a dû émerger.

4- Conséquence de cette érosion : **pénéplanation**. La région a été complètement aplanie, il s'est formé une pénéplaine.

5- Puis finalement, **sédimentation** de la couche violette.

Ça ne vous rappelle rien, cette superposition d'une formation horizontale sur des couches plissées ?

On a l'équivalent en Vendée !

A Jard ! Et c'est ce qu'on appelle une **discordance angulaire**.

On aurait pu aussi dater les quelques failles qui figurent sur la carte : elles coupent pratiquement toutes les couches sauf la violette.

Conclusion : Elles sont pratiquement contemporaines du plissement.

On a donc daté relativement nos couches, nos strates et les événements géologiques qui ont eu lieu : plissement, érosion, failles ... uniquement en exploitant leurs relations géométriques.

1- On a d'abord mis en continuité les affleurements de roches de même lithologie en appliquant un premier principe de la stratigraphie qui est le **Principe de continuité (latérale)**.

2- Puis en appliquant ce principe à toutes les couches et en exploitant leurs pendages, on les a datées relativement en utilisant un second principe de la stratigraphie : le **Principe de superposition**.

3- Enfin, en remarquant que toutes les couches étaient plissées sauf la violette, que cette dernière reposait sur une surface d'érosion qui a affecté toute les couches plissées, on a pu dater le plissement et l'érosion des reliefs par application d'un autre principe de la géologie : le **Principe de recoupement**.

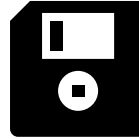
Ce que l'on a fait pour Aurignac, on peut le reproduire pour n'importe quelle autre région de France.

La coupe de la falaise de Jard-sur-Mer à la Pointe du Payré et la coupe d'Aurignac se ressemblent comme deux gouttes d'eau !

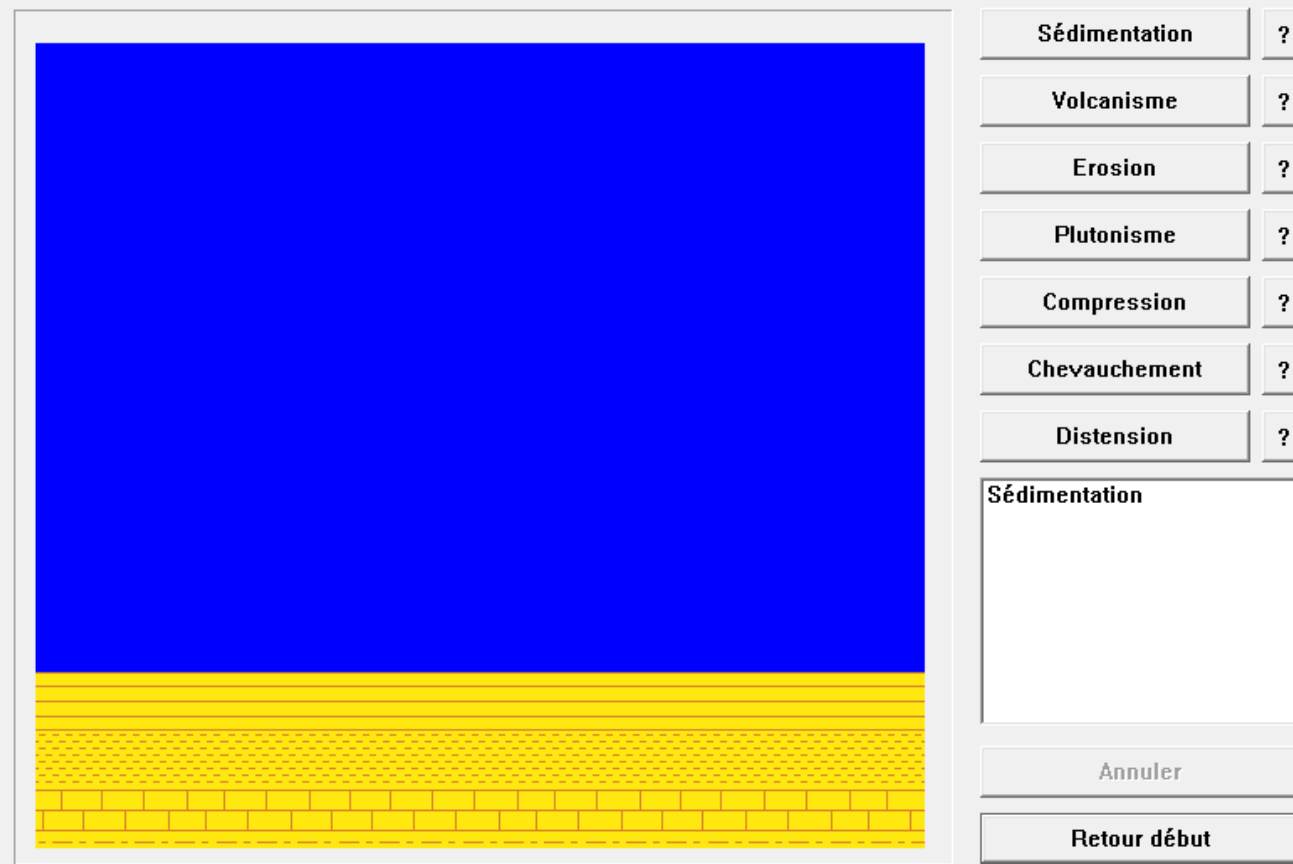
Autres coupes à étudier

(sujets de Bac)

Reconstituer l'histoire géologique de la région d'Aurignac avec « Chronocoupe »



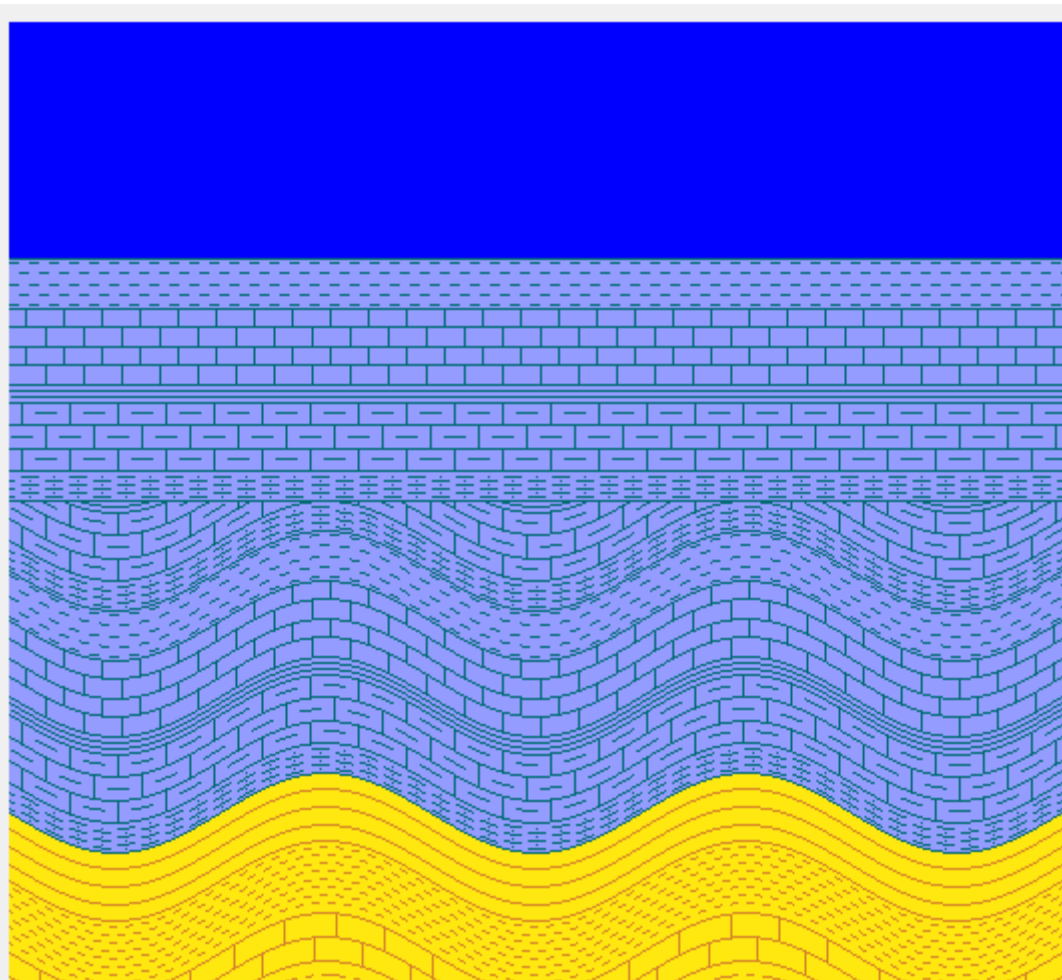
 CHRONOCOUBE
Fichier Événements ?

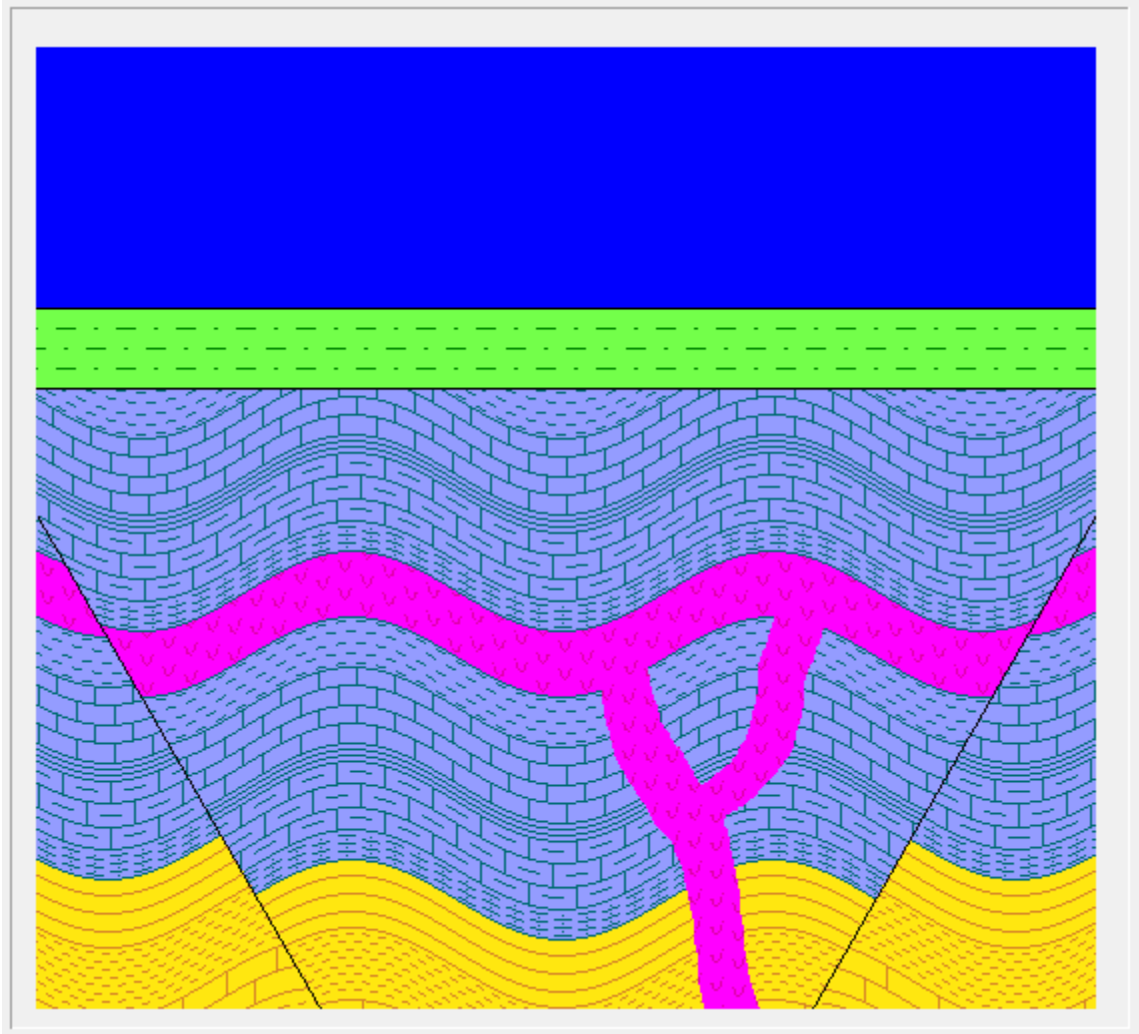


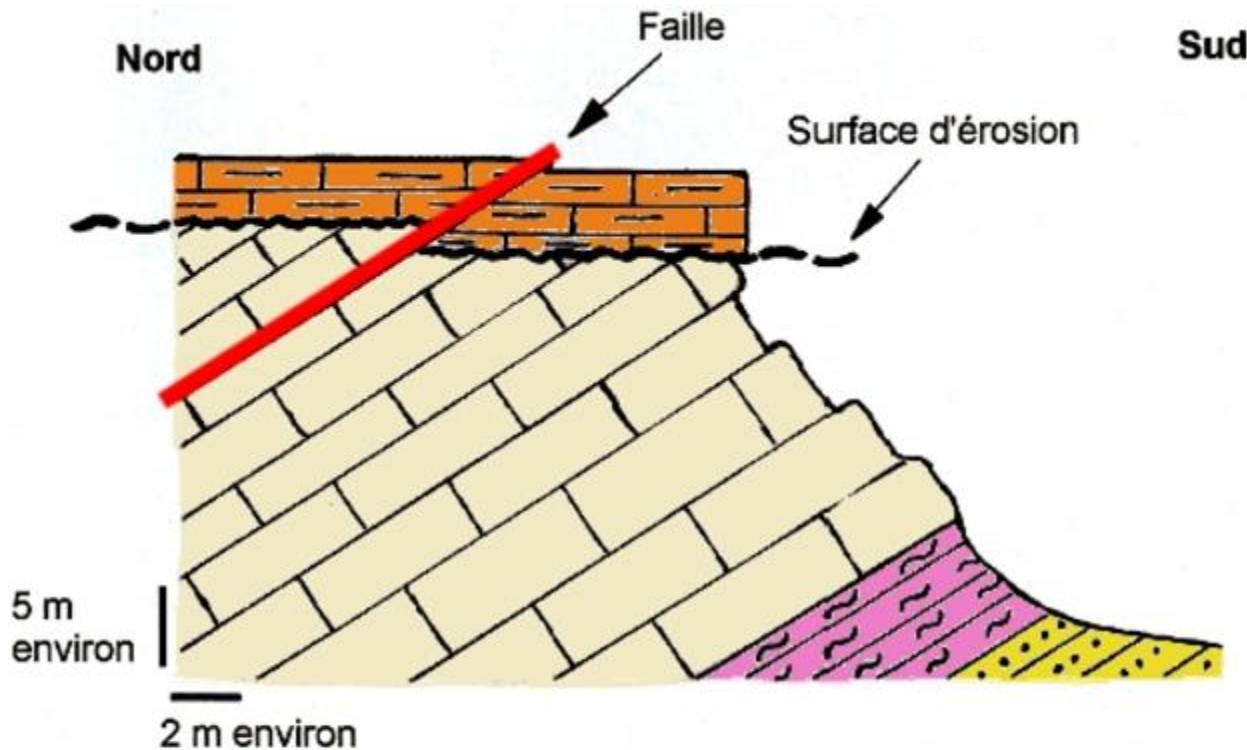
The screenshot shows the Chronocoupe software interface. On the left, a large window displays a geological cross-section with a solid blue upper layer and a yellow lower layer. The yellow layer is divided into three distinct horizontal patterns: a top section with horizontal lines, a middle section with a brick-like pattern, and a bottom section with a dashed pattern. On the right, a vertical panel contains a list of geological events, each in a button with a question mark to its right:

- Sédimentation ?
- Volcanisme ?
- Erosion ?
- Plutonisme ?
- Compression ?
- Chevauchement ?
- Distension ?

Below this list is a text area labeled "Sédimentation" which is currently empty. At the bottom of the right panel are two buttons: "Annuler" and "Retour début".







Légende : nature des roches sédimentaires de l'affleurement.



grès, calcaires et marnes



argilites : détritique fin



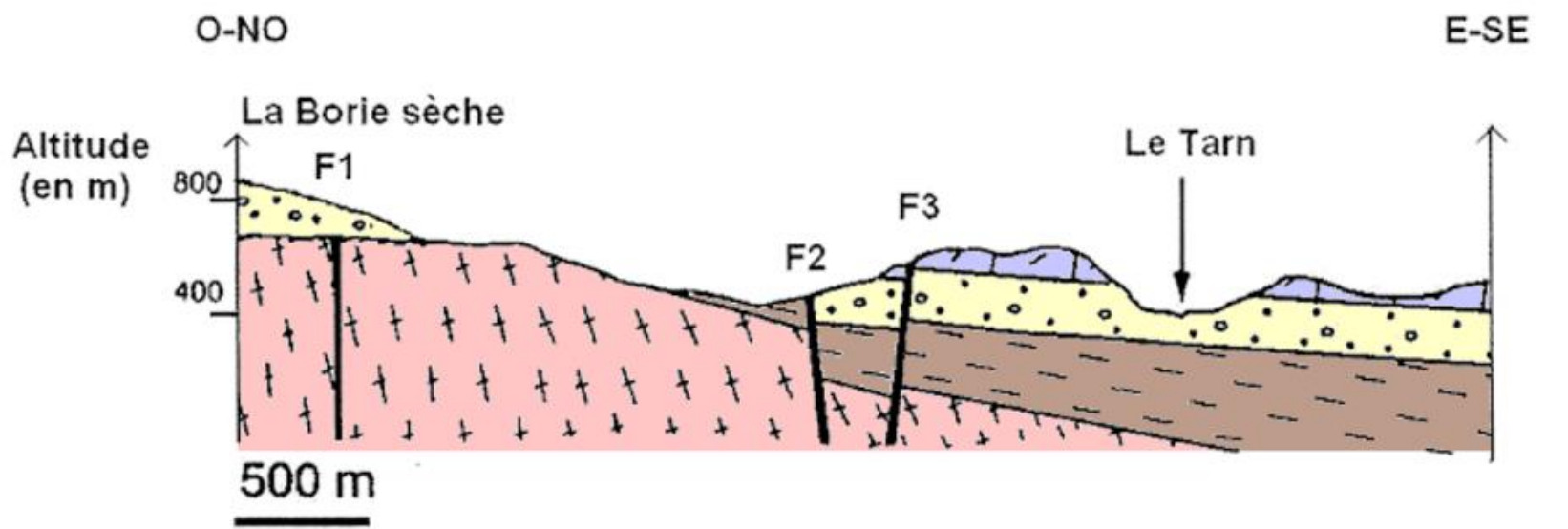
calcaires



arkoses : détritique sableux
calcaires et marnes

Coupe géologique synthétique de la carrière de Laize-la-Ville (Normandie)

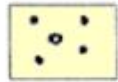
A partir des informations extraites de la coupe ci-dessus, établissez par un raisonnement rigoureux la datation relative des événements suivants : érosion, dépôt des argilites et fracturation (faille).



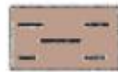
Calcaires



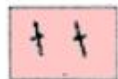
Faille



Grès et marnes subordonnées



Dépôts détritiques : grès arkosiques, shales et grès, pélites lie-de-vin



Socle : granite et gneiss

**Coupe géologique synthétique de la région de La Borie
(Commune d'Aguessac – Aveyron – Sud du Massif Central)**

A partir des informations extraites du document, dites si la faille F1 est plus récente ou plus ancienne que les failles F2 et F3 (F2 et F3 sont de même âge). Justifiez votre réponse.

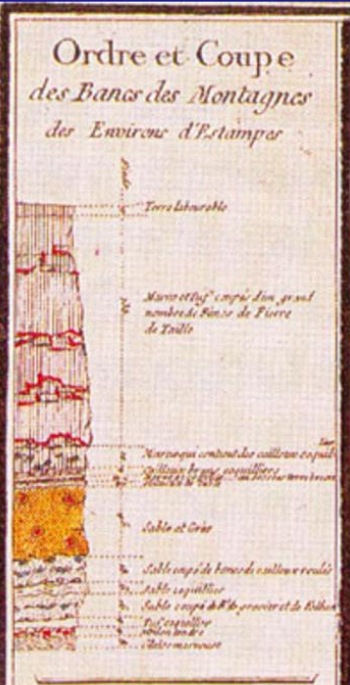
Rappel : Sur le plan historique

Au tout début de la première moitié du XIX^{ème} siècle, les géologues ne travaillent que sur les caractères lithologiques des roches : on recherche avant tout des roches utiles, des minerais... pour la construction et la sidérurgie naissante.

Mais on vient de montrer qu'en étudiant les relations géométriques entre les couches de roches, ils ont pu reconstituer l'histoire géologique de nombreuses régions de France.

Au début du XIX^{ème} siècle, on a déjà établi les grands traits de la géologie de notre pays structuré en :

- bassins sédimentaires (Bassins parisien, aquitain, provençal),
- vieilles chaînes de montagnes à roches essentiellement « éruptives » (cycle hercynien),
- jeunes chaînes de montagnes à roches à la fois sédimentaires et éruptives (cycle alpin)...

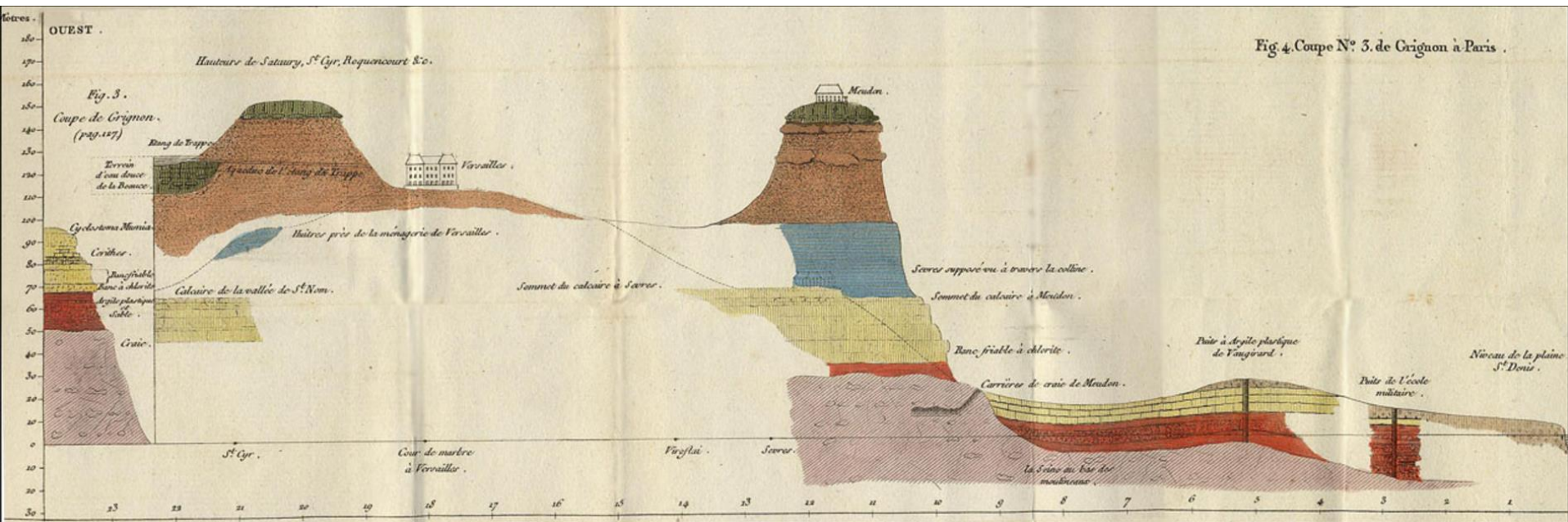


Terre labourable	4 pieds
Marne et tuf coupés d'un grand nombre de bancs de pierre de taille	135
Marne qui contient des cailloux coquilliers	12
Cailloux bruns coquilliers	4
Marne et coquilles	1 et 1/2
Terre brune	1/2
Stalactite de sable	2
sable et grès	45
Sable coupé par des bancs de cailloux roulés	18
Sable coquillier	6
Sable coupé par des bancs de gravier et de falun	16
Tuf coquillier	4
Moellon tendre	4
Glaise marneuse	8

D'après A. de Lavoisier, 1767.

La première coupe historique du stratotype d'Etampes

<http://geologie.mnhn.fr/stratotype/>

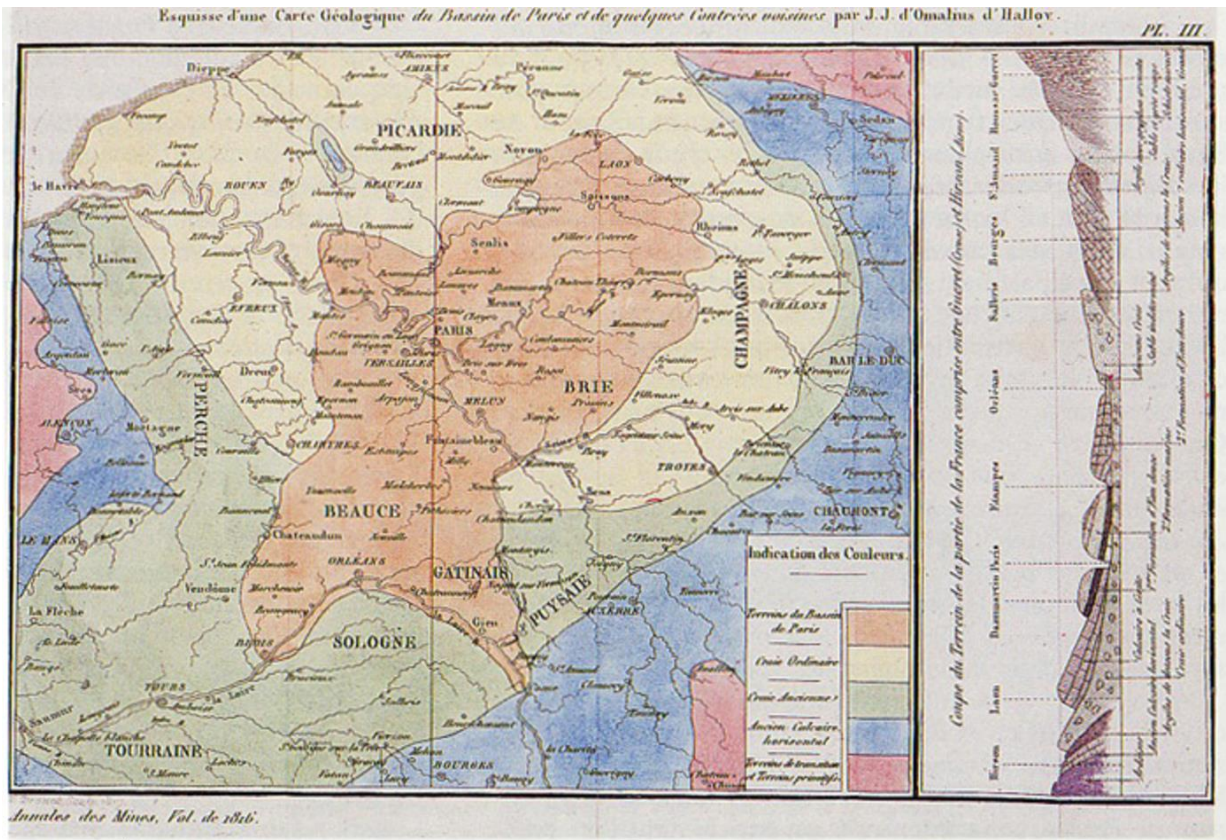


D'après Cuvier et Brongniart, 1811.

Coupe de Grignon à Paris

in « Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris ».

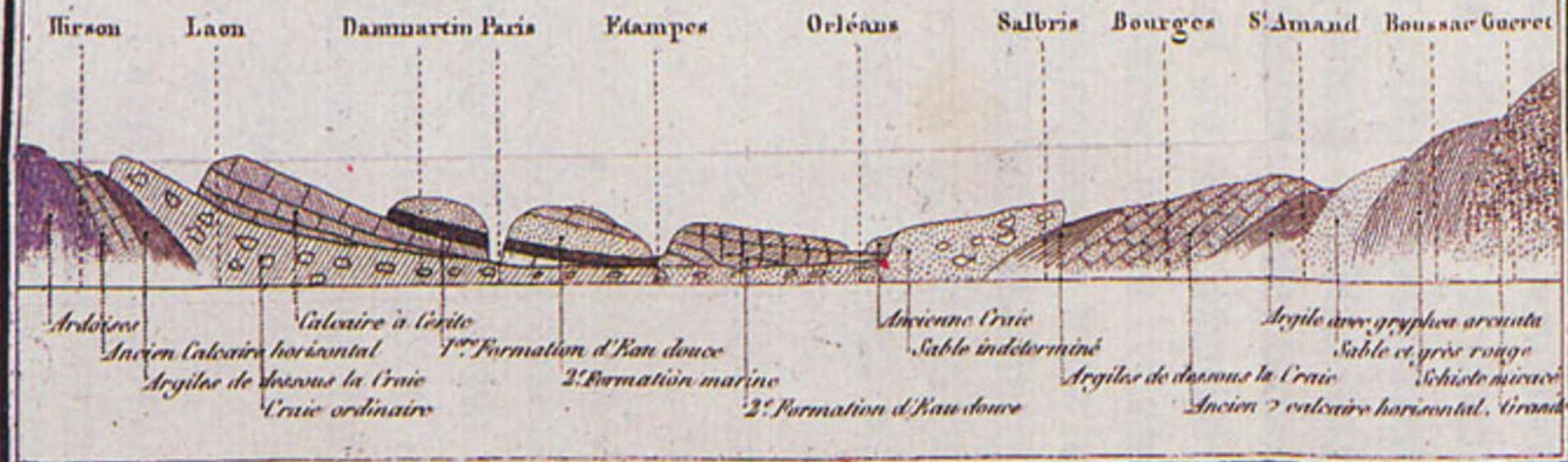
En rose, la craie ; en rouge, l'argile plastique et le sable ; en jaune, le calcaire marin grossier et à cérithes.



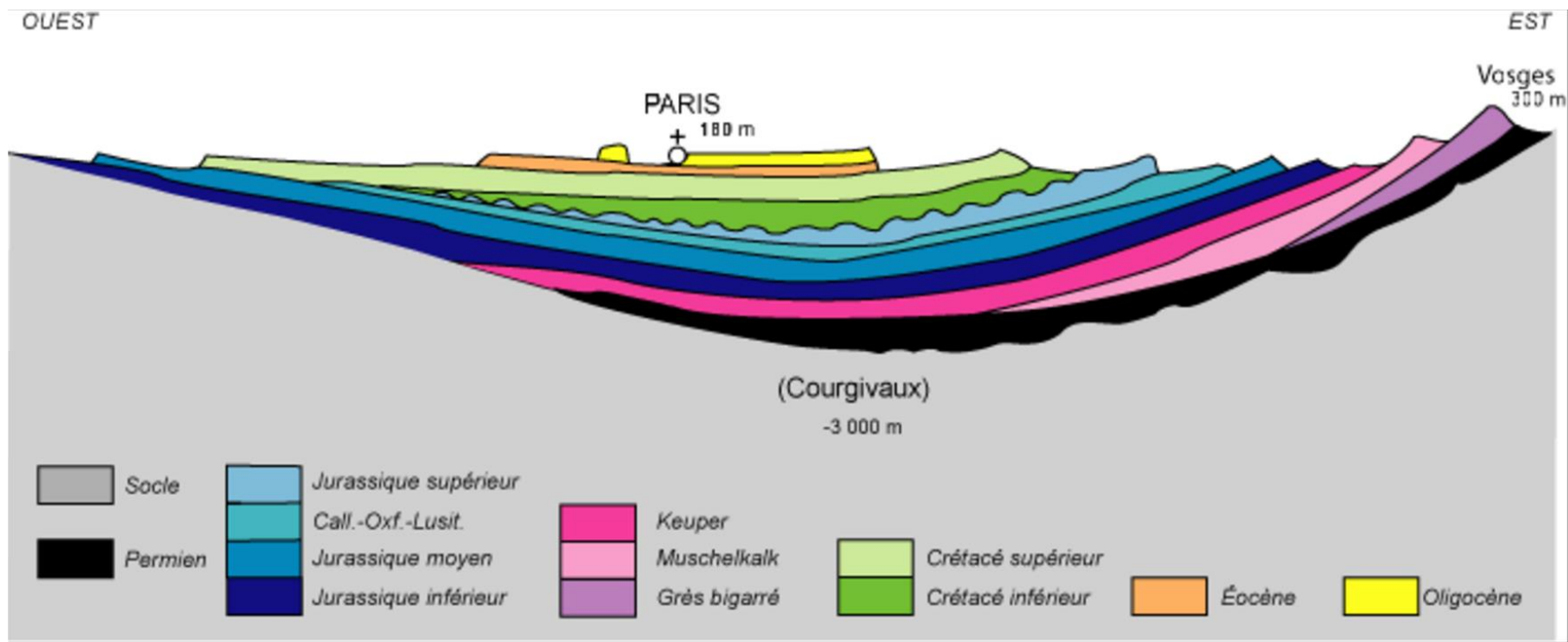
D'après J.B. d'Omalus d'Halloy, 1816.

En 1816, J.B. d'Omalus d'Halloy publie une carte qui montre pour la première fois les auréoles du Jurassique, Crétacé et Tertiaire du Bassin de Paris. Elle comporte en marge la première coupe synthétique jamais publiée de ce bassin.

Coupe du Terrain de la partie de la France comprise entre Gueret (Creuse) et Hirson (Aisne).



D'après J.B. d'Omalus d'Halloy, 1816.





Mais il y a une chose que l'on ne sait pas encore : quand a eu lieu cette belle histoire à Aurignac ?
Il y a 1 Ma, 50 Ma, 100 Ma, 300 Ma ? On n'en sait rien !

Suite du raisonnement

On a représenté sur la carte d'Aurignac les roches ou les formations par des couleurs différentes.

Mais regardez la diapositive suivante ! On vous donne en légende la nature lithologique de ces roches ou de ces formations.

Regardez cette légende.

Quand on va du bas vers le haut, que constatez-vous? On retrouve l'ordre chronologique qu'on a établi tout à l'heure. On va du plus vieux vers le plus jeune.

La légende des couleurs d'une carte géologique respecte toujours le Principe de superposition.

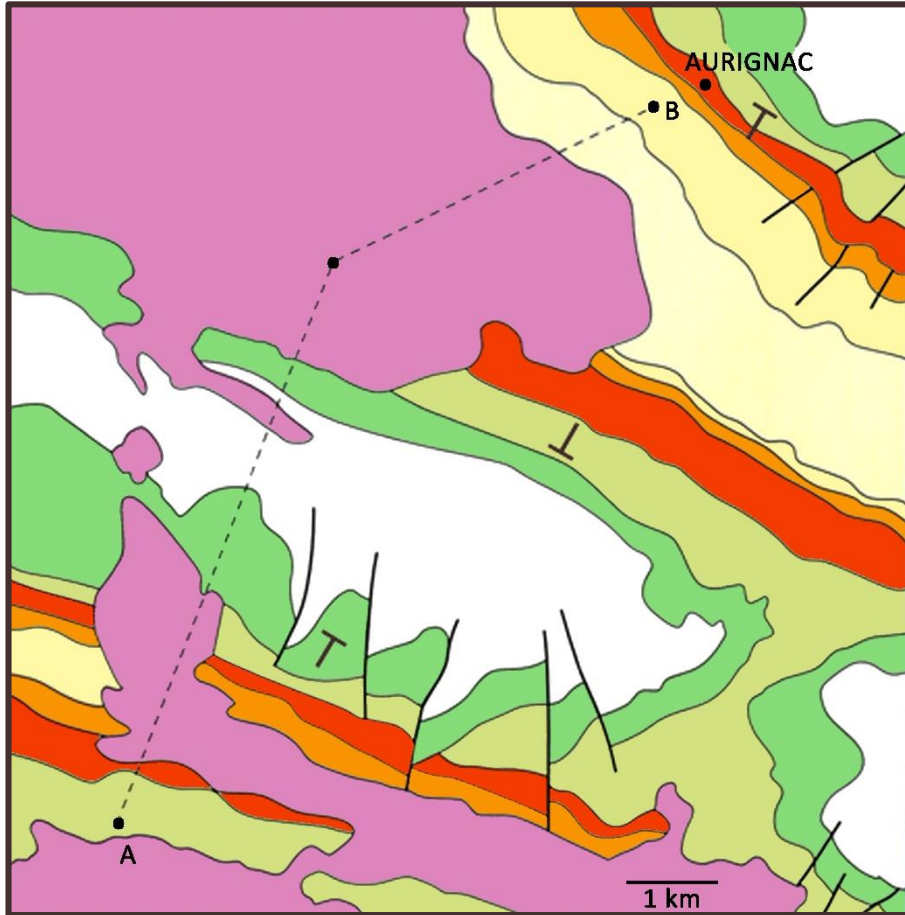
NB : Pour les roches sédimentaires bien évidemment ! A Aurignac, rappel, on est en pays sédimentaire.

Justement, quelles constatations pouvez-vous faire en ce qui concerne ces roches sédimentaires ?

Souvent, il s'agit de roches semblables ! Beaucoup de grès, de calcaires et de marnes et surtout, deux complexes marno-calcaire successifs (représentés en orange clair et en jaune foncé) !

On peut donc penser que ce n'a pas été facile pour nos géologues du XIX^{ème} de distinguer sur le terrain ces deux complexes marno-calcaires !

Légende : Nature lithologique des roches



Extrait de la carte géologique d'Aurignac
au sud de Saint-Gaudens

- Marnes et molasses
- Grès, marnes jaunes et calcaires
- Complexe marno-calcaire
- Complexe marno-calcaire
- Complexe dur formant relief à Calcaires dolomitiques, calcaires sublithographiques et marnes versicolores
- Marnes
- Calcaire Nankin
- Marnes de Plagne et de Saint-Martory
- Grès calcaires et Flysch
- Coulées éruptives basiques

Alors, à votre avis, comment les géologues ont-ils pu les différencier à coup sûr ?

Ce sont des calcaires et des marnes ! Donc de quel type de roches ? des roches sédimentaires.

Et que peuvent contenir des roches sédimentaires ? Des fossiles !

Ils ont utilisé les fossiles ! Les deux complexes ne renferment pas les mêmes fossiles : oursins pour le complexe inférieur, huîtres pour le complexe le plus jeune.

En revanche, toutes les roches ou les formations représentées par la même couleur et dont on a dit qu'elles avaient le même faciès lithologique ont aussi les mêmes fossiles.

On a là un autre Principe de la géologie mais qui s'appuie uniquement sur le contenu paléontologique des couches de roches : le **Principe d'identité paléontologique**.

Historiquement, on a d'abord essayé de dater les roches sédimentaires uniquement par leur lithologie. C'est ce qu'on a fait pour Aurignac. On faisait de la **lithochronologie**. **Et cela a conduit à de grosses erreurs.**

Un progrès important a été fait lorsqu'on a retenu les fossiles pour dater les roches. C'est la base de la **biochronologie infiniment plus sûre et efficace**.

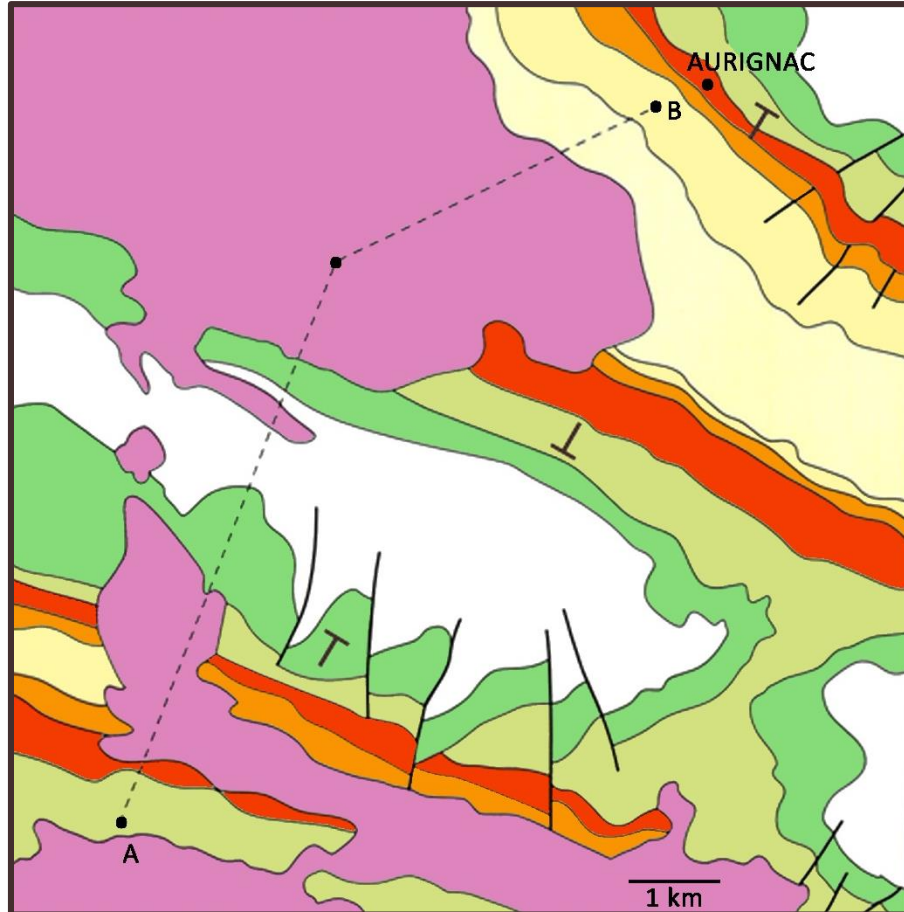
Pour illustrer les dangers de la lithochronologie, revenons à la légende précédente.

On trouve du calcaire Nankin, appelé ainsi parce qu'il est jaune.

Pour nous Vendéens, le calcaire Nankin, on connaît bien ! C'est le calcaire jaune du Veillon d'âge Hettangien.

Si on utilisait la lithochronologie pour dater des roches, nous serions tentés de conclure que le calcaire Nankin d'Aurignac, ayant le même faciès lithologique que celui du Veillon, serait d'âge hettangien et que l'histoire géologique de la région d'Aurignac se serait inscrite dans le Jurassique inférieur, ce qui est complètement faux bien sûr !

Légende : Nature lithologique des roches et fossiles



Extrait de la carte géologique d'Aurignac
au sud de Saint-Gaudens

- Marnes et molasses à *Mastodon* et *Dinotherium*
- Grès à *Nummulites*, marnes jaunes à *Alveolina cucumiformis*, calcaires à *Ovulites*, *Operculina subgranulosa* et *Alveolina ellipsoidalis*, marnes à *Globorotalia* et *Discocyclus*
- Complexe marno-calcaire : marnes à *Ostrea uncifera* et calcaires à *Alveolina levis* et *Mélobésiées*
- Complexe marno-calcaire : marnes et grès à *Micraster tercensis* et calcaires à *Alveolina primaeva*
- Complexe dur formant relief à Calcaires dolomitiques à *Microcodium* et calcaires sublithographiques et marnes versicolores à *Characées*
- Marnes à faciès saumâtres
- Calcaire Nankin à faciès néritique
- Marnes de Plagne et de Saint-Martory à *Echinoconus gigas*, *Baculites anceps* et riches en Foraminifères pélagiques (*Globotruncana*)
- Grès calcaires et Flysch
- Coulées éruptives basiques

NB : *Mastodon angustidens* avait été signalé non loin d'Aurignac, à Simorre, dans le Gers, dès le XVIII^{ème} siècle (1715) par R.-A. Ferchault de Réaumur.

Grâce aux fossiles et en appliquant un autre principe de la stratigraphie : le **Principe de l'actualisme**, on peut alors préciser davantage la succession des événements dans la région d'Aurignac.

1- La sédimentation des marnes de Plagne et du Calcaire Nankin a eu lieu en milieu marin (présence d'Oursins et d'Ammonites).

2- Celle des marnes représentées en vert clair puis celle du complexe dur à calcaires dolomitiques a eu lieu respectivement en milieu saumâtre puis en milieu d'eau douce (Characées, Microcodium) donc dans des lacs ce qui indique une **régression** de la mer.

3- Puis de nouveau la mer revient (**transgression**) et sédimentent les deux complexes marno-calcaires (Oursins puis Huîtres) puis les grès, marnes et calcaires à Foraminifères.

4- C'est après le dépôt de cet ensemble de couches qu'intervient leur plissement générant du relief, des petites montagnes qui sont en quelque sorte « sorties » des eaux!

5- Emergées, elles sont immédiatement la proie de l'érosion - érosion des anticlinaux. La région est complètement aplanie, il se forme une pénéplaine.

6- Finalement, se déposent les marnes et molasses en milieu devenu continental puisqu'elles renferment des fossiles de *Mastodon* et de *Dinotherium* (Mammifères terrestres).

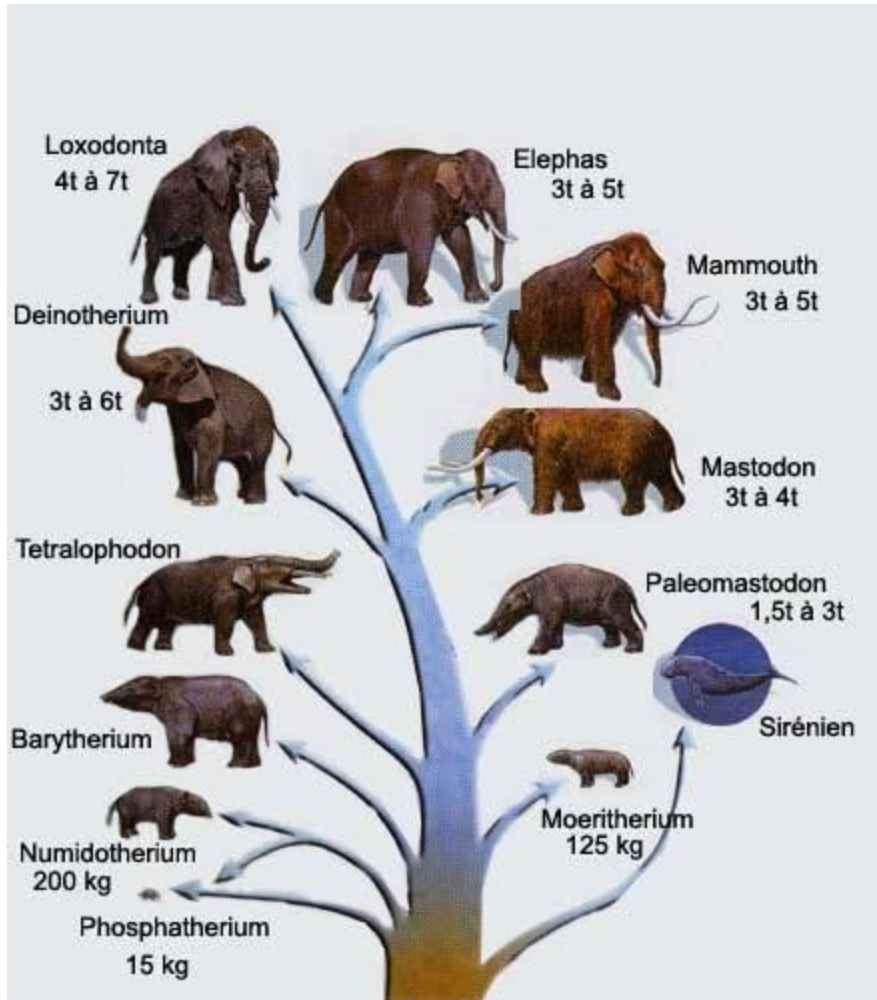
« Dictionnaire pittoresque
d'histoire naturelle et des
phénomènes de la nature »

Sous la direction de F.-E. Guérin
Tome V (1837)

lottes à peu près complets. Une des premières descriptions que l'on ait des dents des Mastodontes, est celle que Grew publia en 1681 (Mus. soc. reg., pl. 19, fig. 1) sous le titre de *dent pétrifiée d'un animal de mer*. Cette dent parait appartenir à la même espèce que celle que Réaumur représenta plus tard dans les Mémoires de l'Académie des sciences (1715), en faisant connaître que les turquoises qu'on tirait des carrières de Simorre, dans la France méridionale, n'étaient que des dents et des os pétrifiés (provenant de Mastodontes), et imprégnées de quelque substance de nature métallique. Réaumur fut aussi d'avis que ces ossemens étaient d'un animal marin; l'espèce dont il fit mention s'appelle aujourd'hui *Mastodon angustidens*. Plusieurs autres fragmens d'ani-

Les fossiles précisent les faciès (marin, continental, lacustre...) ! Mais on a toujours pas notre époque!

Mastodon, *Deinotherium*... Ce sont des Mammifères terrestres qui ressemblaient à quoi ? à des éléphants.



Or, à quelle ère sont apparus les gros mammifères terrestres ?

Au plus tôt, au début de l'ère Tertiaire après la disparition des Dinosaures, il y a environ 65 Ma. C'est parce que les Dinosaures ont disparu de la surface de la Terre que les petits Mammifères qui les côtoyaient ont pu proliférer puis ensuite se diversifier (radiation adaptative).

Dès 1849, **Alcide D'Orbigny** savait déjà que les Mastodons et les Déinothériums étaient apparus dans les « Terrains tertiaires », à une époque qu'il a appelée « Etage Falunien » (elle correspond aujourd'hui au Miocène moyen) et que ces deux espèces n'ont coexisté que pendant cette période (voir diapositive suivante).

L'histoire géologique de la région d'Aurignac a donc pris fin au Miocène moyen, il y a 14 à 11,5 Ma.

NB : Les faluns miocènes d'Anjou, de Touraine et de la région de Rennes renferment des fossiles de *Deinotherium*.

notre 7^e tableau; parmi les Lamellibranches, 2 genres de nos 6^e et 8^e tableaux; parmi les Foraminifères, les 3 genres de notre 14^e tableau. Nous aurions donc, en caractères négatifs, pour distinguer l'étage falunien des deux étages immédiatement supérieurs ou inférieurs, le nombre de 162 genres.

§ 2504. **Caractères positifs tirés des genres.** Les caractères positifs pour distinguer l'étage parisien de celui-ci nous sont donnés par les 148 genres suivants, qui, inconnus dans l'époque antérieure, se montrent, pour la première fois, avec l'étage falunien. Ces genres sont ainsi répartis dans les séries animales : parmi les Mammifères, les genres *Pithecus*, *Agnotherium*, *Amphicyon*, *Amphiarctos*, *Pterodon*, *Machacrodus*, *Amyxodon*, *Hyænodon*, *Oxygomphius*, *Dimylus*, *Megamys*, *Archæomys*, *Steneofiber*, *Palæomys*, *Chalicomys*, *Chelodus*, *Macrotherium*, *Dinotherium*, *Chærotherium*, *Macrauchenia*, *Chalicotherium*, *Hippotherium*, *Civatherium*, *Toxodon*, *Metaxitherium*, *Mastodon*, *Oplotherium*, *Themnopithecus*, *Ursus*, *Felis*, *Mustela*, *Trichechus*, *Phoca*, *Erinaceus*, *Arctomys*, *Mus*, *Balæna*, *Castor*, *Sus*, *Rhinoceros*, *Tapirus*, *Stermophylus*, *Cervus*, *Antilope*, *Halicore*, *Manatus* et *Physeter*; parmi les Oiseaux, les genres *Turdus*, *Fringilla*, *Corvis* et *Ciconia*; parmi les Reptiles, les genres *Megalocheilus*, *Aspidonetes*, *Clemmys*, *Coluber*, *Rana*, *Salamandra* et *Triton*; parmi les Poissons, les genres *Zigobates*, *Hemipristis*, *Cottus*, *Perca*, *Alosa*, *Lebias*, *Leuciscus*; parmi les Crustacés, les genres *Carpilius*, *Platycarcinus*, *Portunus*, *Gelasimes*, *Macrophthalmus*, *Grapsus*, *Pseudograpsus*, *Leucosia*, *Eubalia*, *Phylira*, *Atelecyclus*, *Hela*, *Pagurus* et *Astacus*; parmi les Céphalopodes, le genre *Spirulirostra*; parmi les Mollusques gastéropodes,

Extraits de « Cours
élémentaire de
Paléontologie et de
Géologie stratigraphique »
d' Alcide d'Orbigny (1849)

Volume 2 fascicule 2 page 789

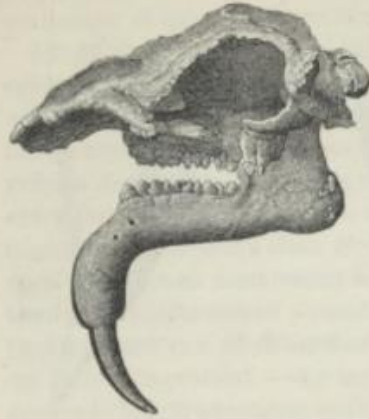


Fig. 598.
Dinotherium giganteum.

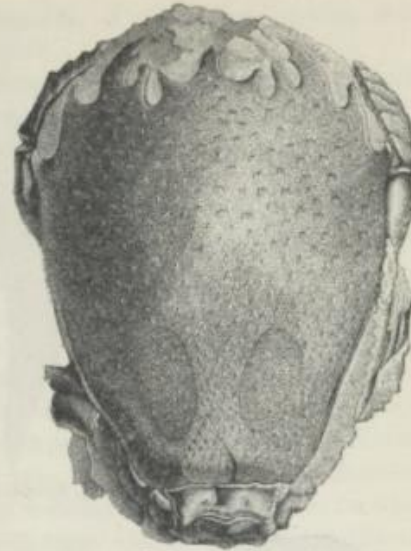


Fig. 603. *Hela speciosa.*

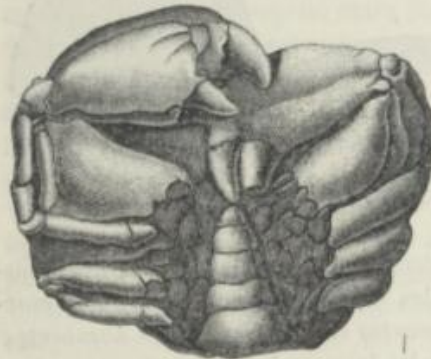


Fig. 602. *Cancer Macrocheilus.*



Fig. 606. *Carinaria Hugavli.*



Fig. 611. *Cliona Duvernoyi.*

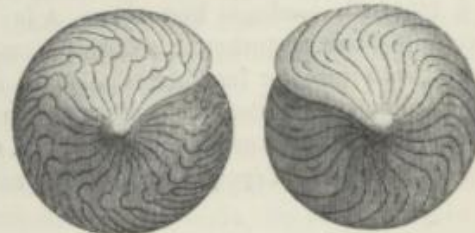


Fig. 609. *Amphistegina Hauerina.*

Extraits de « Cours
élémentaire de
Paléontologie et de
Géologie stratigraphique »
d' Alcide d'Orbigny (1849)

Volume 2 fascicule 2 page 795

Quand l'histoire géologique de la région d'Aurignac a-t-elle débutée ?

Dans les Marnes de Plagne et de Saint-Martory, on a trouvé des Baculites qui sont des Ammonites à coquille rectiligne et très allongée. D'Orbigny nous dit que *Baculites* a vécu à la fin des temps crétacés, plus précisément au Danien.



Baculites (Wikipedia)

Extraits de « Cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphique » d' Alcide d'Orbigny (1849)

Volume 2 fascicule 2 page 692

§ 2339. Quant au classement de l'étage dans les terrains crétacés ou tertiaires, nous croyons qu'il ne peut y avoir de doutes à cet égard. La stratification conduit à le classer parmi les terrains crétacés. La présence des genres *Belemnitella*, *Rhynchonella*, *Baculites*, *Pyrina* et *Hippalimus*, spéciaux aux terrains crétacés, et inconnus dans les terrains tertiaires, amènerait encore à cette conclusion ; tandis que rien ne pourrait, en paléontologie, motiver le classement de l'ensemble dans les terrains tertiaires. Nous croyons donc que cet étage doit encore faire partie des terrains crétacés ; et même nous l'aurions considéré comme une simple division supérieure de l'étage sénonien, si elle n'en avait pas été séparée par M. Desor. Il est certain qu'on n'a donné de la valeur à l'ensemble que parce qu'il se trouve près de Paris. Cette époque n'a

L'histoire géologique de la région d'Aurignac a donc débuté à la limite Crétacé-Tertiaire, au Danien selon d'Orbigny.

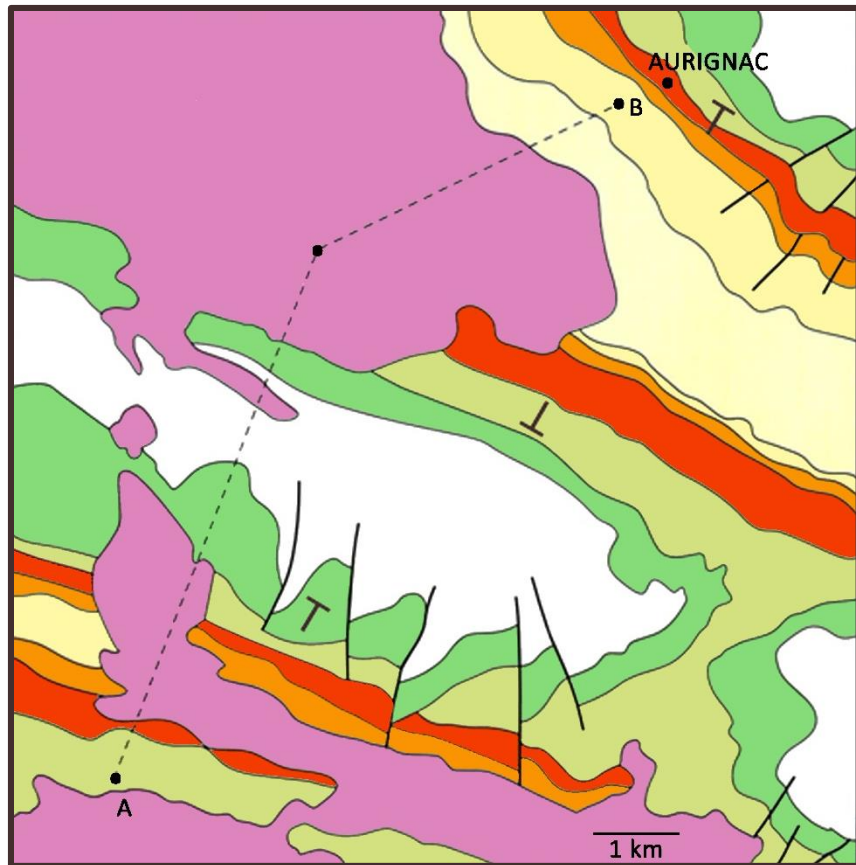
Les 27 étages d' A. d'Orbigny

Terrains paléozoïques	Terrains crétacés
1- Silurien	17- Néocomien
2- Dévonien	18- Aptien
3- Carboniférien	19- Albien
4- Permien	20- Cénomaniens
Terrains triasiques	21- Turonien
5- Conchylien	22- Sénonien
6- Saliférien	23- Danien
Terrains jurassiques	Terrains tertiaires
7- Sinémurien	24- Suessonien (nom dérivé de la ville de Soissons <i>Augusta suessorum</i> ou <i>Suessones</i>)
8- Liasien	25- Parisien
9- Toarcien	26- Falunien
10- Bajocien	27- Subapennin
11- Bathonien	Terrains contemporains
12- Callovien	
13- Oxfordien	
14- Corallien	
15- Kimméridgien	
16- Portlandien	



Période pendant laquelle s'est déroulée l'histoire géologique de la région d'Aurignac

Aujourd'hui, le Falunien n'existe plus et le Danien est placé dans le Paléocène, c'est-à-dire à la base du Tertiaire.



Extrait de la carte géologique d'Aurignac
au sud de Saint-Gaudens

- Marnes et molasses du Langhien et Serravallien (Miocène moyen : 11,5 - 14 Ma) à *Mastodon* et *Dinotherium*

- Grès et marnes jaunes de l'Yprésien inférieur à moyen (56 -53 Ma) - Marnes et marno-calcaires à *Alveolina cucumiformis*, calcaires à *Ovulites* ; calcaires de Mancieux à *Operculina subgranulosa* et *Alveolina ellipsoïdalis* ; marnes à *Globorotalia* et *Discocyclines*, grès et calcaires gréseux à *Nummulites*

- Complexe marno-calcaire du Thanétien supérieur (56 - 57 Ma) - Marnes à *Ostrea uncifera* et calcaires à *Alveolina levis* et *Mélobésiées*

- Complexe marno-calcaire du Thanétien inférieur (59 - 57 Ma) - Calcaires, marnes et grès à *Micraster tercensis* et calcaires à *Alveolina primaeva*

- Complexe dur du Danien-Montien (59 - 65,5 Ma) - Calcaires dolomitiques du Danien à *Microcodium* (bactéries de sols calcaires hydromorphes) et calcaires sublithographiques et marnes versicolores subordonnées du Montien à *Characées*

- }
 Maastrichtien moyen et supérieur (65,5 - 72 Ma)

- Marnes d'Auzas à faciès saumâtre puis lacustre

- Calcaire Nankin à faciès néritique

- Marnes de Plagne et de Saint-Martory - Campanien à Maastrichtien inférieur (72 - 83 Ma)

- Grès calcaires et Flysch à *Fucoïdes* du Coniacien-Santonien (90 à 83 Ma)

- Coulée éruptive du Turonien – Cénomanién (94 Ma)

L'histoire que l'on a racontée s'est donc déroulée entre le Danien et le Falunien.

Depuis, **Henri Becquerel** a découvert la radioactivité (1893). Avec Willard Frank Libby, on commence à dater les roches et les fossiles grâce aux isotopes radioactifs d'éléments chimiques qu'ils renferment.

Aujourd'hui, on sait très exactement que l'histoire géologique de la région d'Aurignac que l'on a racontée a pris place au Tertiaire, entre le Maastrichtien et le Miocène moyen, soit entre 90 et 10 Ma d'après les données de la **chronologie absolue**.

Aurignac est situé en Haute-Garonne, au Nord de Saint-Gaudens.

Le plissement dont on a parlé correspond en fait à la surrection des « Petites Pyrénées » et la molasse terminale du Miocène moyen est le produit de l'érosion de la jeune chaîne pyrénéenne en cours de surrection à l'Eocène moyen (entre 55 et 40 Ma).

NB : La grotte d'Aurignac ou « abri d'Aurignac » est un abri sous roche qui a été occupé au Paléolithique supérieur.

Il a donné son nom à l'Aurignacien, une culture du début de cette période (de 40 000 à 29 000 ans BP).

« BP » = « Before Present » Present = 1950, année de la première datation au carbone 14 par W. F. Libby.

Sur le plan historique

Bien avant le début du XIX^{ème} siècle, les paléontologistes, à la suite des zoologistes et des botanistes (c'est le plein essor de la systématique linnéenne), ont commencé à étudier les fossiles, à les déterminer, à les classer... Tout le monde a pu admirer dans les musées d'Histoire Naturelle les magnifiques planches de fossiles dessinées par les graveurs sous contrôle des scientifiques. Les données s'accumulent et intéressent tous les groupes fossiles.

Si bien qu'à partir des années 1830, les géologues intègrent dans la description des roches à la fois leurs caractères lithologiques et leur contenu paléontologique. Ils le font d'autant plus volontiers que certains d'entre eux avaient déjà constaté que si des roches de lithologie différente ne renfermaient pas les mêmes fossiles ce qui se conçoit assez facilement : ainsi les fossiles de la « Craie » sont-ils complètement différents de ceux des « faluns », on pouvait aussi avoir des roches de lithologie différente avec des fossiles identiques ou des roches de même lithologie avec des fossiles différents !

Le fruit est mûr ! On accorde de plus en plus d'importance aux fossiles !

En 1842, paraît la carte géologique de la France.

En 1849, Alcide d'Orbigny publie son « Cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphique » où il découpe l'histoire géologique de la France en 27 étages.

Le Principe de « Contemporanéité des faunes identiques » ou Principe d'identité paléontologique initié par A. Brongniart (1822) puis largement développé par C.A. Opper (1856-1858) a été systématiquement mis en œuvre par A. d'Orbigny (1842, 1850-1852) pour créer ses étages.

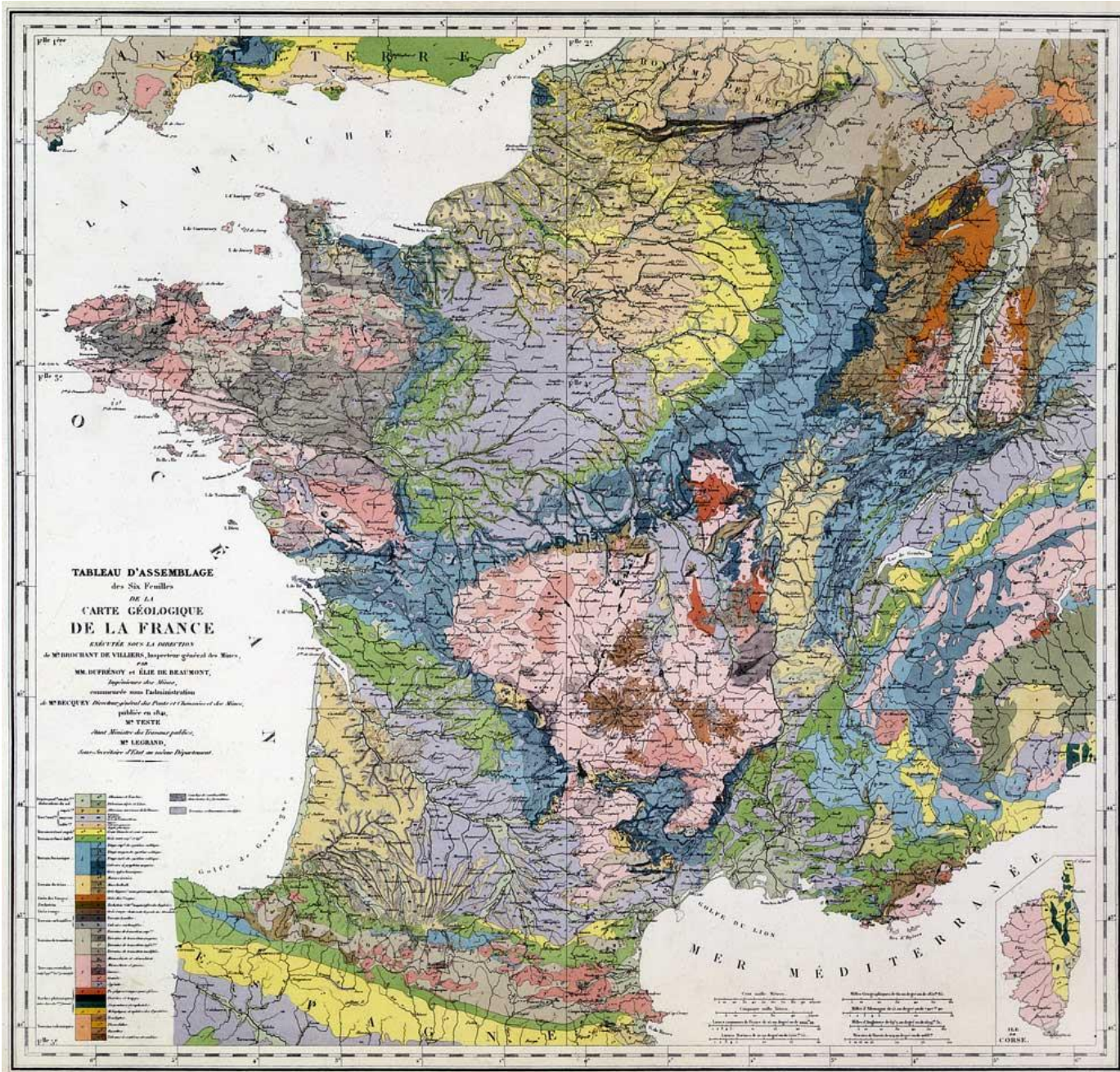
Définition de l'étage par A. d'Orbigny :

« Un étage, pour nous, est une époque en tout identique à l'époque actuelle. C'est un état de repos de la nature passée, pendant lequel il existait, comme dans la nature actuelle, des plantes et des animaux marins, et dans les mers, des animaux pélagiens et des animaux côtiers à toutes les zones de profondeur. Pour qu'un étage soit complet, il doit montrer un ensemble d'êtres terrestres et marins, qui puisse représenter une époque toute entière... »

D'Orbigny a ainsi distingué et défini 27 étages caractérisés par leurs associations paléontologiques : en particulier 17 pour le Jurassique et le Crétacé dont 7 sont encore en usage aujourd'hui.

Sur les coupes qui suivent, on remarque très bien que les fossiles sont nommés précisément.

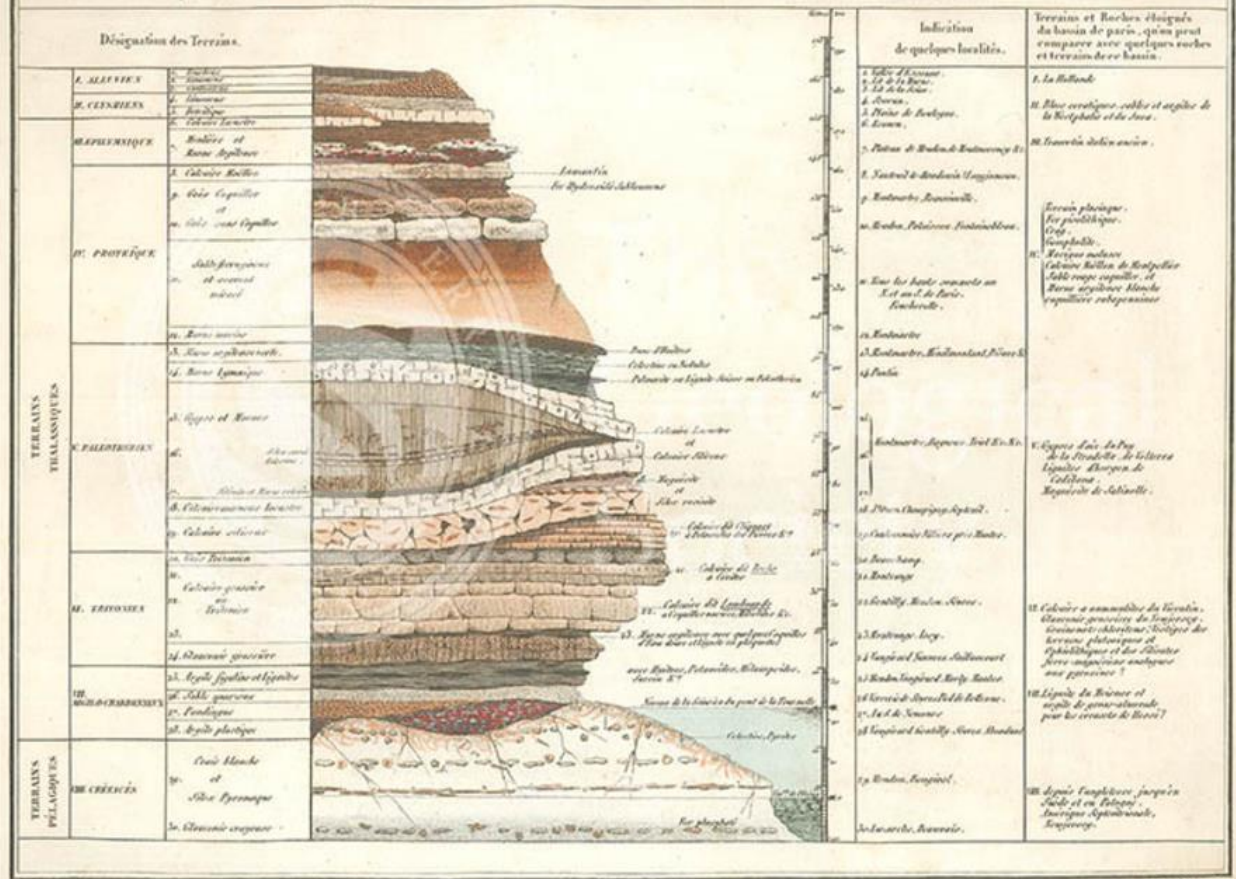
<http://www.annales.org/archives/cofrhigeo/premiere-carte-geologique.htm>



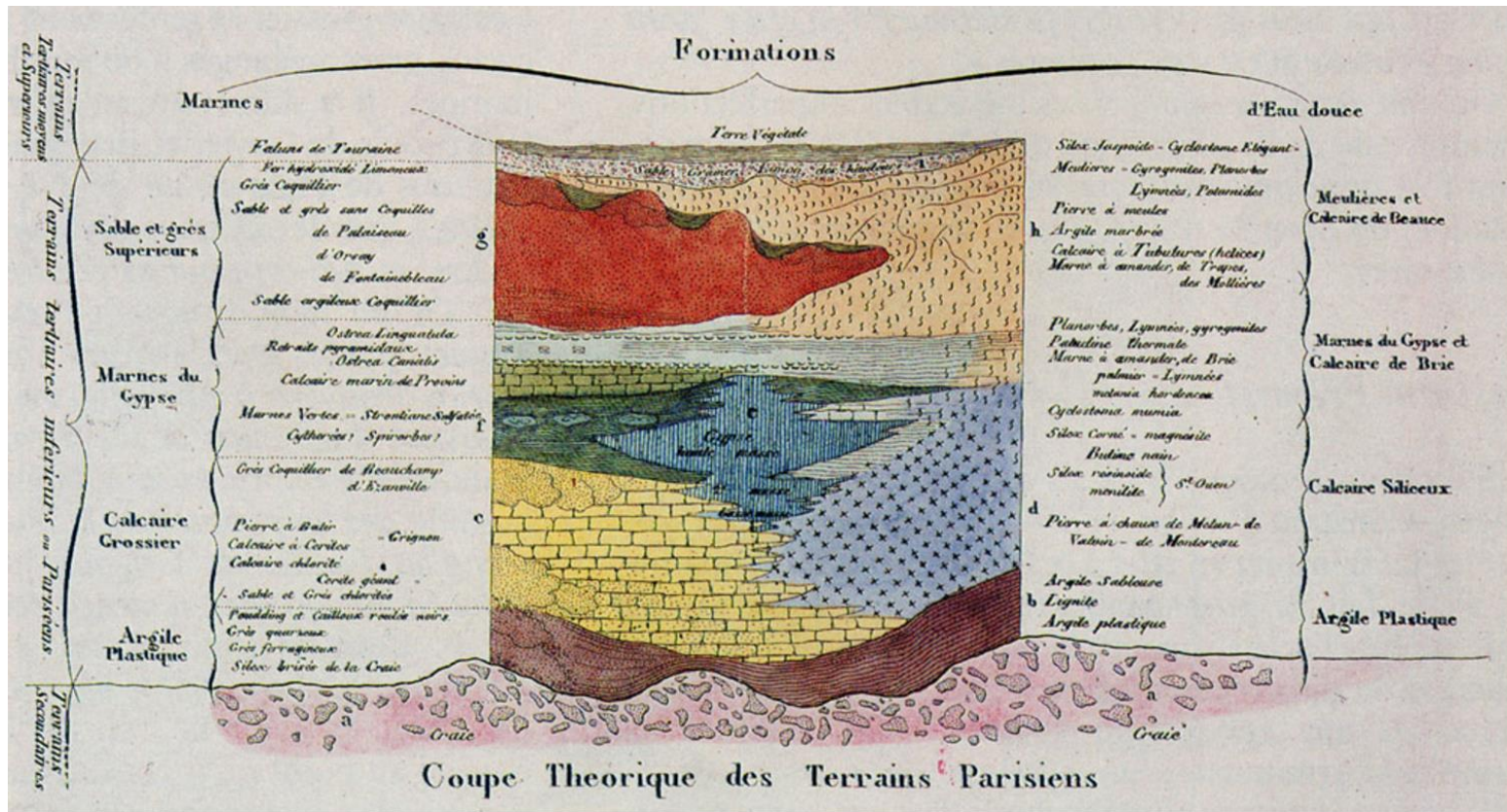
La première carte géologique de la France (Dufrénoy et Elie de Beaumont, 1841)

COUPE THÉORIQUE des divers TERRAINS ROCHES et MINÉRAUX

qui entrent dans la composition du SOL du BASSIN de PARIS. Par MM. CUVIER et Alexandre BRONGNIART. 1832.



D'après G. Cuvier et A. Brongniart, 1832.



D'après C. Prévost, 1835.

C. Prévost oppose les formations marines présentes dans la partie septentrionale du bassin parisien aux formations d'eau douce qui leur correspondent au Sud.

Remarquer que les fossiles sont maintenant nommés en légende.

Comme dans toute science historique, la grandeur essentielle à appréhender si l'on veut reconstituer l'histoire de la Terre est par conséquent **le temps**.

Aujourd'hui, il est facile de le mesurer sous ses deux aspects : le temps-durée et le temps instant.

Mais « avant », avant que la mesure du temps ne soit devenue une préoccupation importante pour l'organisation de la vie sociale, religieuse et économique, donc avant les premières sociétés, l'apparition d'Homo sapiens ou de ses ancêtres, de la lignée humaine..., qu'est-ce qui aurait bien pu enregistrer le temps ?

Les roches sont la mémoire du temps.

Nicolas STÉNON ou Niels STENSEN, le Père fondateur de la Stratigraphie



1638 - 1686



https://fr.wikipedia.org/wiki/Nicolas_Sténon

Une importante découverte de STÉNON

Un jour d'octobre 1666, deux pêcheurs attrapent un énorme requin (un *Carcharodon carcarias*) près de la ville de Livourne, et le Duc de Florence, Ferdinand, grand ami des Sciences, ordonne que sa tête soit envoyée pour analyse à STÉNON.

Celui-ci la dissèque et publie ses conclusions l'année suivante. L'examen des dents du requin a montré une ressemblance frappante avec des pierres insolites appelées « *glossopetrae* » ou « langues de pierres » qui avaient été trouvées jadis dans certaines roches, au sommet des montagnes italiennes.

STÉNON conclut que ces « *glossopetrae* » sont des dents de requin fossilisées confirmant ainsi les travaux de Fabio COLONNA (1567-1640) !

Remarque : Les fossiles sont connus depuis les travaux de AGRICOLA, Conrad GESNER considéré comme le Père de la Paléontologie, Bernard PALISSY et Léonard de VINCI.

<http://www.anales.org/archives/cofrhigeo/paleontologie-rennaissance.html>

http://www.biusante.parisdescartes.fr/sfhad/vol14/2009_17.pdf

A cette époque, on croyait au Déluge ! L'explication de la présence de dents de requin en altitude était toute trouvée ! C'est le Déluge qui a porté les requins sur les montagnes où ils se sont décomposés, abandonnant leurs dents.

Mais dans ces « *glossopetrae* », les dents sont incluses dans la roche.

Son travail sur les dents du requin l'amène alors à la question de savoir comment un objet solide : la dent, pouvait être trouvé à l'intérieur d'un autre objet solide : la roche.

Autrement dit, comment un solide peut-il entrer dans la masse d'un autre solide ?

Très vite, il eut l'idée, ingénieuse pour l'époque, de penser que les terrains dont on exhumait les dents de requin mais aussi des coquillages et autres débris marins étaient des sédiments mous déposés dans la mer.

Il tire donc la conclusion que des roches peuvent provenir de sédiments mous et contenir des objets qui ne se sont pas formés à l'intérieur d'elles.

Cela le conduit alors à la théorie du processus de la sédimentation. Puis il évoque la compaction des sédiments et leur transformation en roches (diagenèse) puis leur position actuelle en altitude (orogénèse). Et tout cela a dû demander beaucoup de temps !

NB : Ce qui semble assez paradoxal, c'est que STÉNON avait tous les éléments en mains pour réfuter le Déluge qu'il ne remit pourtant nullement en cause ! Cela se comprend facilement si l'on sait que STÉNON était évêque et si l'on connaît le contexte religieux de l'époque (Procès de Galilée en 1616 et 1633).

Il publie en 1669 la conclusion de ses études dans un compte rendu dédié au Duc de Florence, un prodrome (une introduction) intitulé : « *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus* » (traduction : « D'un corps solide contenu naturellement dans un solide »).

NB : Comme son nom l'indique, ce prodrome aurait dû être l'introduction d'un ouvrage plus important mais qu'il ne rédigera jamais.

Dans cet ouvrage, il y établit quelques-uns des principes fondamentaux de la stratigraphie :

- le dépôt de chaque couche sur un substrat solide,
- la superposition de strates plus récentes sur des strates plus anciennes,
- la présence de toutes les couches, à l'exception de la couche de base, entre deux plans essentiellement horizontaux.
- et si « à l'origine, les strates durent s'étendre horizontalement sur une surface solide..., leurs plissements et leurs ruptures se produisirent plus tard ».

De tels plissements et ruptures expliqueraient selon lui la formation des montagnes et autres particularités géologiques, le fait par exemple que les « *glossopetrae* » ou « langues de pierres » soient retrouvées en altitude.

STÉNON est ainsi considéré comme le Père fondateur de la Stratigraphie.

Il sera solennellement honoré à deux reprises, en 1891 et en 2004, par l'apposition d'une plaque commémorative dans la Basilique San Lorenzo de Florence lors de deux congrès internationaux de Géologie.

Notion de dépôt par gravité

Notion de compaction

Notion de bassin et ébauche du principe de continuité latérale

Quant à la position des couches, on pourra regarder comme certaines les propositions suivantes :

1°. Au moment où se formait une couche quelconque, il existait sous cette même couche un autre corps qui empêchait la descente ultérieure de la matière pulvérulente, et par conséquent au moment où se formait la couche la plus inférieure il existait en dessous d'elle un autre corps solide, ou bien un fluide différent par sa nature du fluide supérieur, et d'une pesanteur spécifique plus grande que celle du sédiment du même fluide supérieur.

2°. A l'époque où se formait une des couches supérieures, la couche inférieure avait déjà acquis une consistance solide.

3°. A l'époque où se formait une couche quelconque, elle a été circonscrite latéralement par un autre corps solide, ou bien elle a couvert le globe entier. De là il résulte aussi que partout où on voit à découvert les tranches des couches, on doit ou trouver leur continuation ou découvrir un autre corps solide qui arrêta la matière de ces mêmes couches et l'empêcha de couler et de s'étendre.

4°. A l'époque où une couche quelconque se formait, la matière superincumbente était tout entière fluide, et, par conséquent, lorsque la couche la plus inférieure se formait, aucune des couches supérieures n'existait encore.

Pour ce qui regarde la figure, il est certain qu'à l'époque où une couche quelconque se formait, sa surface inférieure et ses surfaces latérales correspondaient à celle des corps inférieurs et des corps latéraux ; mais que sa surface supérieure était d'une manière générale parallèle à l'horizon ; et que, par conséquent, toutes les couches, excepté la plus basse, sont contenues entre deux plans parallèles à l'horizon. De là il résulte que les couches qui sont ou perpendiculaires ou inclinées à l'horizon, lui ont été parallèles à une autre époque.

Succession des dépôts dans le temps – Principe de superposition

Principe de l'horizontalité primaire des couches

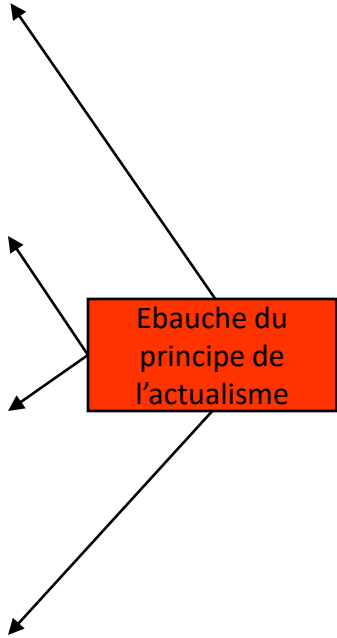
Ebauche du principe de recoupement

2°. Si on trouve dans une certaine couche des fragments d'une autre couche, ou des parties d'animaux et de plantes, il est certain que cette même couche ne devra pas être associée à celles qui à l'époque de la création se sont déposées au sein du fluide primitif.

3°. Si dans une certaine couche on observe des traces de sel marin, des dépouilles d'animaux marins, des planches de navire, une composition semblable à celle du fond de la mer, il est certain que la mer a existé en ce point à une certaine époque, quelle que soit la manière dont elle y est parvenue, soit par une véritable inondation, soit par le soulèvement des montagnes.

4°. Si dans une certaine couche on trouve une grande abondance de joncs, de graminées, de troncs et de branches d'arbres et d'autres objets semblables, on est en droit de soupçonner que ces matières y ont été apportées soit par le débordement d'un fleuve, soit par l'incursion d'un torrent.

5°. S'il existe dans une certaine couche des charbons, des cendres, des pierres ponce, du bitume et des corps calcinés, il est certain qu'un incendie a eu lieu dans le voisinage du fluide, et cela est plus certain encore si la couche est uniquement composée de cendre et de charbon : telle est celle que j'ai vue en dehors de la ville de Rome dans le lieu où on extrait la matière dont on fait les briques.

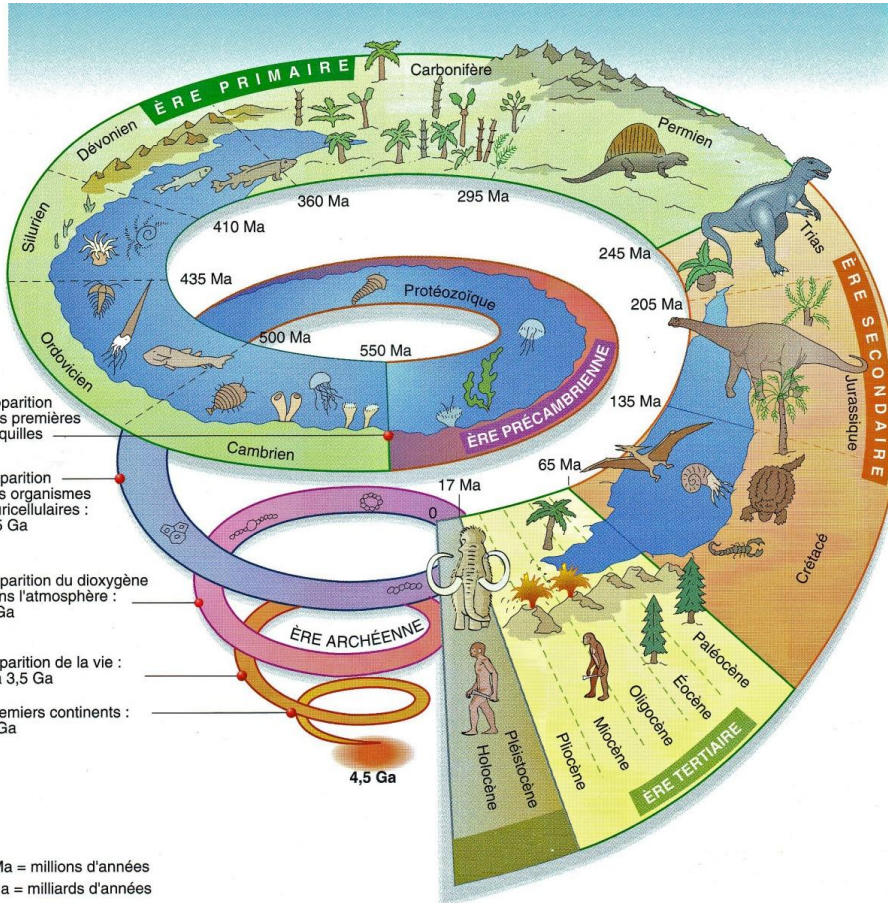


Ebauche du principe de l'actualisme

Ce principe de l'actualisme ou des causes actuelles ou de l'uniformitarisme a été formulé plus tard par James HUTTON (1726-1797) en 1795. Mais c'est surtout Charles LYELL (1797-1875) qui popularisa cette notion dans son livre : « Principles of geology : being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface by reference to causes now in operation » rédigé entre 1830 et 1833.

Traduction : « une tentative d'expliquer les changements de la surface de la Terre par des causes opérant actuellement. »

Comment reconstituer l'histoire de la Terre



Sites.google.com

1. C'est identifier et classer chronologiquement les événements géologiques les uns par rapport aux autres

► *chronologie relative*

- en étudiant la nature lithologique des roches ou des formations de roches et leurs relations géométriques, leur agencement (**Lithostratigraphie**).

⇒ C'est l'horloge stratigraphique (lithochronologie).

- puis en tirant tous les enseignements possibles des fossiles ou des associations de fossiles qu'elles renferment, travail qui va déboucher sur un découpage du temps en intervalles grâce aux principes de l'évolution darwinienne (**Biostratigraphie**).

⇒ C'est l'horloge paléontologique (biochronologie).

2. C'est ensuite dater les événements et évaluer leurs durées

► *chronologie absolue*

en utilisant des **géochronomètres** comme les isotopes radioactifs de certains éléments chimiques.

⇒ C'est l'horloge « atomique » ! (radiochronologie)

C'est l'utilisation de ces trois horloges (Stratigraphie intégrée) qui a permis d'établir **l'échelle stratigraphique des temps géologiques**, en somme le calendrier de l'histoire de la Terre.

I.

La chronologie relative

La chronologie relative a pour but d'établir l'âge des couches, des formations ou des objets géologiques les uns par rapport aux autres.

En d'autres termes, elle établit lequel est « le plus jeune » ou « le plus vieux », sans aucune connotation d'âge absolu qui serait exprimé en nombre d'années.

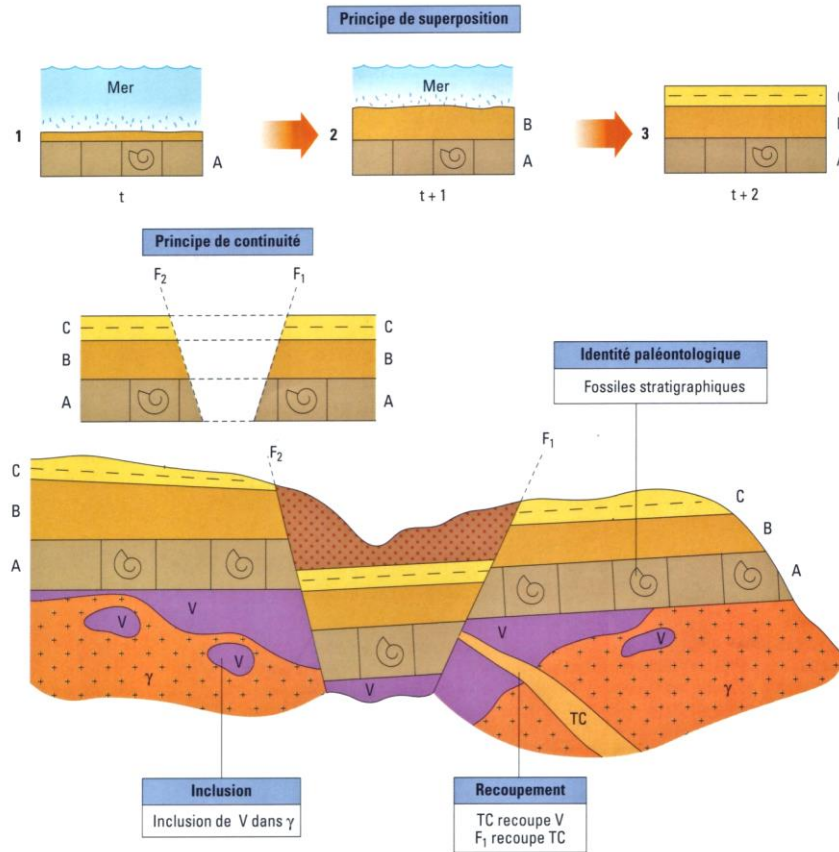
Deux types de méthodes sont utilisées en chronologie relative :

- A. les **méthodes dites géométriques**
- B. et les **méthodes paléontologiques.**

Les principes de la chronologie relative

Les méthodes géométriques

- Principe de superposition
- Principe de recoupement
- Principe de continuité
- Principe d'inclusion



Les méthodes paléontologiques

- Principe d'identité paléontologique

A. Les méthodes géométriques de la chronologie relative

Les 3 principales méthodes utilisées en chronologie relative et à toutes les échelles, de la lame mince à l'affleurement, s'appuient sur **l'observation des relations géométriques entre les éléments à dater.**

Ce sont :

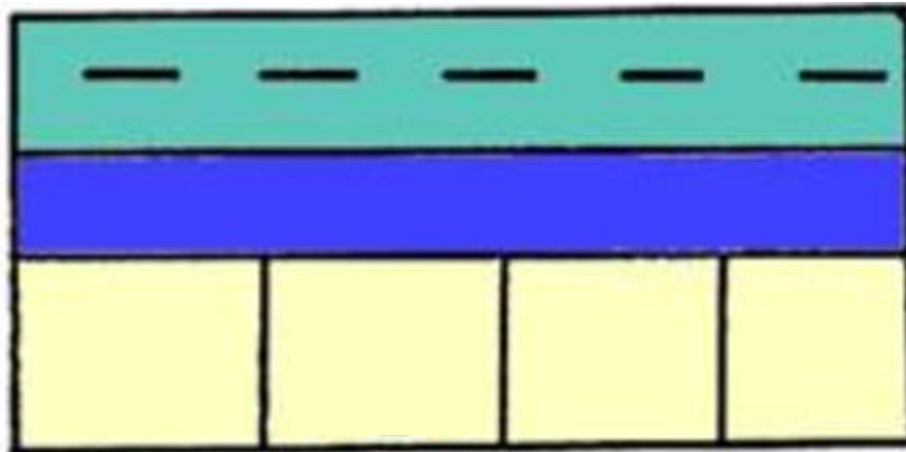
- le Principe de superposition,
- le Principe de recoupement,
- le Principe de continuité latérale

auxquels il convient d'ajouter

- Le Principe d'inclusion.

Ces quatre principes étaient déjà en germe dans l'ouvrage de Nicolas STÉNON : « *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus* » qui resta toujours hélas! Comme son nom l'indique un **prodrome** c'est-à-dire une introduction.

A- Le principe de superposition



Rappels :

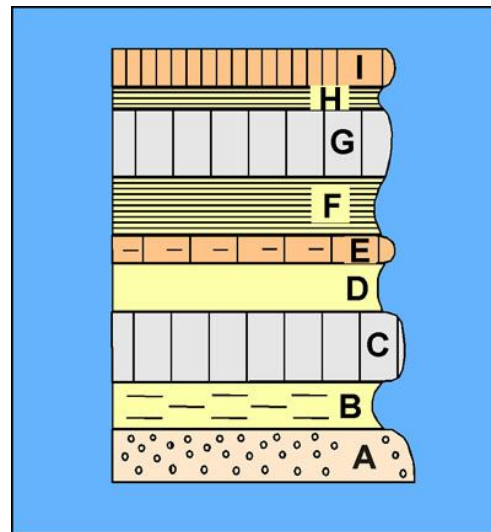
La plupart des roches sédimentaires (grès, calcaires, marnes, dolomies...) se forment à partir de **sédiments meubles** (sables, boues plus ou moins argileuses ou calcaires...) qui se déposent par gravité au fond de l'eau dans un bassin (mer, lac...) en couches horizontales ou **strates**.

Avec le temps, sous l'effet de leur propre poids (pression exercée par les sédiments situés au-dessus), par perte d'eau et légère élévation de la température également, ces boues se compactent et se transforment en roches : c'est la **diagénèse**.

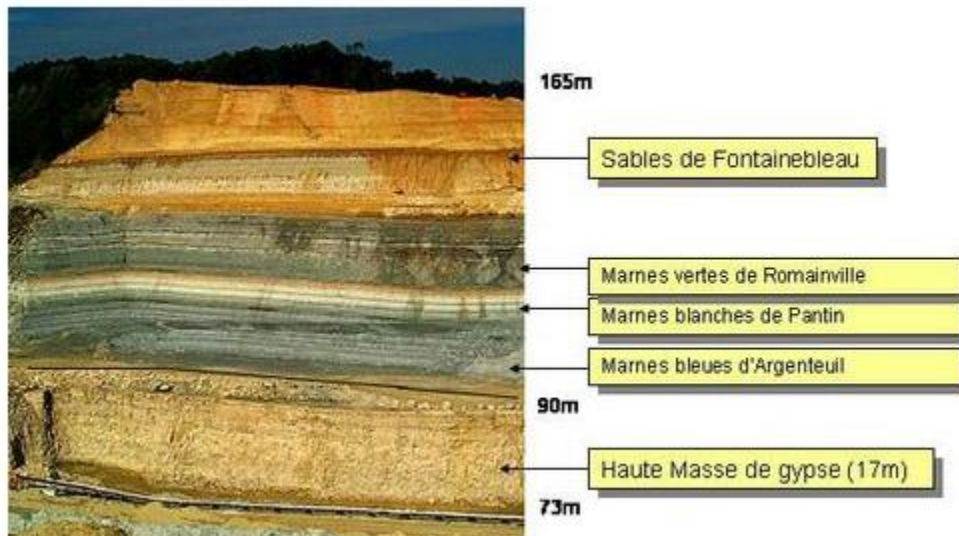
Ce mode de formation des roches sédimentaires impose que **l'ordre de succession des strates, en allant du bas vers le haut, est aussi l'ordre chronologique de leur dépôt**. Cette observation est à la base du **Principe de superposition**.

Le Principe de superposition, principe fondamental de la stratigraphie, stipule que dans un ensemble de strates non déformées et non remaniées, une strate est plus récente que celle qu'elle recouvre et plus ancienne que celle qui la recouvre.

A est la strate la plus ancienne, I la plus récente.



Carrière de Cormeilles-en-Paris



Les marnes bleues, blanches et vertes se sont déposées dans cet ordre.

Illustration du Principe de superposition
à toutes les échelles

□ à l'échelle du paysage



Les Rochers des Fiz (Haute-Savoie – Massif du Haut Giffre)



Falaise de craie et de silex – Etretat (Manneporte)



Les « ruffes » permienes du Salagou (Hérault)

□ à l'échelle de l'affleurement



Carrière de Vrines (79)



Carrière de Bazoges-en-Pareds (85)



Carrière de Barrachin (Hautes-Alpes)

□ à l'échelle de l'échantillon (section polie ou lame mince)



Les « ruffes » permienes du Salagou (Hérault)



Les « ruffes » du Salagou (Hérault - Permien) - Détail



Section polie dans les cinérites carbonifères de la tranchée des Malécots (Corniche angevine)



Varves annuelles dans les diatomites de Foufouilloux (Cantal) – Limite Miocène-Pliocène

Généralisation du Principe de superposition

Le Principe de superposition s'applique également à des roches non sédimentaires comme par exemple aux produits des éruptions volcaniques qui se déposent aussi en couches (coulées de lave, cendres...).



Photographie : Pierre Thomas

Volcanisme du Velay oriental – Superposition de deux coulées prismées



Trapps du Deccan (Inde)

Limites au Principe de superposition

Le Principe de superposition est cependant mis en défaut :

- dans le cas des terrasses et des coulées volcaniques étagées qui conduisent à des inversions de relief,
- et dans certains contextes tectoniques
 - lorsque des séries sédimentaires sont renversées : plissées et mises à l'horizontale (cas des plis couchés),
 - ou lorsqu'elles sont mises en contact anormal avec d'autres séries sédimentaires à la suite de chevauchements.

a) Les terrasses fluviales étagées

Formation des terrasses étagées

Une période de glaciation débute par un épisode climatique humide : des précipitations abondantes sont en effet nécessaires à une croissance rapide des glaciers. Pendant la glaciation, l'eau est piégée sous forme de glaces continentales : le niveau marin s'abaisse et le climat devient froid et aride. Le faible développement du couvert végétal expose les versants à l'érosion. Les cours d'eau sont soumis à d'importantes variations de débit saisonnières : des débâcles printanières génèrent un alluvionnement important (**1^{er} stade**) que le débit de la rivière ne permet pas toujours de transporter très loin vers l'aval.

L'alluvionnement est supérieur au transport.

Pendant les périodes interglaciaires (**2^{ème} stade**), le développement du couvert végétal protège les versants : les apports sédimentaires sont plus faibles mais la dynamique des cours d'eau est plus grande pendant les saisons chaudes (étés). L'incision des alluvions anciennes puis des formations sous-jacentes aboutit à un encaissement du cours d'eau dont les anciennes terrasses alluviales dominent les alluvions en cours de dépôt (**3^{ème} stade**).

Le transport est supérieur à l'alluvionnement.

La succession de périodes d'érosion (ablation de matière > sédimentation) pendant les périodes interglaciaires et de phases de sédimentation (sédimentation > ablation) lors des glaciations est à l'origine de ces terrasses étagées (**4^{ème} stade**).

Écarts de débit importants d'une saison à l'autre, faible végétation, forte érosion et éclatement des roches par l'action du gel/dégel. La rivière élargit son lit et dépose des alluvions.

L'alluvionnement est supérieur au transport.

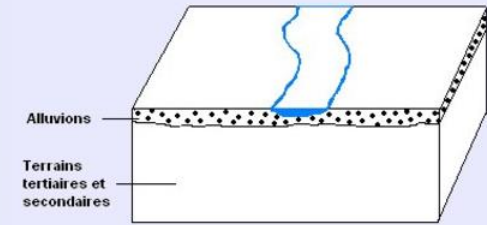
La rivière creuse son lit dans ses propres alluvions et le substrat sous-jacent.

Elle dépose dans son lit majeur de nouveaux sédiments plus fins (alluvions récentes). Ses anciennes alluvions forment terrasse.

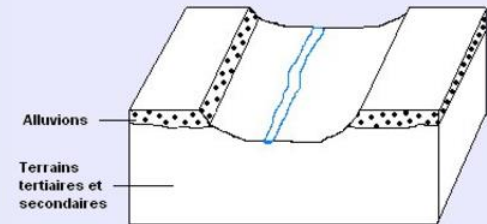
Stade final

Formation de terrasses étagées. Les plus anciennes sont les plus hautes topographiquement.

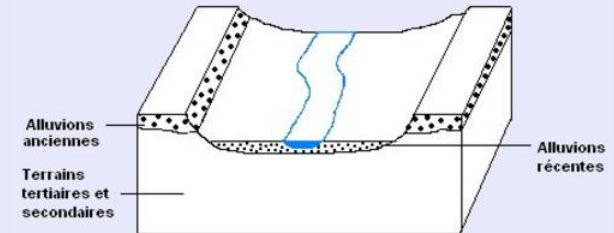
1er stade - Période froide et humide (glaciaire) :



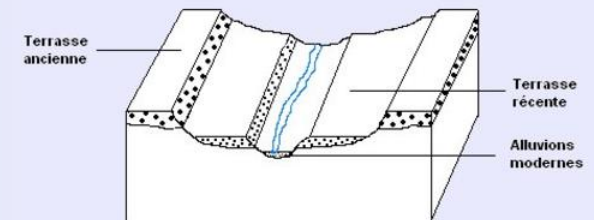
2ème stade - Période chaude et sèche (interglaciaire) :



3ème stade - Période froide et humide (glaciaire) :



4ème stade - Période chaude et sèche (interglaciaire) :



b) Les coulées volcaniques perchées

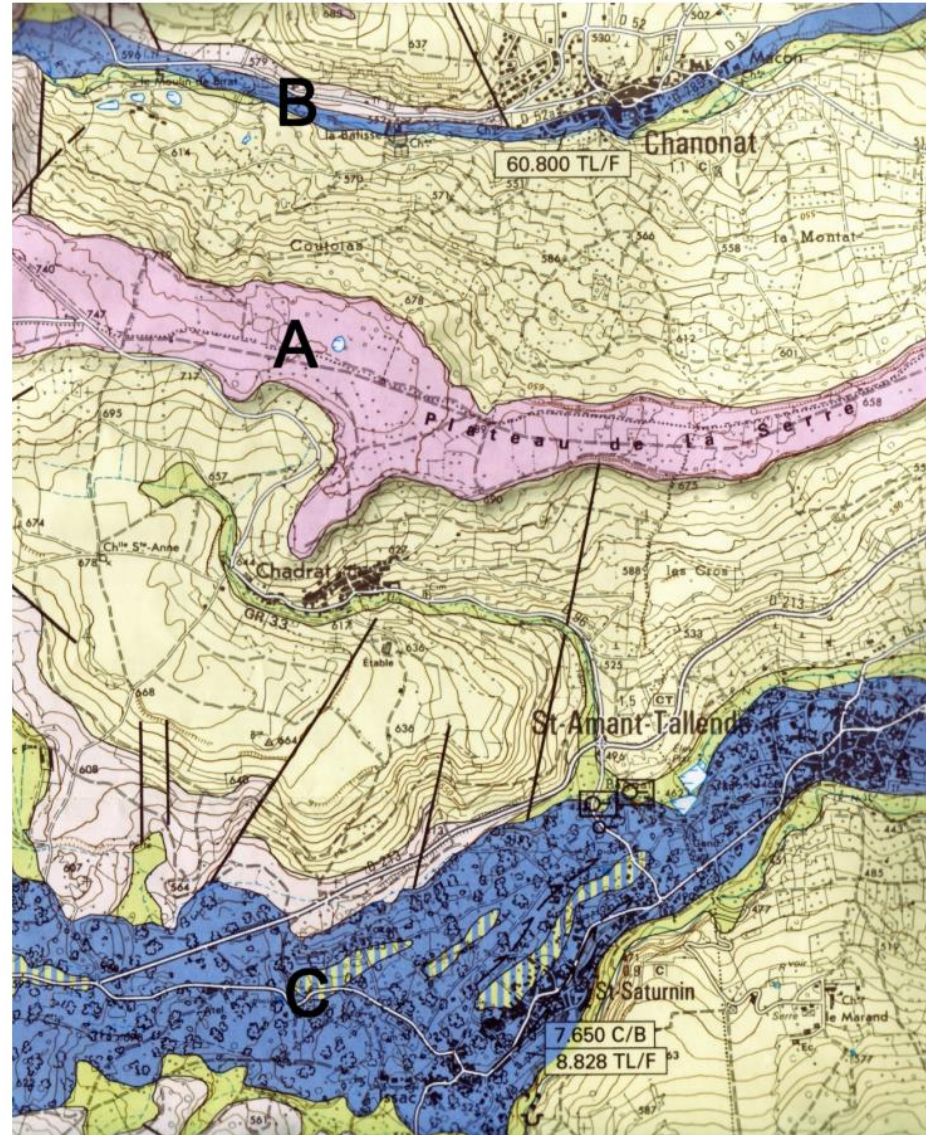
Un exemple d'inversion de relief sur la bordure de la Limagne : la Montagne de la Serre

Extrait de la carte géologique des Volcans d'Auvergne



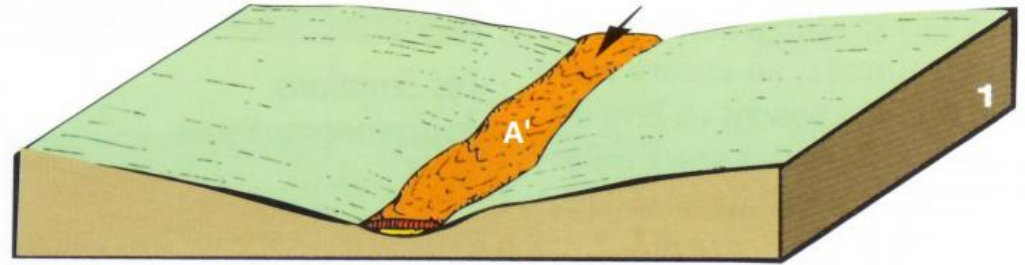
Du Nord au Sud, on a :

- B : coulée de la Vallée de l'Auzon (altitude : 450 m à Chanonat)
- A : coulée du Plateau de la Serre (altitude : 615 m entre Chanonat et Saint-Amant-Tallende)
- C : coulée des Puy de la Vache et de Lassolas (altitude : 510 m à Saint-Saturnin)



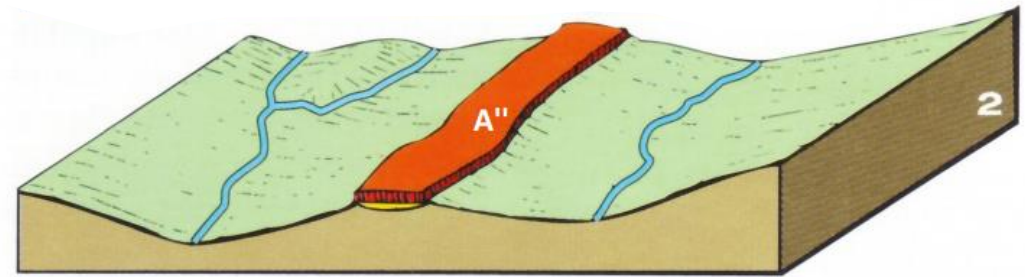
Un exemple d'inversion de relief sur la bordure de la Limagne : la Montagne de la Serre

1. Une coulée de lave basaltique s'écoule selon la ligne de plus grande pente et emprunte le lit d'une paléo-vallée : c'est la coulée de la Serre (A') datée de 3,4 Ma.



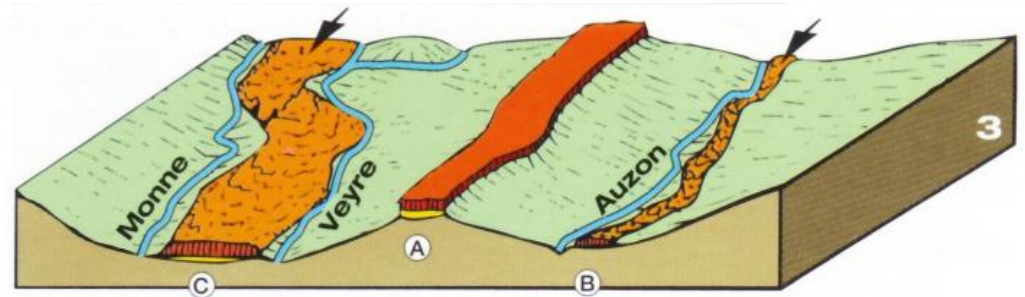
2. Puis les eaux qui coulaient dans la vallée ont repris leur action érosive en creusant latéralement deux nouvelles vallées de part et d'autre de la coulée basaltique de la Serre, plus résistante à l'érosion.

Les deux vallées fluviales s'abaissent de plus en plus et, à l'inverse, la butte calcaire (en jaune) couronnée de basalte dur et compact fait de plus en plus saillie pour former le plateau de la Serre (A''). Il y a eu inversion du relief de la coulée de la Serre (A' → A'').



3. Deux nouvelles coulées de lave se mettent en place au fond des deux vallées précédentes : la coulée basaltique de la vallée de l'Auzon issue du Puy Mey (B) (âge : 60 000 ans) et la coulée basaltique de la vallée de la Monne issue des Puys de la Vache et de Lassolas (C) (âge : 8 000 ans).

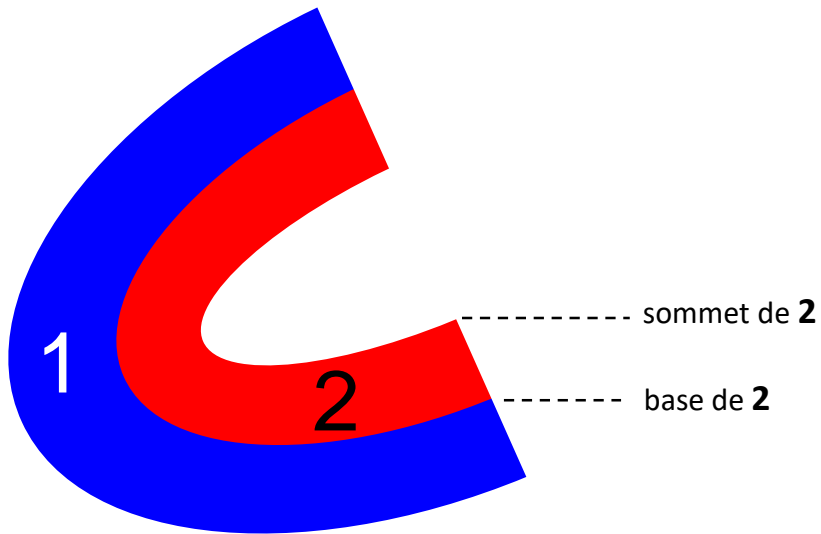
Puis une nouvelle vallée se forme au Nord de la coulée de La Vache et Lassolas : la vallée de la Veyre. Monne et Veyre creusant de chaque côté de la coulée basaltique de La Vache et Lassolas, cette dernière va également évoluer vers un plateau entre les deux rivières. Son relief s'inversera.



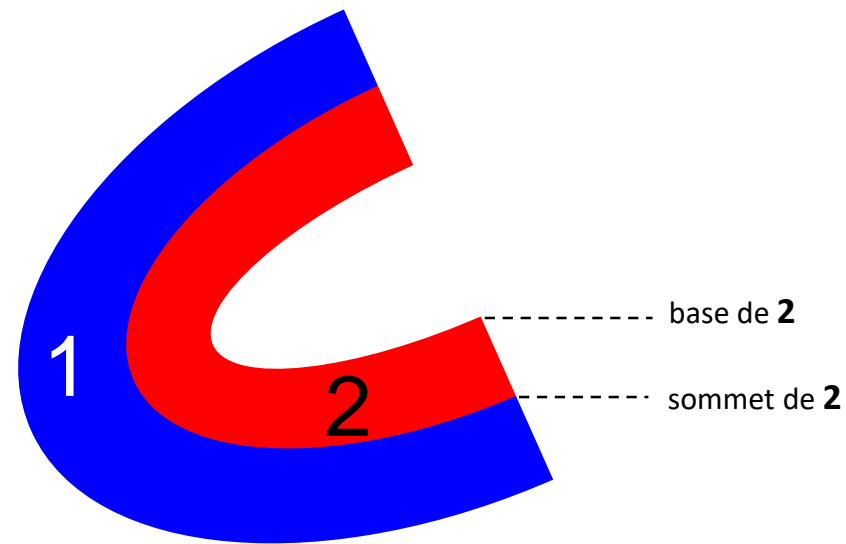
c) Les couches renversées (plis à flanc inverse)



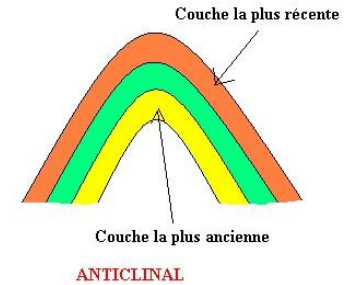
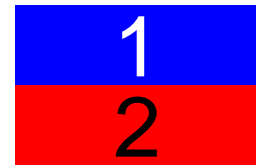
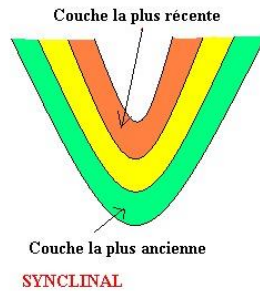
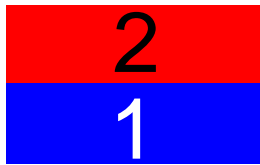
Pli couché de Saint-Clément - Détail



Si 2 plus jeune que 1 \Rightarrow Synclinal couché

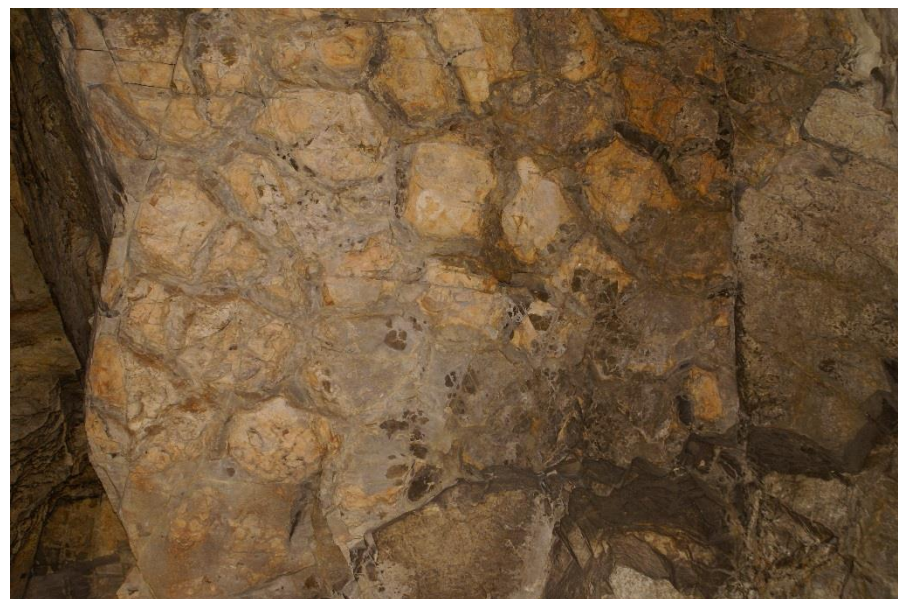


Si 2 plus vieux que 1 \Rightarrow Anticlinal couché



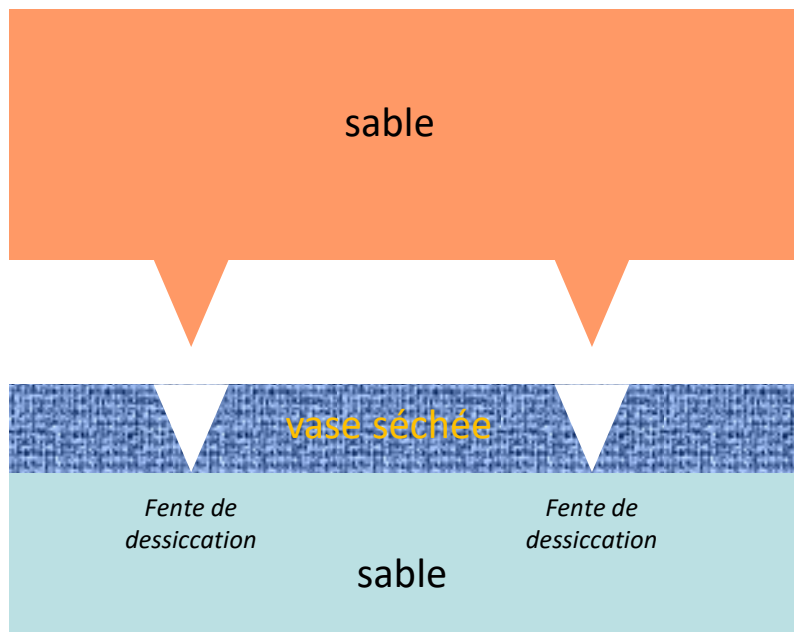
Dans le cas de structures fortement plissées, il va par conséquent être important de **polariser les couches** c'est-à-dire de découvrir sur le terrain où se trouve la base (= mur) ou le sommet (= toit) de la couche.

Quelques exemples de critères de polarité



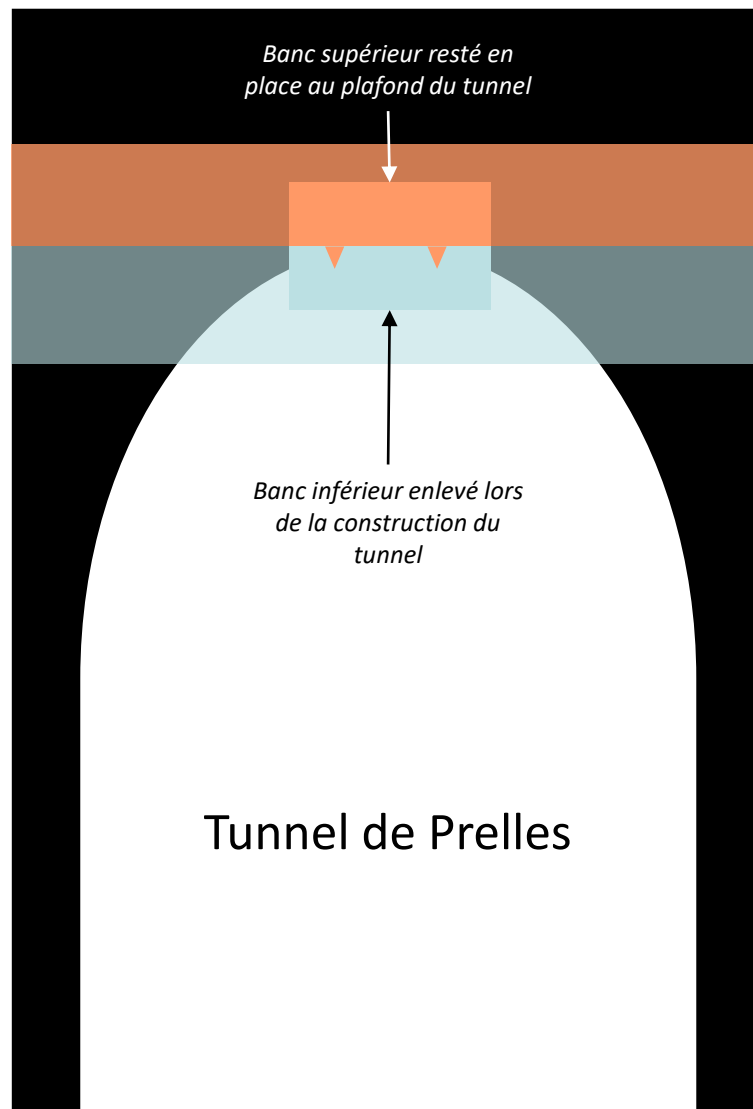
« Mud cracks » ou fentes de dessiccation actuelles et en creux (en haut) et fossiles et en relief (en bas) dans les quartzites du Trias (Tunnel de Prelles - Hautes-Alpes)

Banc supérieur



Banc inférieur

La série est normale.





Polygones de dessiccation dans des schistes ordoviciens – Anse de Bréhec (22)



« Ripple marks » ou rides de courant dans les quartzites du Trias (Vallée du Guil - 05)



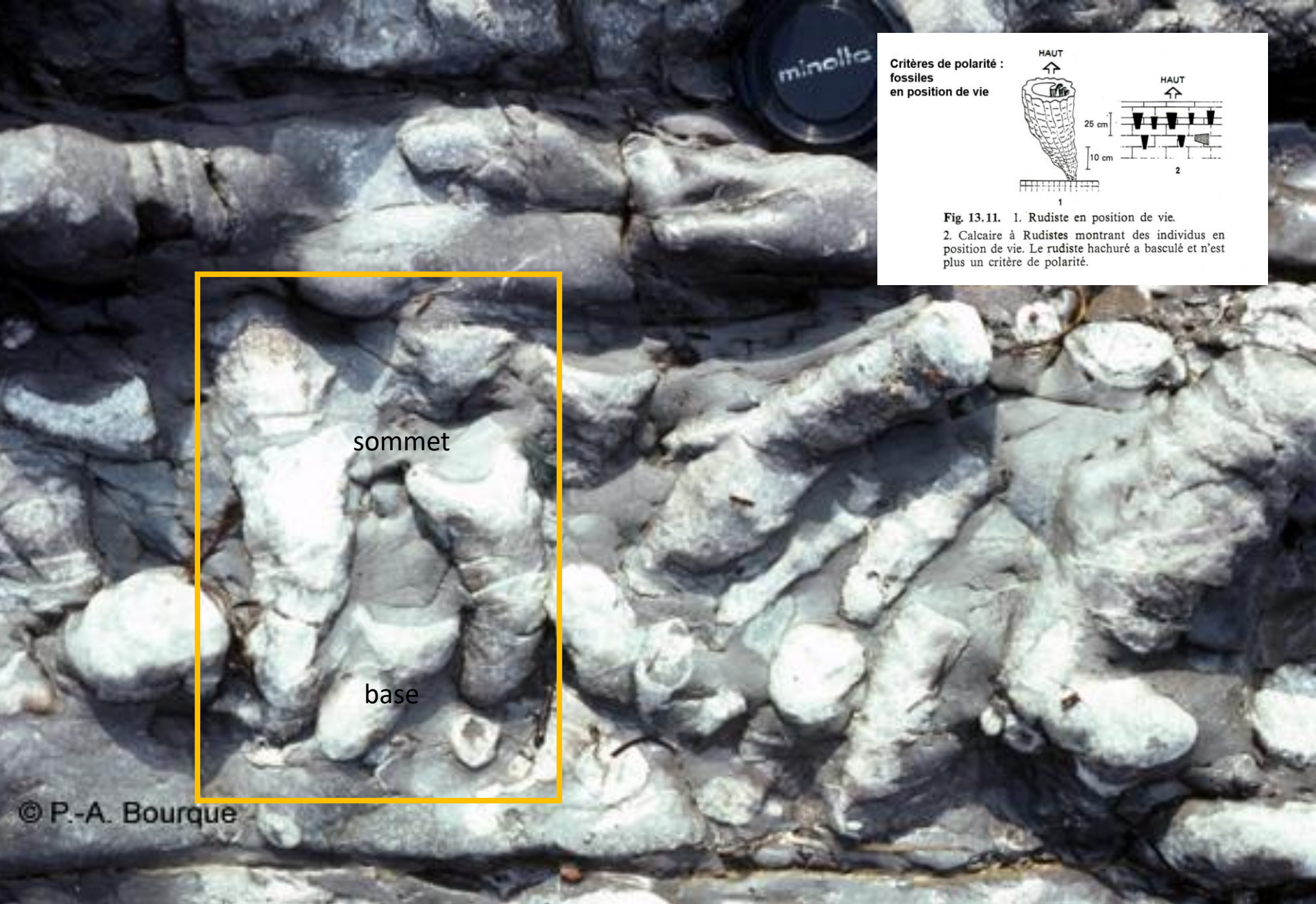
« Ripple marks » dans les grès ordoviciens (Anse de Bréhec -22)



Empreintes en creux de pas de Dinosaures (ichnofossiles) dans le Permien de Lodève (Hérault)



Empreinte en creux de pas d'un Dinosaur (Grallator ?) - Le Veillon (85)



Critères de polarité :
fossiles
en position de vie

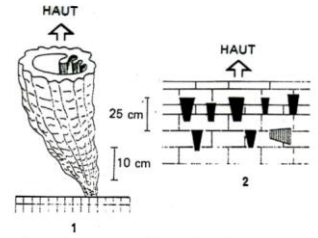


Fig. 13.11. 1. Rudiste en position de vie.
2. Calcaire à Rudistes montrant des individus en position de vie. Le rudiste hachuré a basculé et n'est plus un critère de polarité.

sommets

base

© P.-A. Bourque

Coraux en position de vie - Silurien - Gaspésie (Québec)

**Critères de polarité :
fossiles
en position de vie**

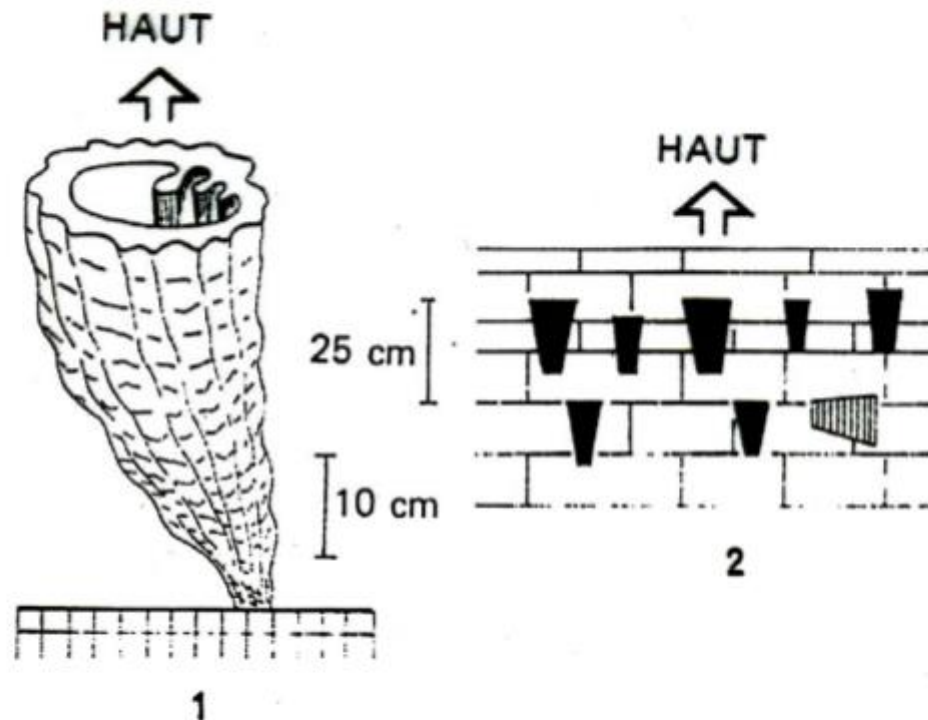
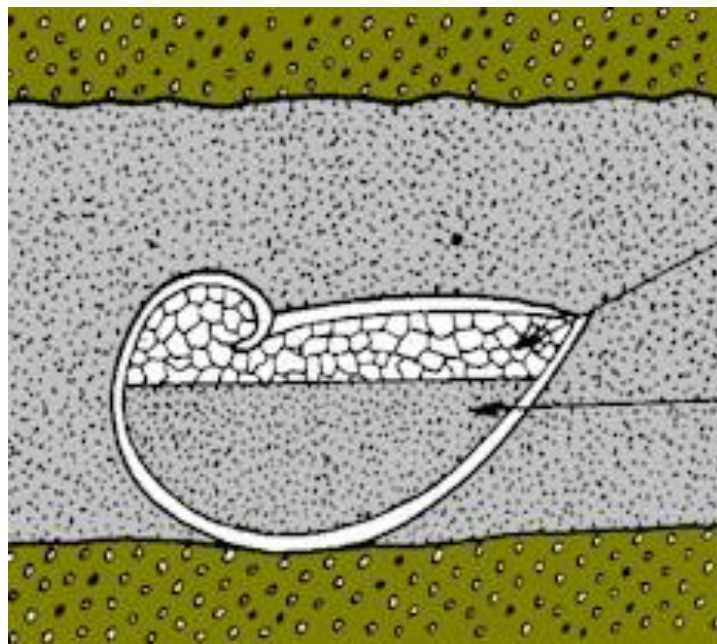
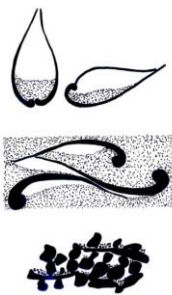


Fig. 13.11. 1. Rudiste en position de vie.
2. Calcaire à Rudistes montrant des individus en position de vie. Le rudiste hachuré a basculé et n'est plus un critère de polarité.

Les figures de bioturbation et certaines particularités du remplissage des coquilles comme celles des Brachiopodes fournissent également de bons indices de polarité.

La boue qui pénètre dans les coquilles laisse fréquemment un vide à la partie supérieure convexe. Ce vide est ensuite, au cours de la diagenèse, le siège d'une précipitation d'une forme de calcite : la sparite.

Critères de polarité :
les géopètes



sommets

sparite

remplissage
sédimentaire

base

géopétale adj. [B. Sander, 1936, du gr. *gê*, terre, et du lat. *petere*, se diriger vers ; anglicisme pour géopète] – Se dit de toute structure sédimentaire qui permet de déterminer où étaient le haut et le bas au moment du dépôt correspondant (granoclassement, hyporelief, remplissage de coquilles, **stromatactis**, etc.). V. polarité (stratigr.). Syn. géotrope.

Géopète dans une cavité de remplissage de coquille



Granoclassement – Alluvions de la Rivière des Galets (Cirque de Mafate, La Réunion)

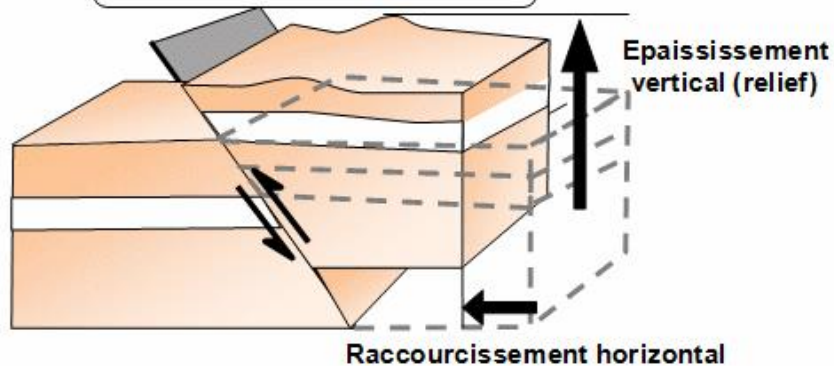


Figure de charge

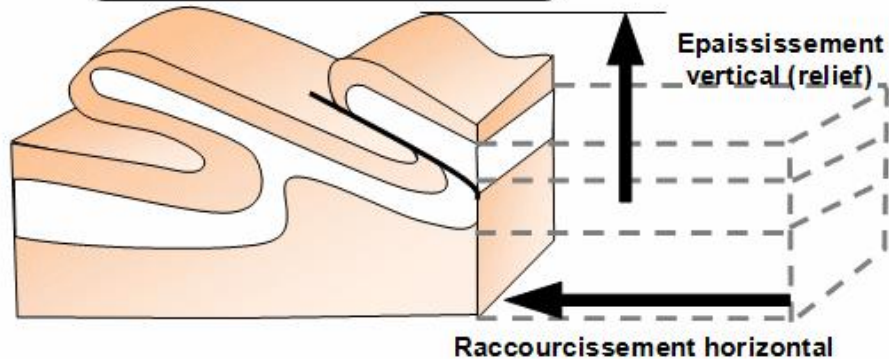
Figure de charge - Rocher de Poissonnet (Plage de Tournemine) - Pordic (22)

d) Les chevauchements

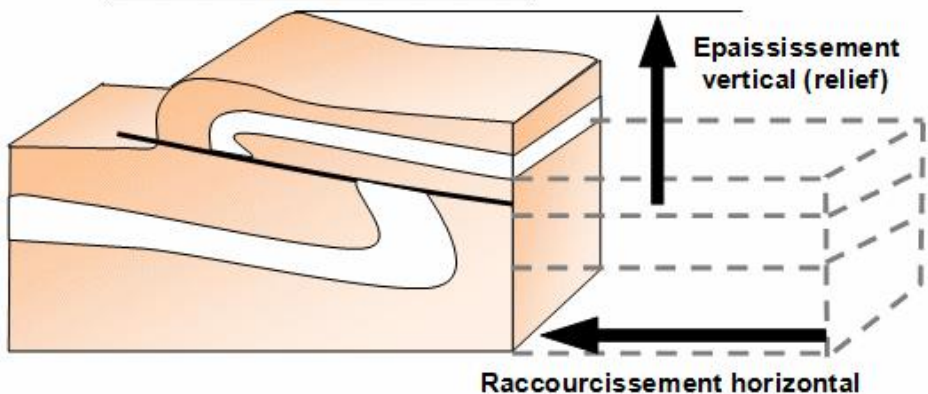
Faïlle inverse :



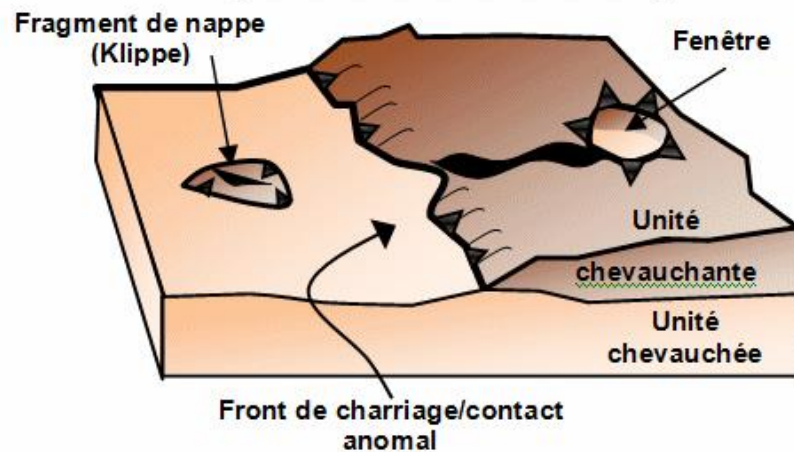
Pli et pli-faïlle :

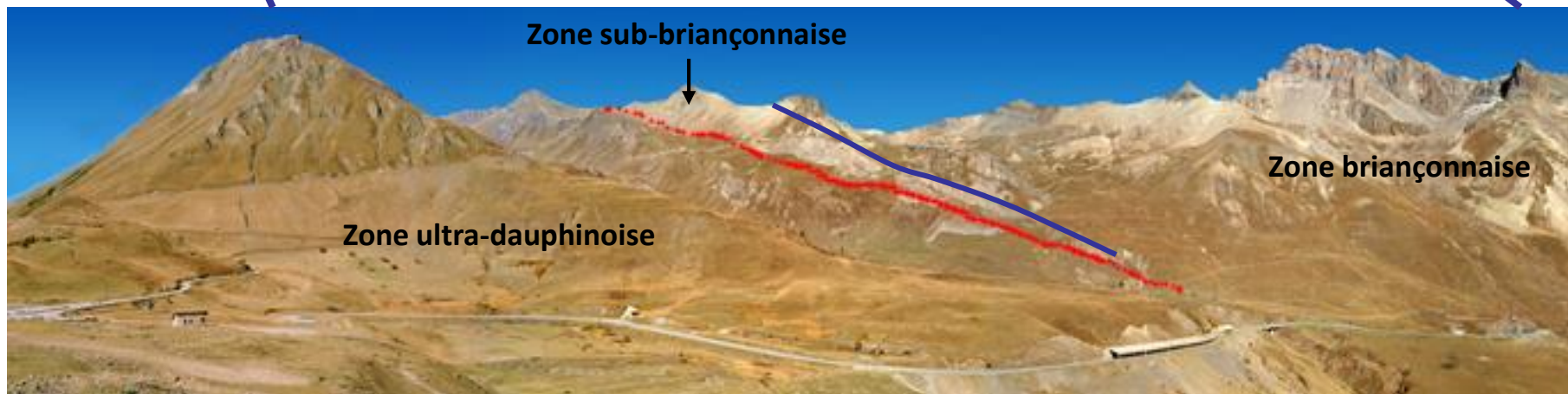
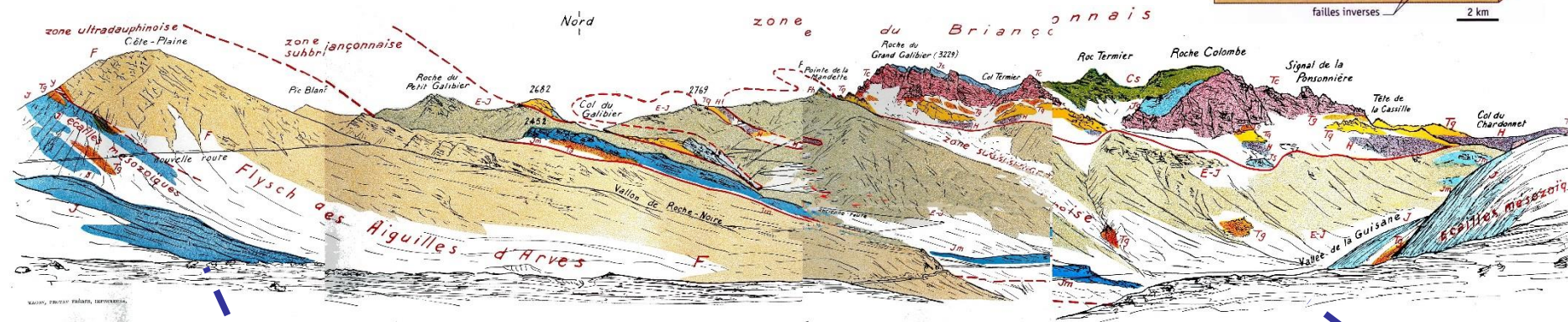
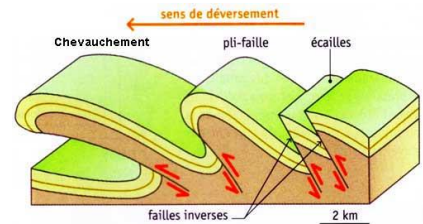


Chevauchement



Nappe de charriage





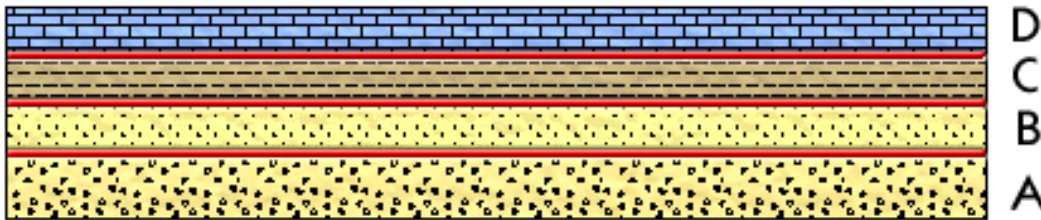
Panorama au Col du Lautaret

Souligné en rouge, le chevauchement de la zone sub-briançonnaise (d'âge Jurassique moyen à Crétacé supérieur) à droite sur la zone ultra-dauphinoise (Flysch des Aiguilles d'Arves d'âge Priabonien) et en bleu, le chevauchement de la zone briançonnaise (d'âge paléozoïque à Jurassique surtout) sur la zone sub-briançonnaise.

Le principe de superposition n'implique pas non plus obligatoirement que l'âge d'une strate soit immédiatement plus récent que celui de la strate qu'elle recouvre.

Entre deux strates qui se superposent, il peut y avoir eu interruption temporaire de la sédimentation ou si cette dernière a eu lieu, érosion complète des sédiments déposés.

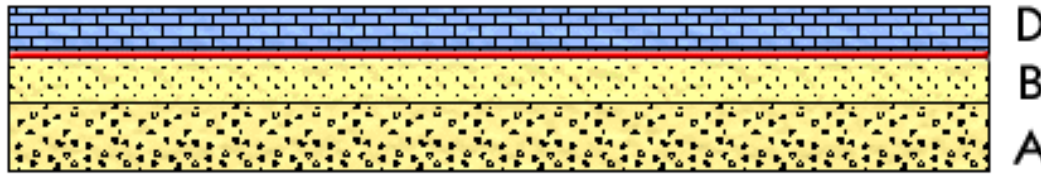
L'absence avérée d'une ou de plusieurs strates est une lacune sédimentaire.



D
C
B
A

Affleurement 1

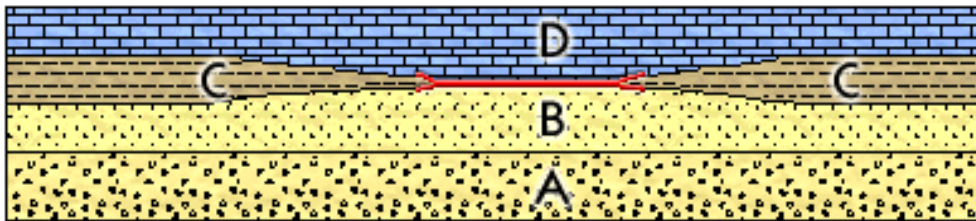
Les strates A,B,C et D se succèdent normalement dans le temps. Elles forment une série sédimentaire concordante.



D
B
A

Affleurement 2

Lacune régionale de C qui ne s'est pas déposée ou qui a été érodée après sédimentation (on parlera alors de lacune d'érosion).



D
B
A

Affleurement 3

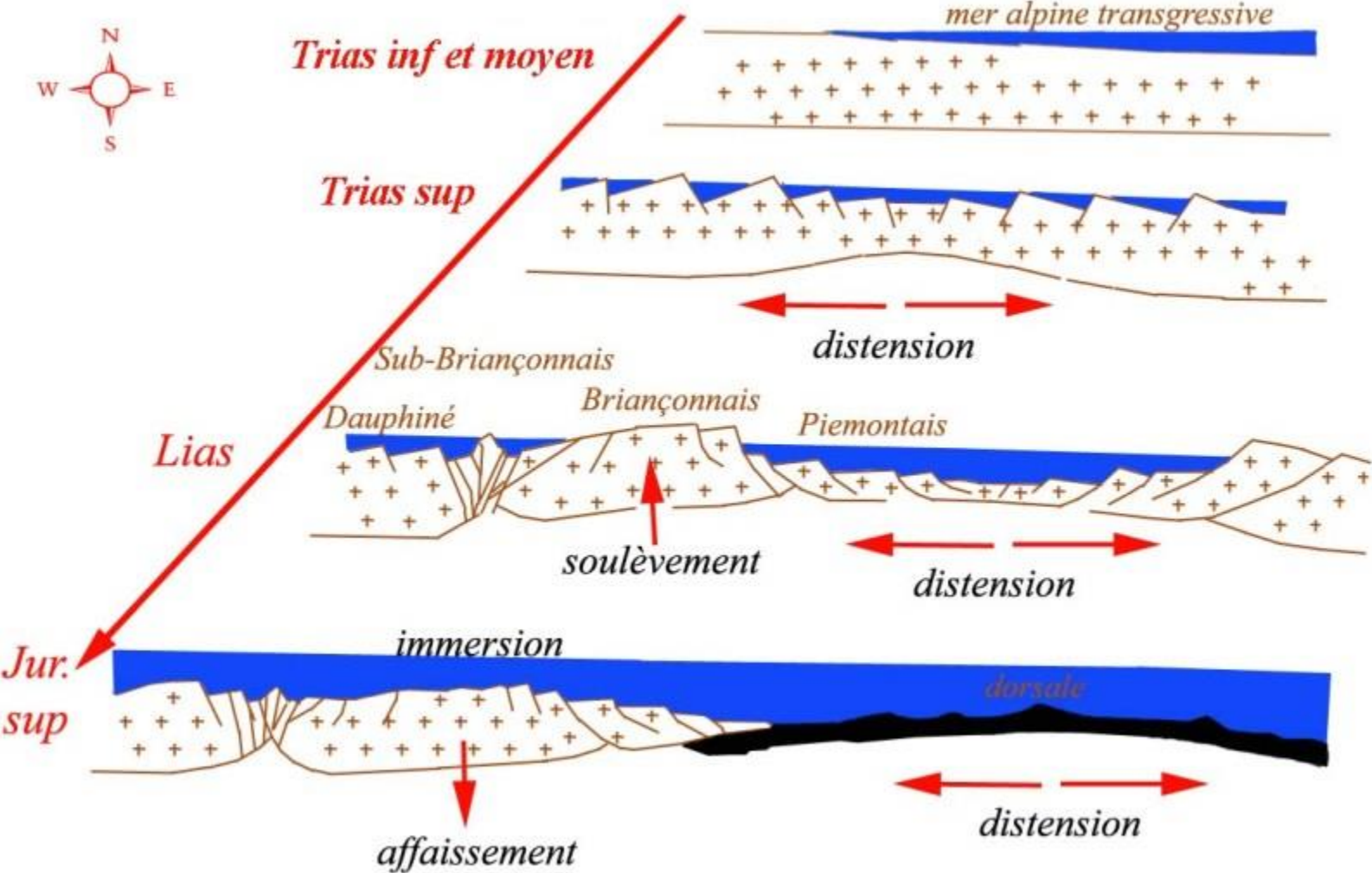
Lacune locale de C

Hypothèse possible : le site a fonctionné comme un haut-fond balayé par des courants qui ont empêché toute sédimentation.

De chaque côté de ce haut-fond, la sédimentation a pu se poursuivre normalement.

Dans ces trois exemples, les couches sont en position horizontale, parallèles les unes aux autres : elles sont **concordantes**.

Un exemple célèbre de lacune sédimentaire à l'échelle régionale : « l'île Briançonnaise » au Lias et Dogger



B- Le principe de recoupement



Le principe de recoupement postule que toute formation ou structure géologique qui en recoupe une autre lui est postérieure.

Ce principe de recoupement avait été entrevu par Nicolas STÉNON. Il a été proposé plus tard, en 1830, par Charles LYELL, dans son traité : « Les principes de la Géologie ».

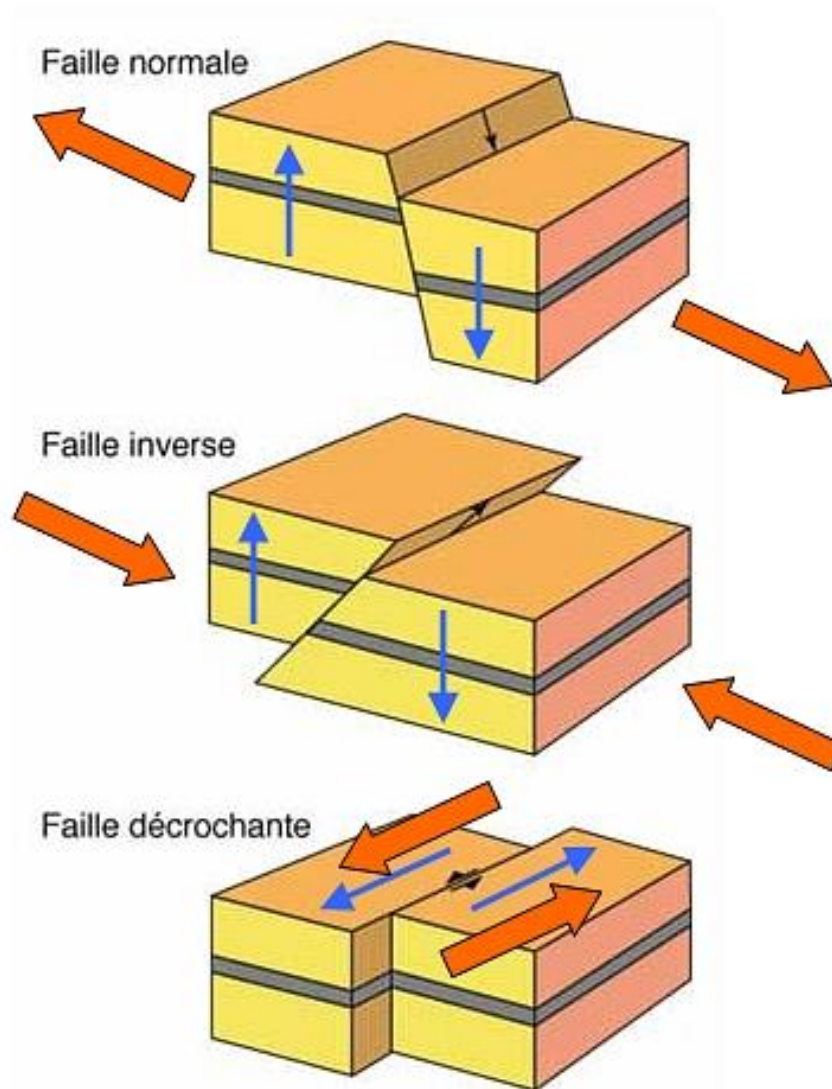
D'application très générale, il permet de traiter toutes les situations d'intersection entre couches et formations. On ne raisonne plus exclusivement sur les limites entre couches de terrain mais sur tout type de surface limite.

Le principe de recoupement généralisé postule aussi que dans une succession d'événements, tout événement qui affecte un objet, une formation géologique ou un autre événement, lui est postérieur.

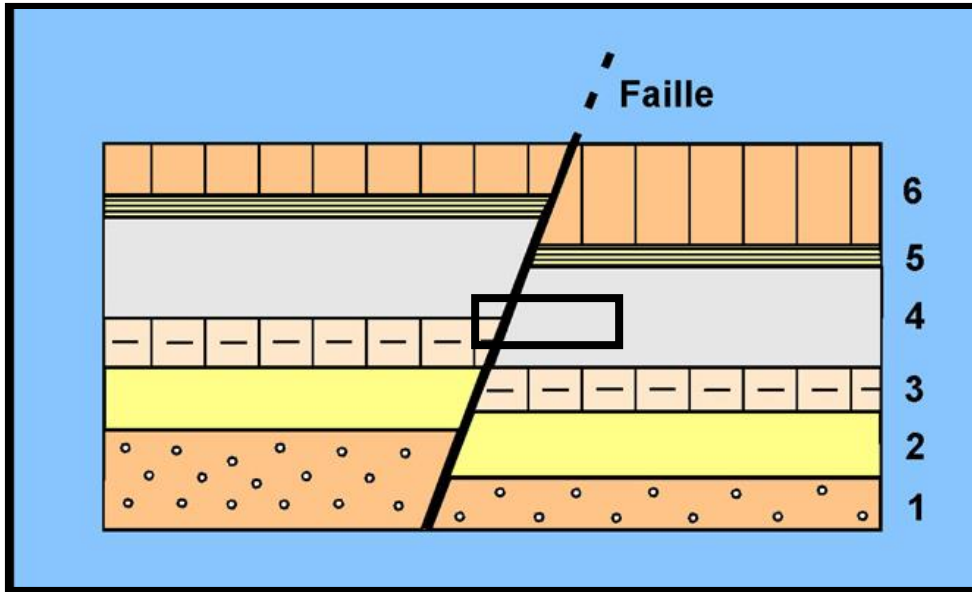
L'événement ayant généré des changements de géométrie des couches (plis), des discontinuités (failles ou limites de l'intrusion qui peut-être un filon ou un batholite) ou des transformations physiques ou minéralogiques (métamorphisme) est postérieur à la formation qu'il affecte.

Illustration du Principe de recoupement

a) Les failles



Les différents types de failles



Faille inverse

Le compartiment de gauche a tendance à venir chevaucher celui de droite.

La faille inverse coupe les strates 1 à 6. Elle est donc postérieure à ces 6 strates et plus précisément postérieure à la plus jeune d'entre elles : la strate 6 par application du Principe de superposition.

Ordre chronologique : Sédimentation de la couche 1 puis 2, 3,4,5,6 puis formation de la faille F

NB : On peut également remarquer que les failles mettent aussi en défaut le Principe de superposition : des couches du compartiment de gauche surélevé peuvent se retrouver localement au-dessus de couches plus jeunes du compartiment affaissé (voir dans l'encadré).

Exemples de failles à différentes échelles

□ à l'échelle du paysage



□ à l'échelle de l'affleurement



Microfaille dans une strate de dolomie blanche (Barrachin)

Microfailles dans du flaser-gabbro (Champrousse)



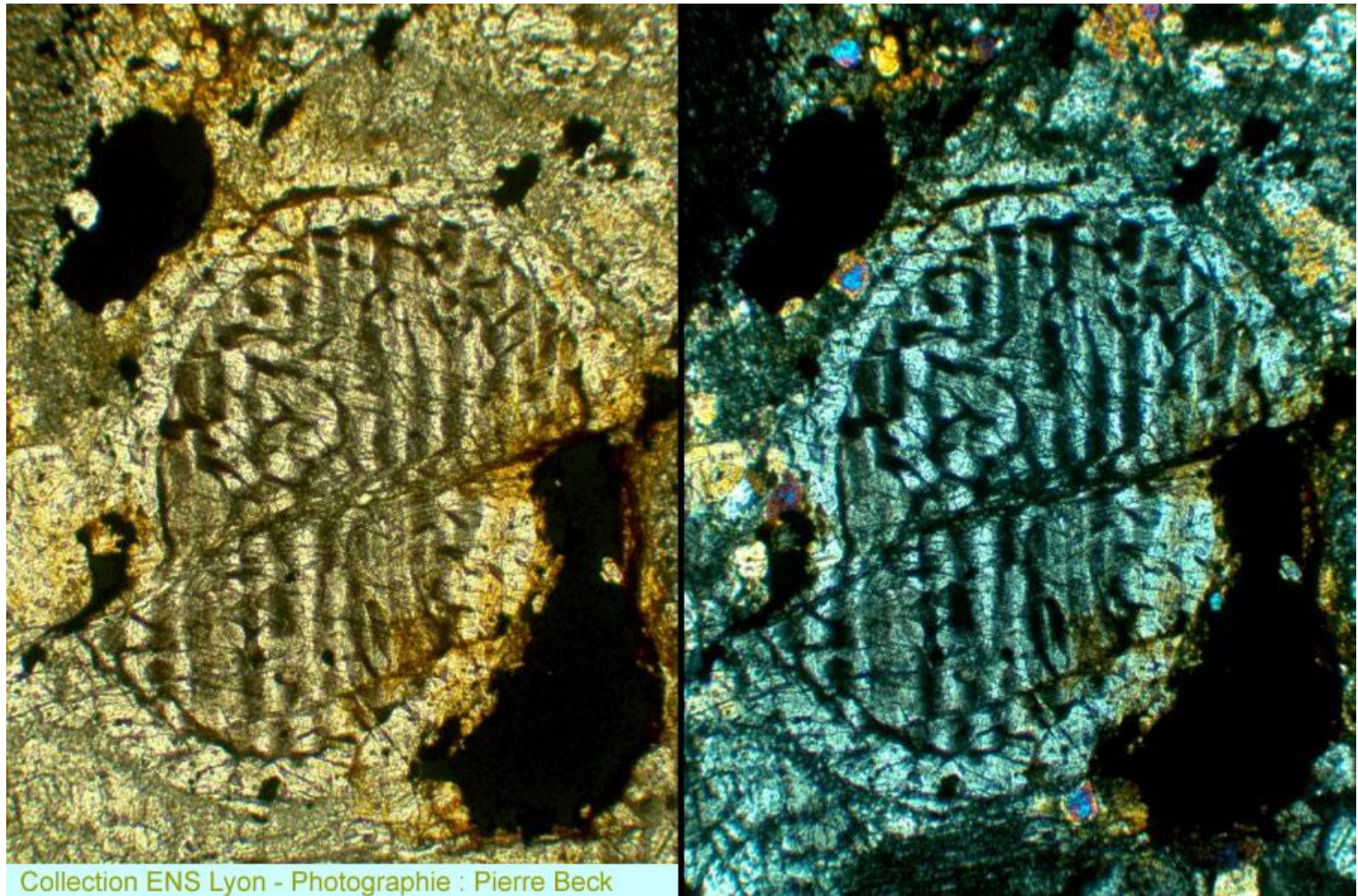


Microfaille normale dans une strate de dolomie blanche (Barrachin - 05)



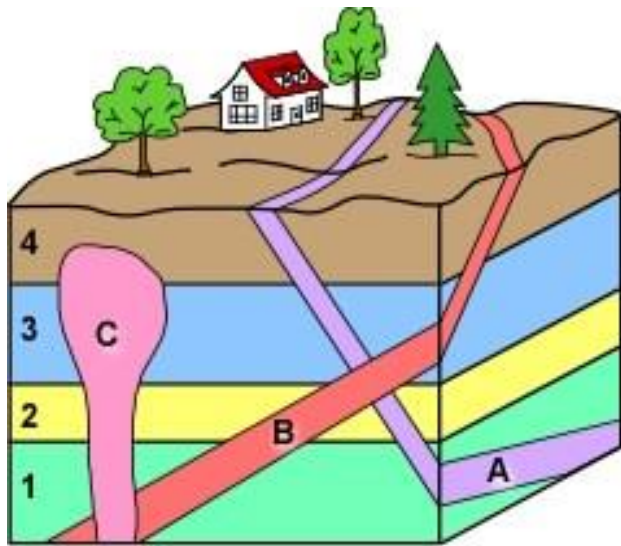
Faille dans un banc de tuffites – Sauveterre (85)

□ à l'échelle de la lame mince



Gros plans en LPNA et en LPA sur un chondrocyte de 1 mm de diamètre décalé de 0,25 mm par une micro-faille (veine de choc)

b) Les intrusions



Ici, l'âge relatif des couches 1 à 4 est fourni par le Principe de superposition. Les intrusions A, B et C sont plus jeunes que les couches sédimentaires horizontales dans lesquelles elles se sont introduites puisqu'elles les recoupent toutes.

Leurs âges relatifs sont donnés par les recoupements : comme le dyke B recoupe le dyke A et que l'intrusion C recoupe le dyke B, on en conclut que A est plus ancien que C, même si ces deux dykes ne se recoupent pas.

L'ordre des intrusions est donc A, B et finalement C.

1. Les filons



Filons de pegmatite et d'aplite dans l'orthogneiss des Sables d'Olonne – Anse de Chaillé



Filons de pegmatite et d'aplite dans
l'orthogneiss des Sables d'Olonne

Pointe de Péruse (85)



Le filon de pegmatite (vertical) recoupe le gros filon d'aplite (oblique) ; il lui est donc postérieur.

Tous deux recoupent la foliation horizontale de l'orthogneiss.

Leur mise en place est donc postérieure à l'acquisition de cette foliation par le protolithe de l'orthogneiss.

Pointe de Péruse (85)



Filons de pegmatite dans l'orthogneiss des Sables d'Olonne – Dos de la Baleine



Filons de gabbro sombre dans du granite rose à gros grain

La Grève blanche – Trégastel (22)



Filons de granite rose et de dolérite dans les gneiss Icartiens
Port Rolland-Le Ranollien – Perros-Guirec (22)





Filon d'andésite recoupant les fines alternances gris-vert de pélites et rouges de grès d'âge Ordovicien

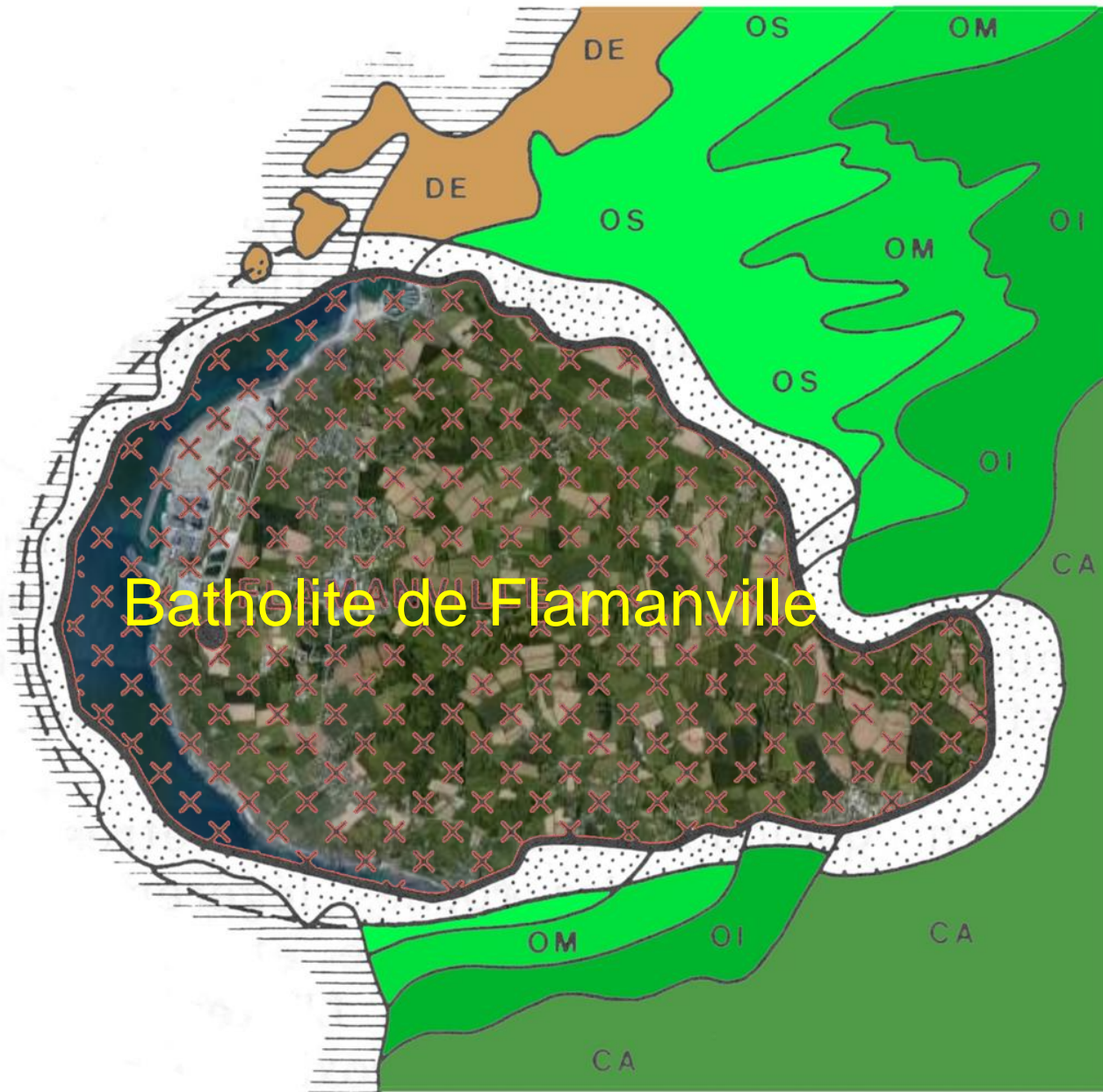
**Âge du volcanisme andésitique :
Ordovicien inférieur (environ 472
Ma)**

Anse de Bréhec (22)



**Faciès pépéritique, preuve de la
contemporanéité de la
sédimentation et du volcanisme**

2. Les massifs plutoniques



Batholite de Flamanville

Le granite de Flamanville (Manche)

Le pluton recoupe « à l'emporte-pièce » les grès et schistes du Cambrien (CA), de l'Ordovicien (OI, OM, OS) et également à l'Ouest, sur la côte, les schistes et calcaires du Dévonien (DE). **Sa mise en place est donc post-Dévonien.**

Au contact du granite et sur une largeur d'environ 200 m (zone blanche en pointillés), les roches sédimentaires paléozoïques (grès, schistes et calcaires) sont affectées de transformations texturales et minéralogiques ± importantes.

Ces transformations n'ont pu être provoquées que par la chaleur dégagée par le batholite, preuve qu'il était encore chaud (mais solide) lors de sa mise en place en profondeur dans l'encaissant sédimentaire : on parle de **métamorphisme de contact** ou de **thermométamorphisme**.

Une auréole de métamorphisme de contact est d'autant plus large que le contraste thermique entre l'intrusif et l'encaissant est important et durable. Sa largeur dépend donc principalement de la profondeur de mise en place du batholite et de son volume.

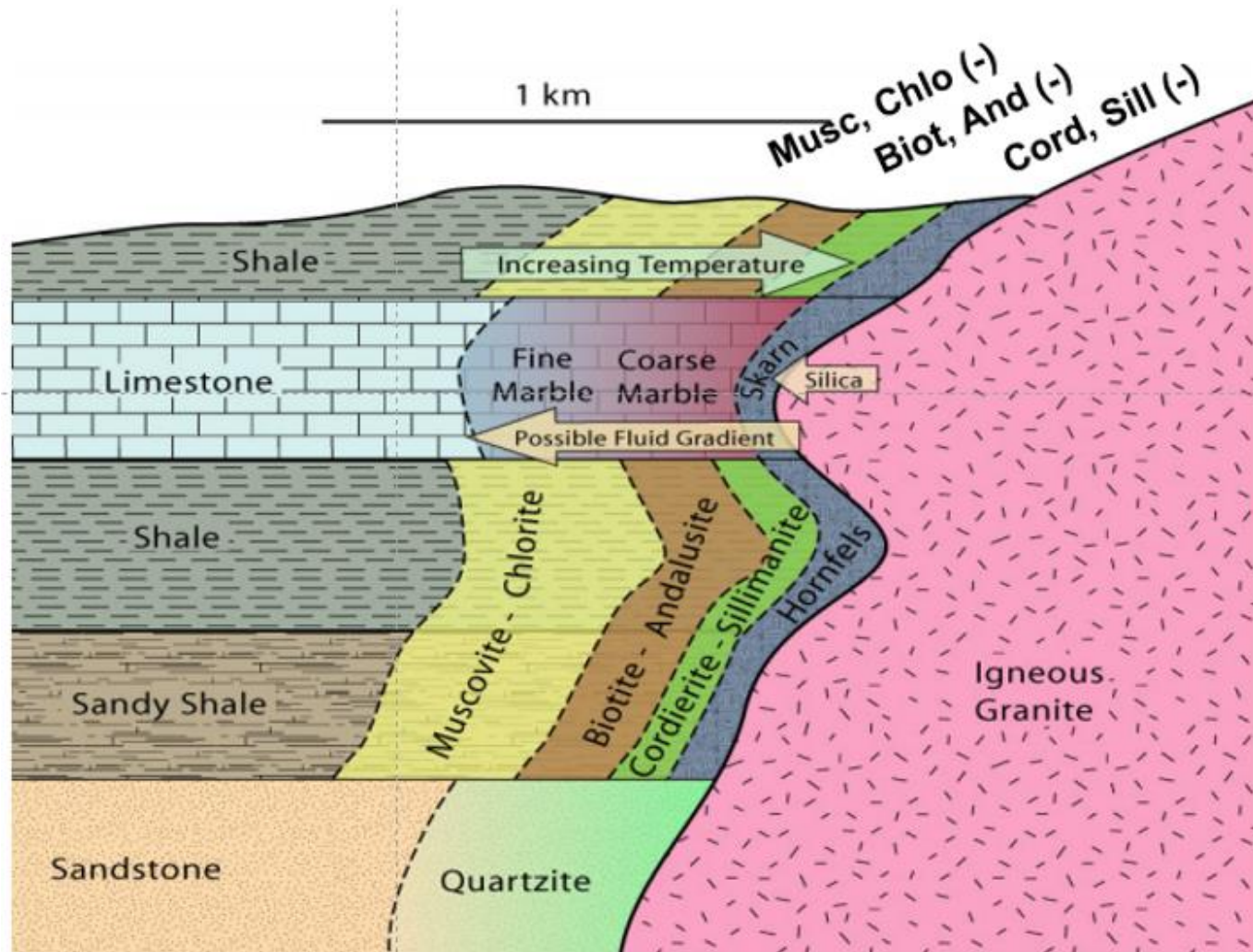
Le métamorphisme de contact ou thermométamorphisme

Isograde métamorphique : ligne d'égale intensité métamorphique marquée par l'apparition (+) ou la disparition (-) de minéraux de métamorphisme

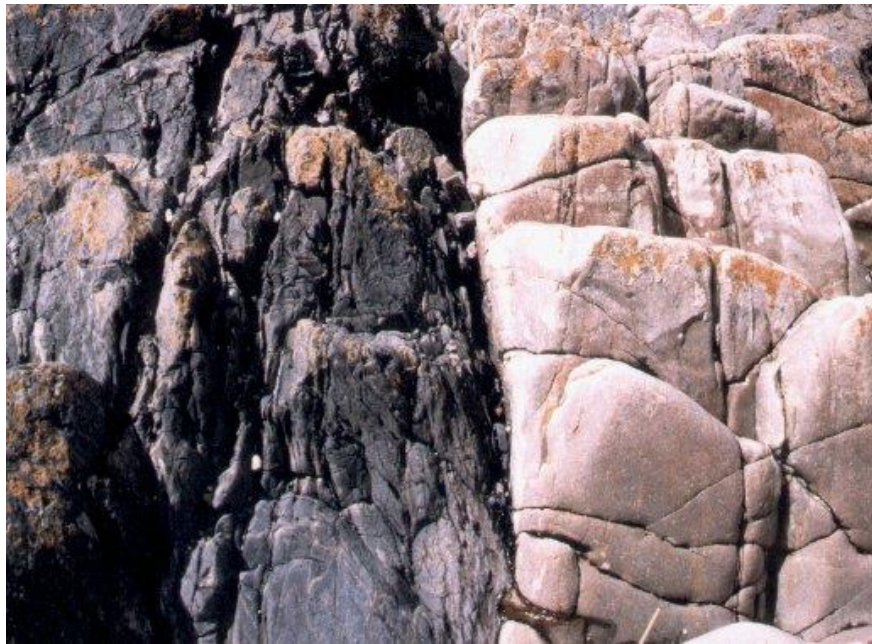
La taille de l'auréole varie en fonction du contraste de température entre l'encaissant et l'intrusif, de la nature de l'encaissant (\pm conducteur de la chaleur), ...

Au sein de l'auréole, les isogrades sont généralement très resserrés ce qui différencie le métamorphisme de contact du métamorphisme régional.

En conséquence, les isogrades sont difficiles à cartographier.



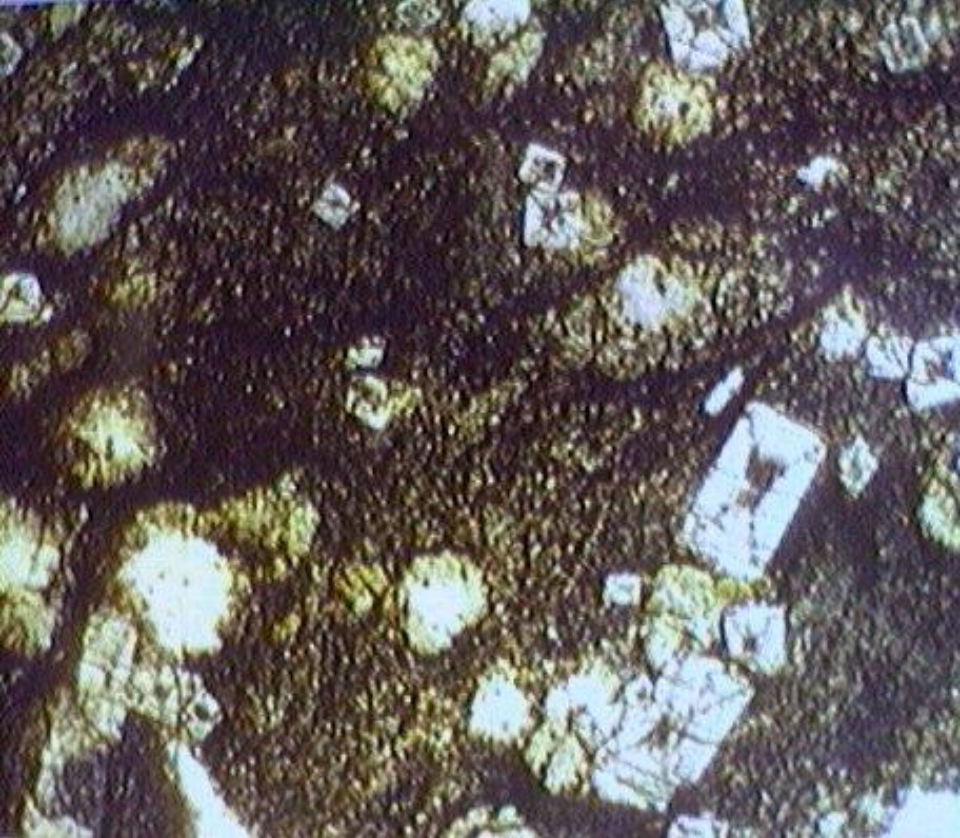
**Contact franc entre
le granite clair (à
droite) et les
cornéennes
sombres (à gauche)**



**Enclaves de
cornéennes éclatées
au sein du granite**

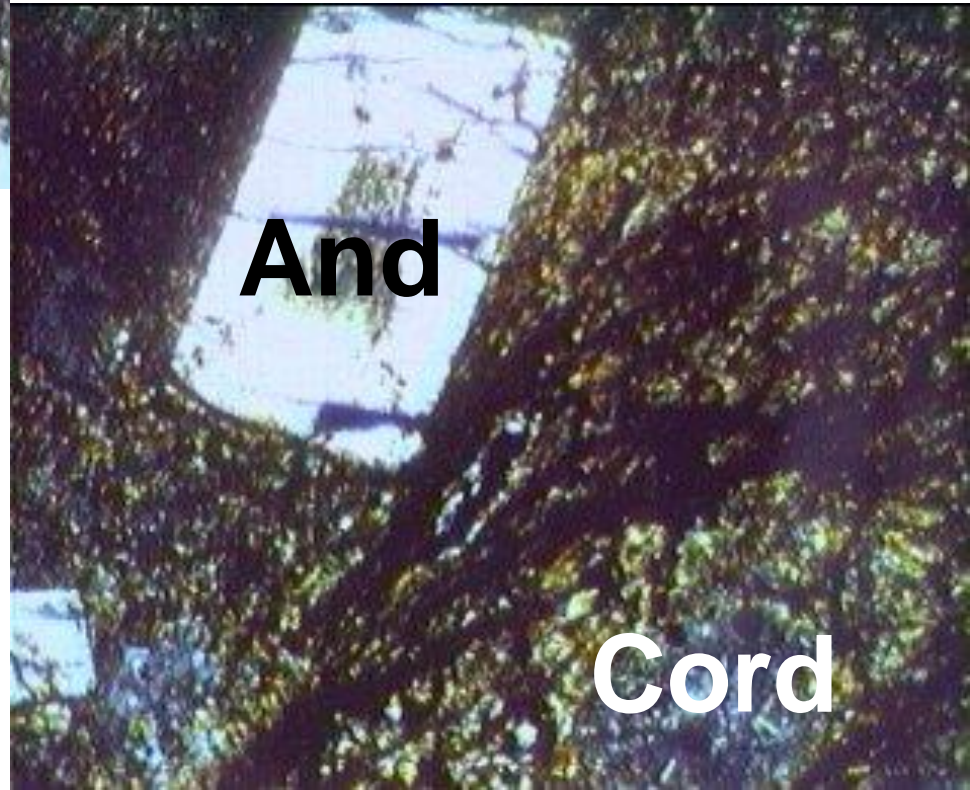


Les **cornéennes** formées ici à partir d'un protolithe pélitique sont des roches massives, sombres, très dures, d'aspect corné (d'où leur nom) et à grain fin, voire très fin.



Les cornéennes renferment des nodules d'**andalousite** et de **cordiérite**.

Les cristaux d'andalousite et de cordiérite y sont dispersés dans la masse, sans aucune orientation préférentielle.



And

Cord

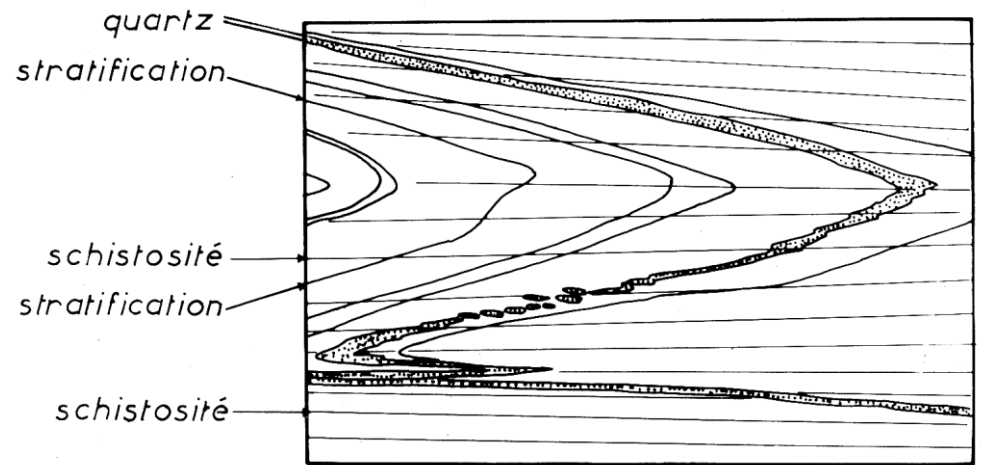
c) Les plis



Plis dans une alternance de calcaires (en creux) et de radiolarites (en relief) du Malm

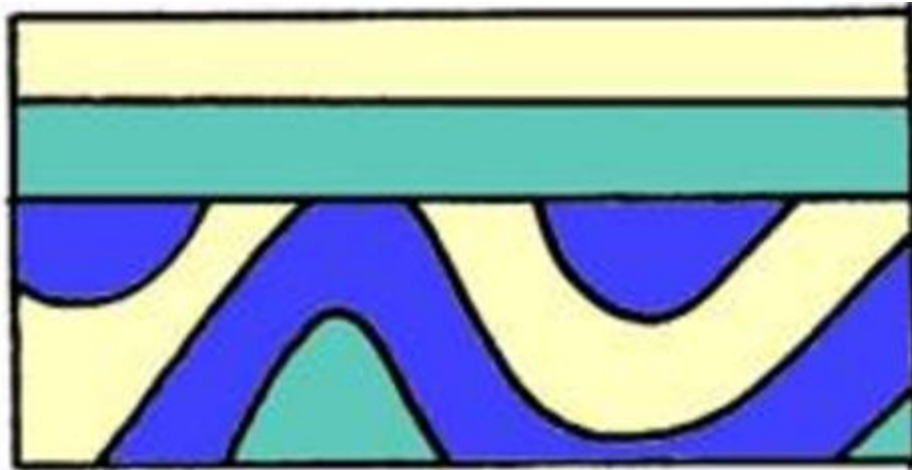


Détail de la diapositive précédente – Nappe de Champcella (Hautes-Alpes)



Microplis dans un schiste ardoisier (lame mince)

d) Les discordances et surfaces d'érosion



C'est au début du XIX^{ème} siècle qu'on a compris l'importance de reconnaître des structures bien particulières dans les successions de roches : les **discordances**, pour établir des datations relatives.

Une discordance est l'expression d'une interruption de la continuité de la sédimentation.

Il s'agit d'une surface de recoupement entre deux formations géologiques montrant des âges et des litages différents. Les couches situées sous la discordance sont antérieures à celles qui sont au-dessus.

L'événement tectonique ou sédimentaire responsable de la discordance est postérieur à la dernière couche sous la discordance et antérieur à la première couche au-dessus de la discordance.