

Critères de polarité :
fossiles
en position de vie

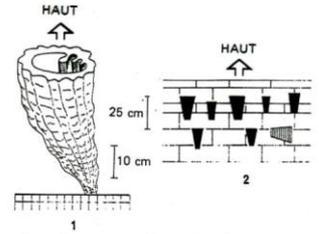


Fig. 13.11. 1. Rudiste en position de vie.
2. Calcaire à Rudistes montrant des individus en position de vie. Le rudiste hachuré a basculé et n'est plus un critère de polarité.

sommet

base

© P.-A. Bourque

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

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

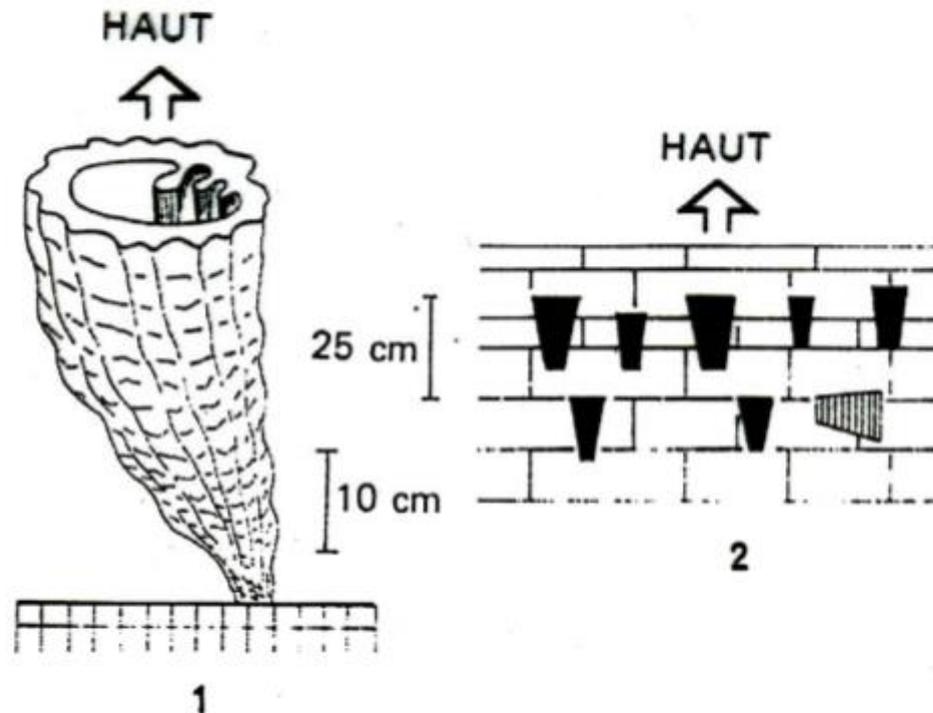
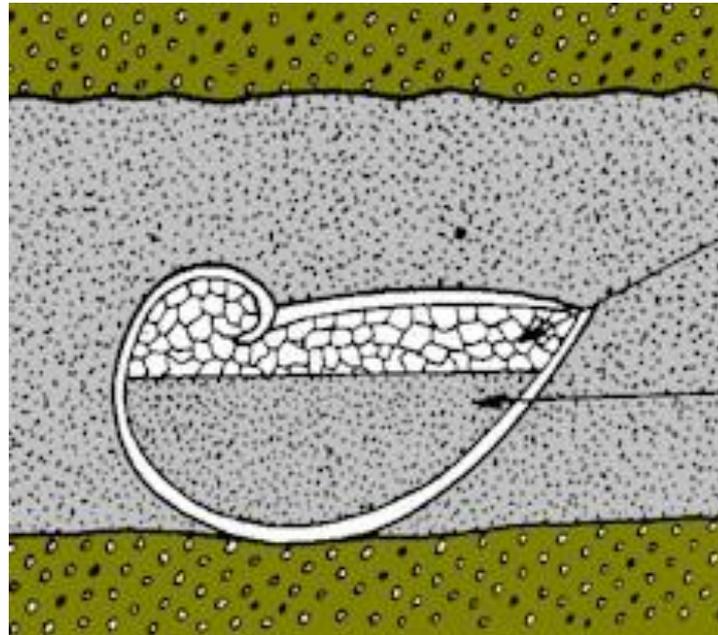
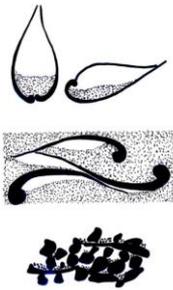


Fig. 13.11. 1. Rudiste en position de vie.
2. Calcaire à Rudistes montrant des individus en position de vie. Le rudiste hachuré a basculé et n'est plus un critère de polarité.

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



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

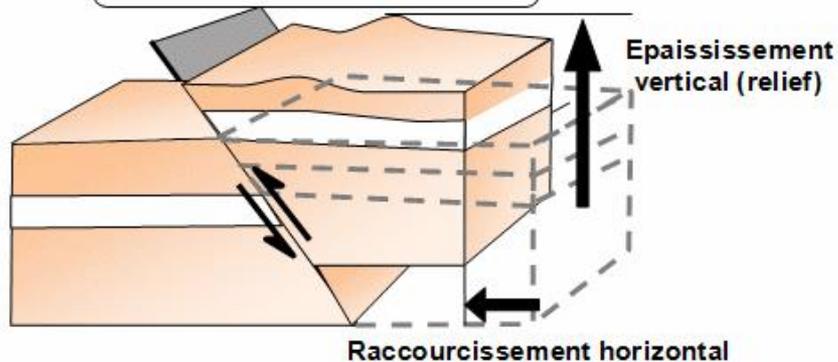


Figure de charge

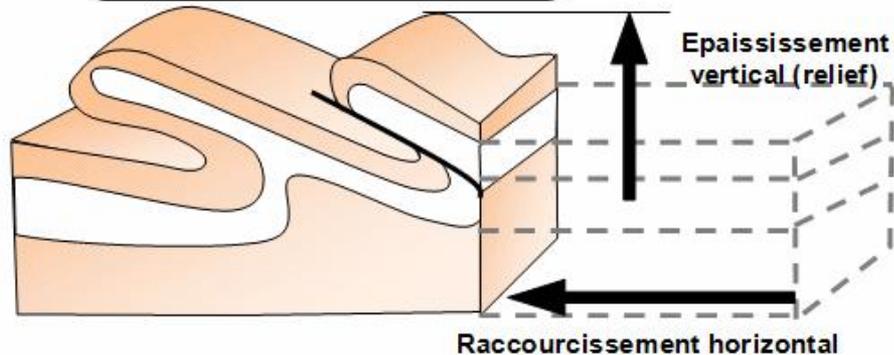
Figure de charge - Rocher de Poissonnet (Plage de Tournemine) - Pordic (22)

d) Les chevauchements

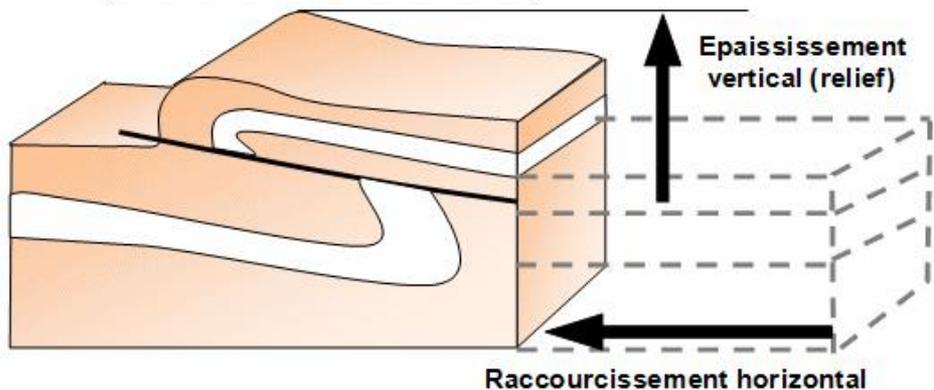
Faïlle inverse :



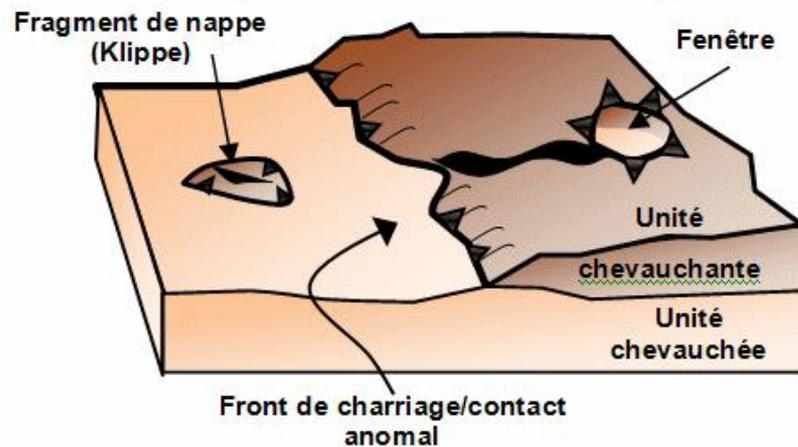
Pli et pli-faïlle :

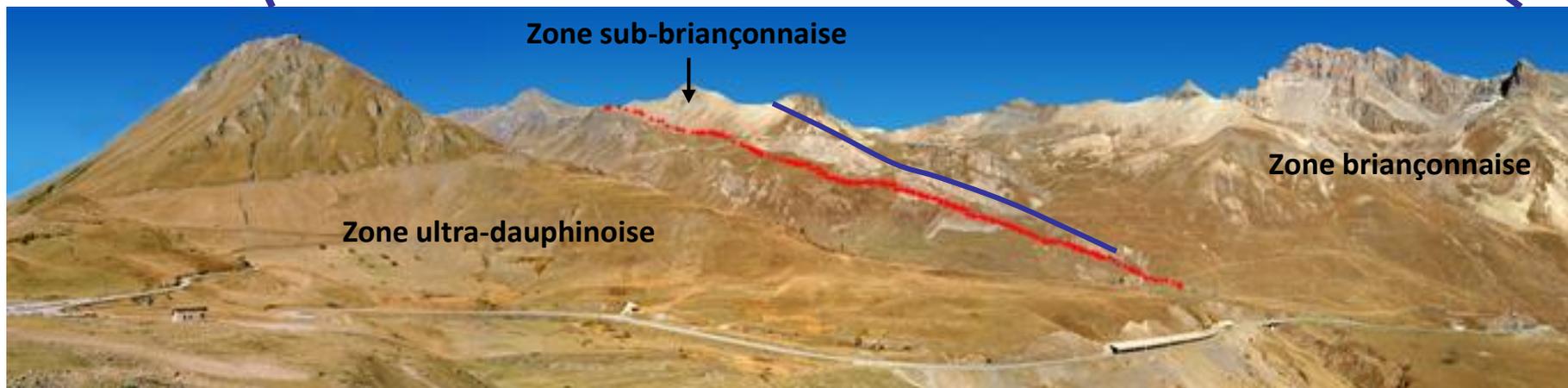
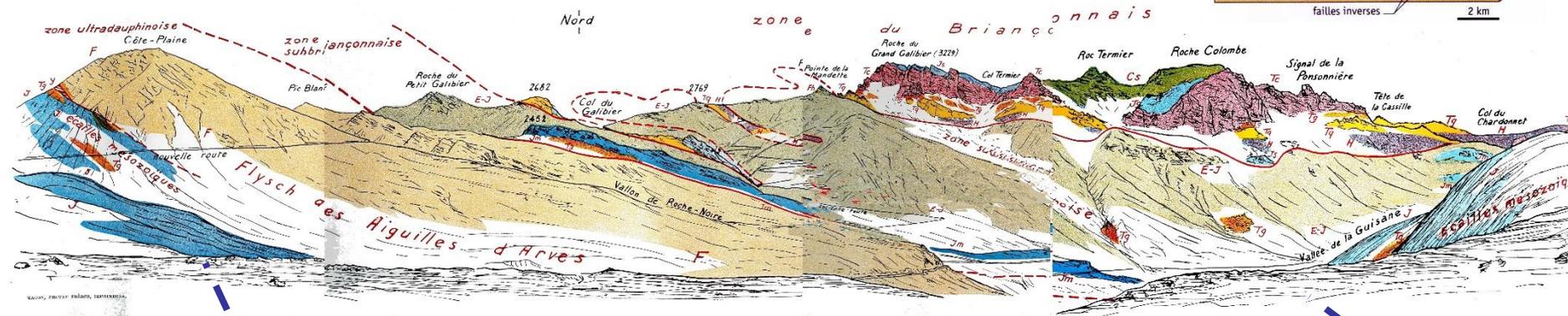
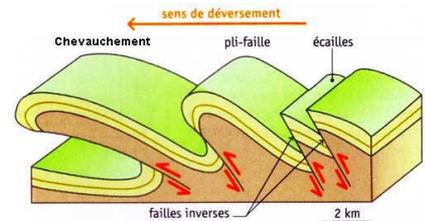


Chevauchement



Nappe de charriage





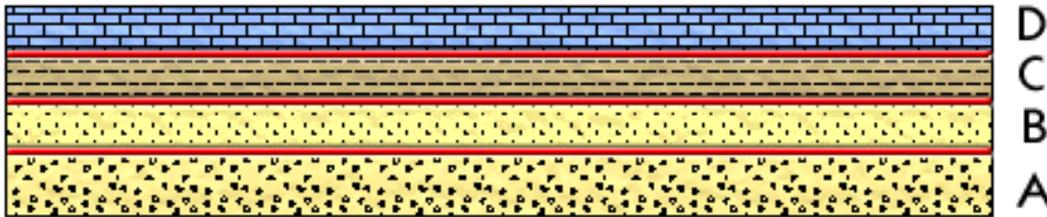
Panorama au Col du Lautaret

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.

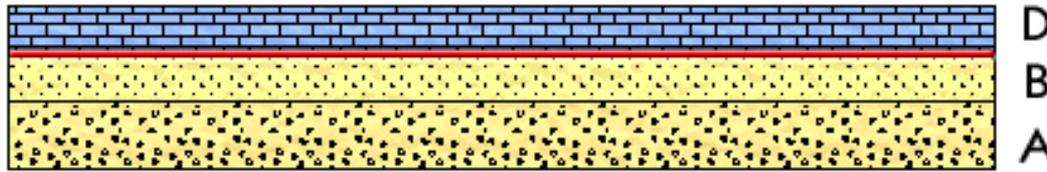
L'absence avérée d'une ou de plusieurs strates est une lacune sédimentaire.



D
C
B
A

Affleurement 1

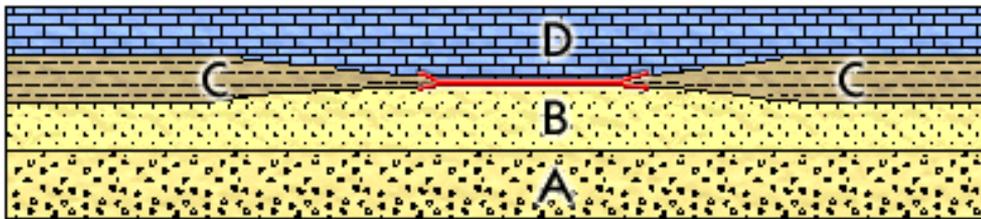
Les strates A,B,C et D se succèdent normalement dans le temps. Elles forment une série sédimentaire concordantes.



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

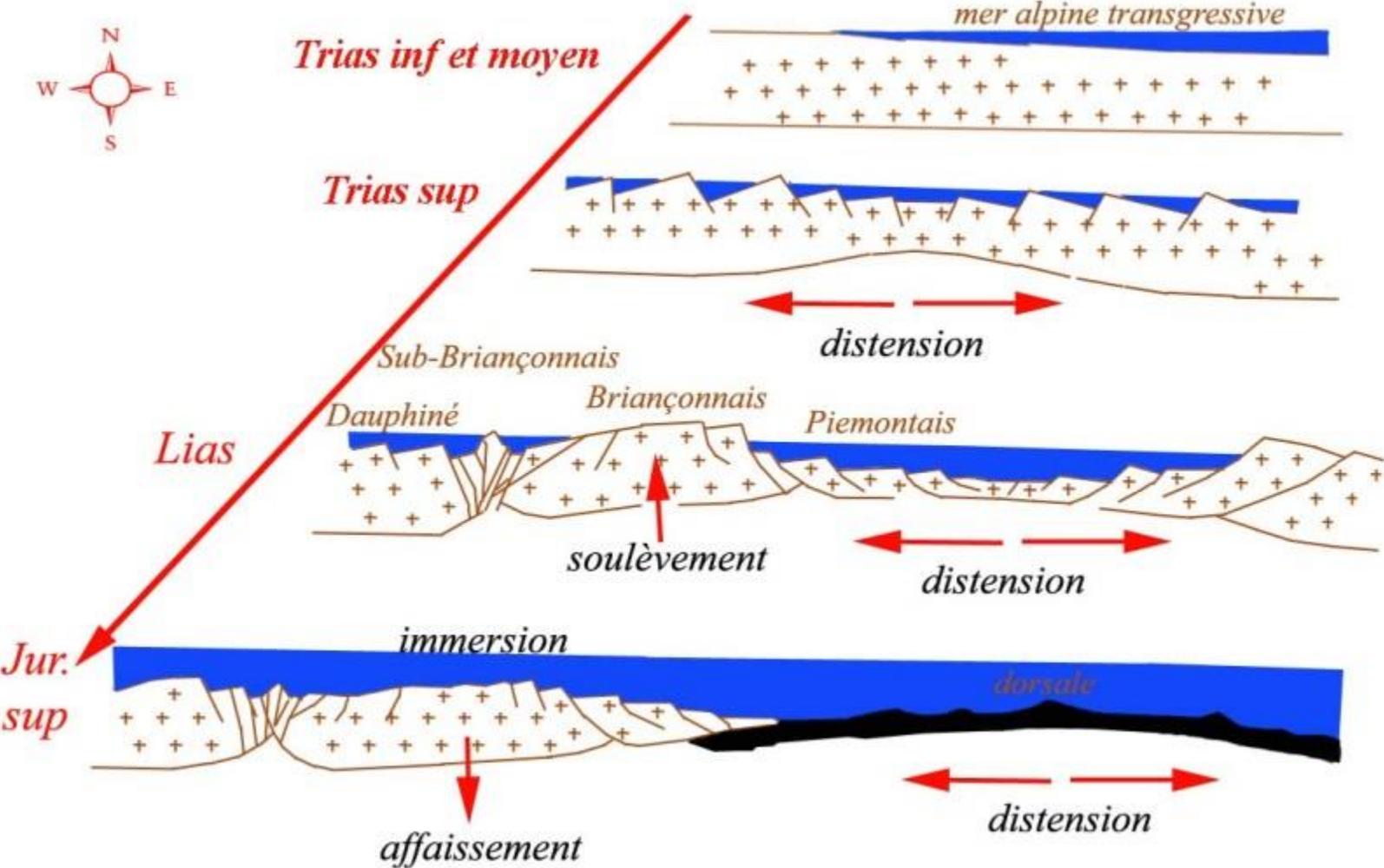
Affleurement 3

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 ».

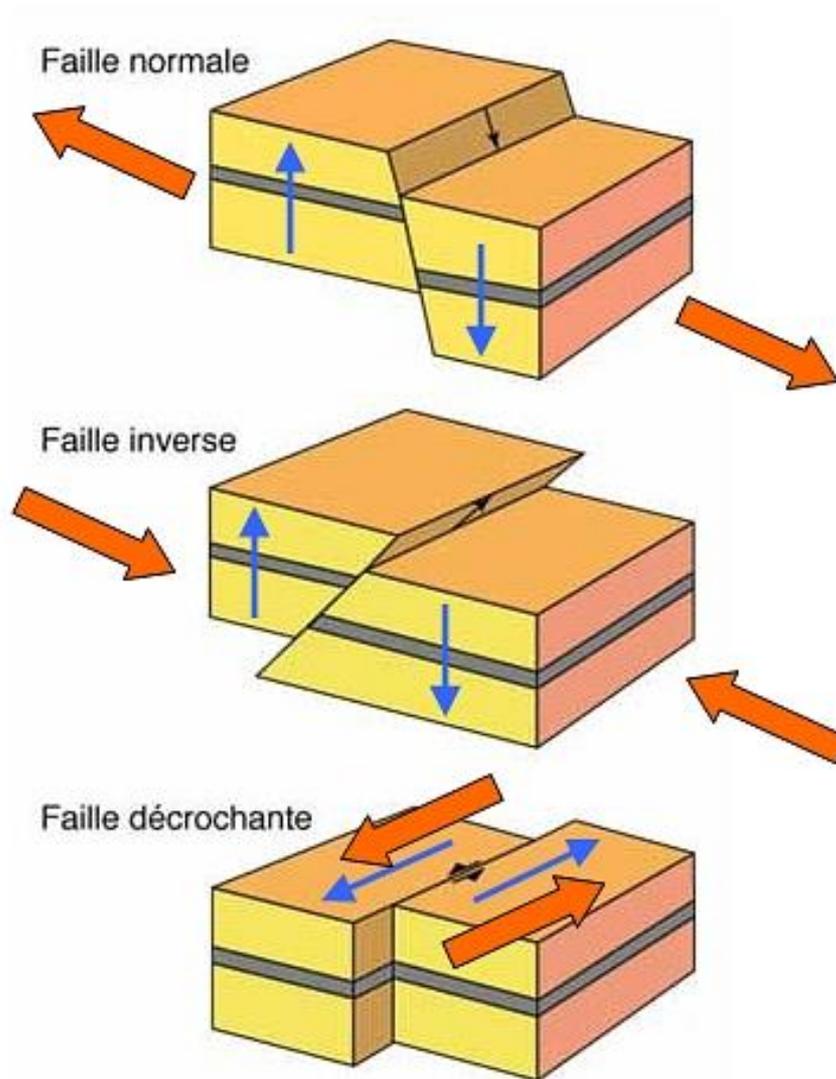
D'application très générale, il permet de traiter toutes les situations d'intersection entre couches et formations. On ne raisonne plus exclusivement sur les limites entre couches de terrain mais sur tout type de surface limite.

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.

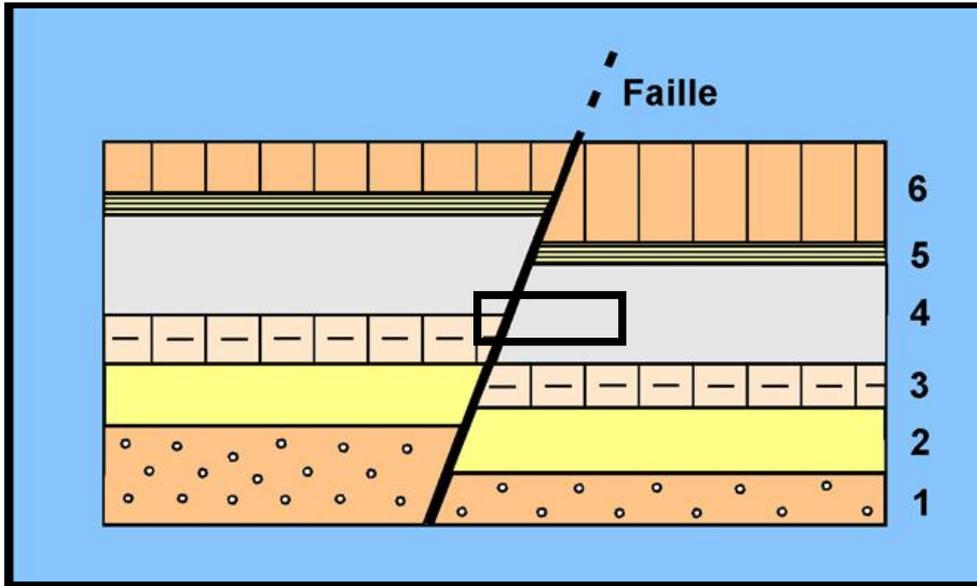
L'événement ayant généré des changements de géométrie des couches (plis), des discontinuités (failles ou limites de l'intrusion qui peut-être un filon ou un batholite) ou des transformations physiques ou minéralogiques (métamorphisme) est postérieur à la formation qu'il affecte.

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



Microfailles dans du flaser-gabbro
(Champrousse)

Microfaille dans une strate de
dolomie blanche (Barrachin)



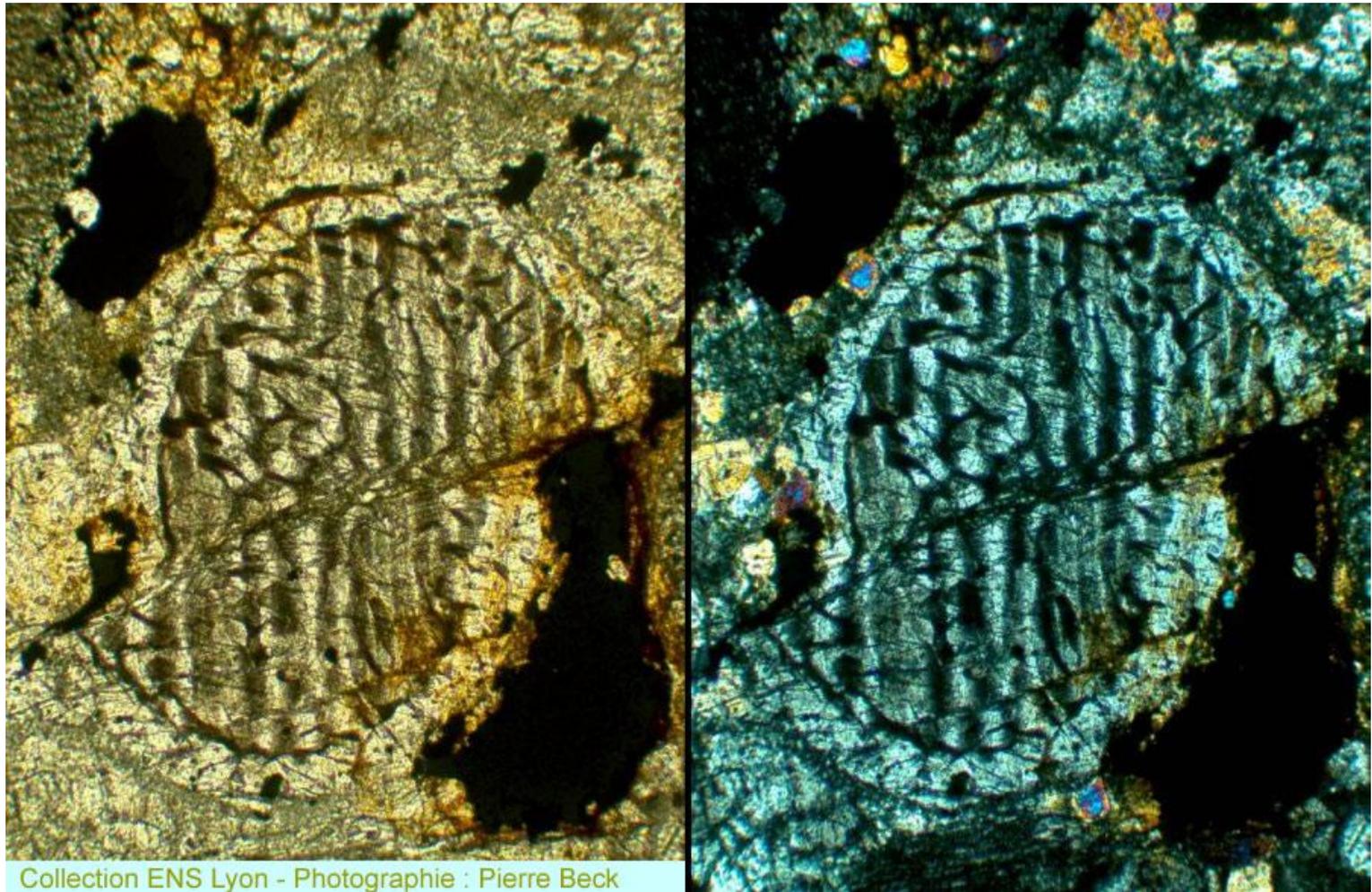


Microfaille normale dans une strate de dolomie blanche (Barrachin - 05)



Faille dans un banc de tuffites – Sauveterre (85)

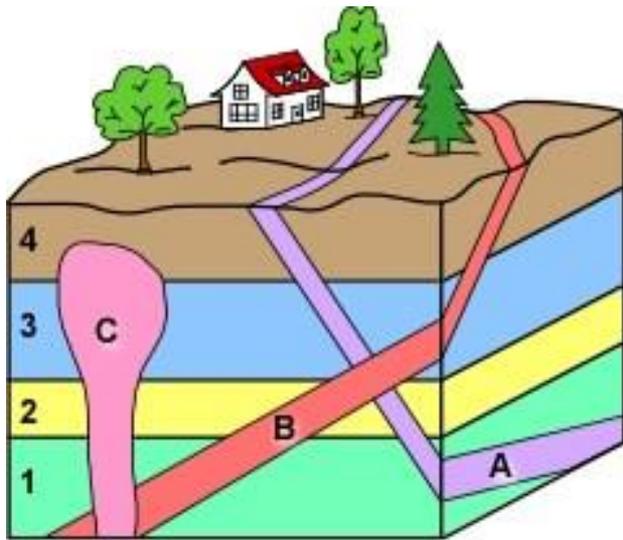
□ à l'échelle de la lame mince



Collection ENS Lyon - Photographie : Pierre Beck

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 recourent.

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 sait 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

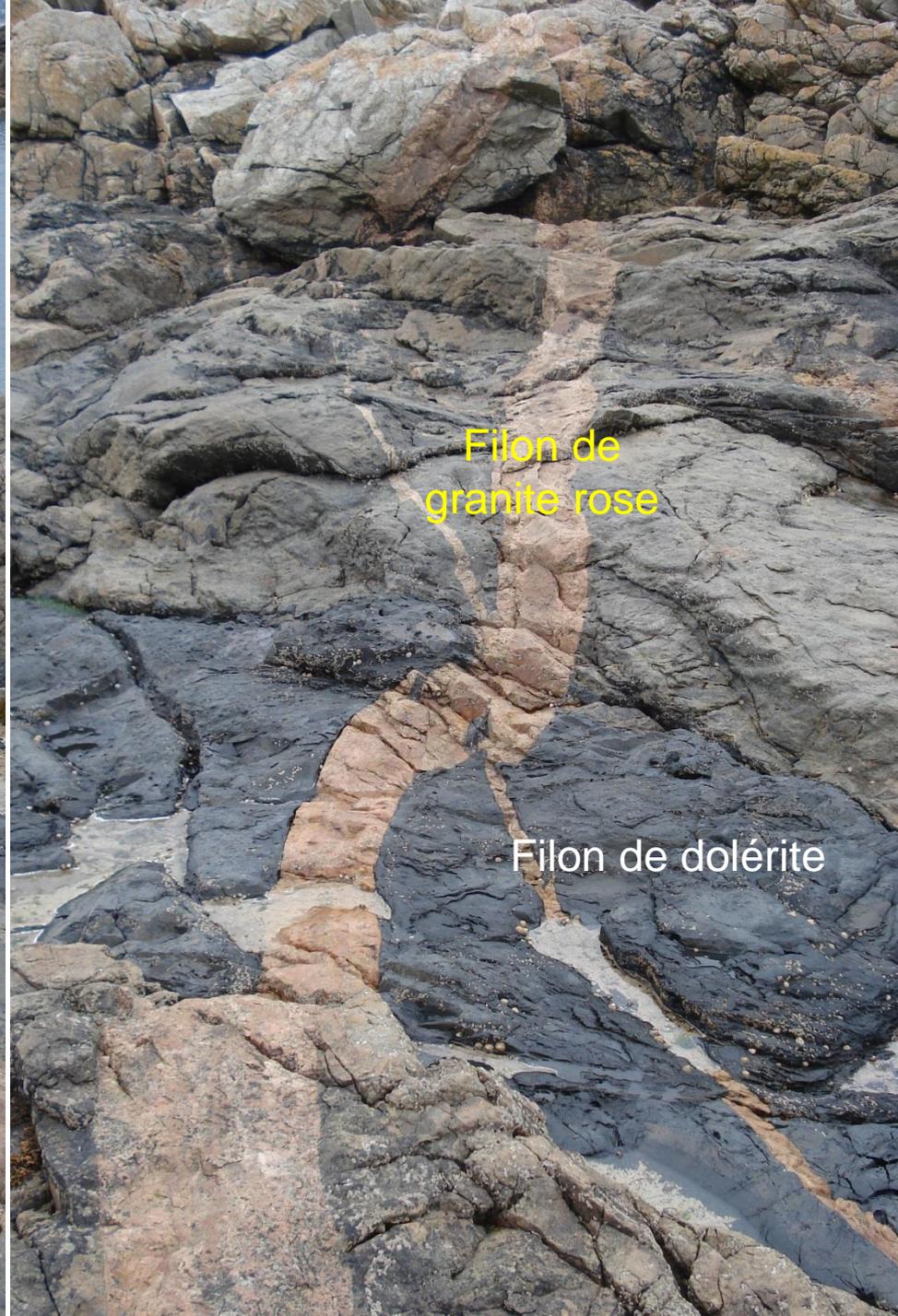


Filons de gabbro sombre dans du granite rose à gros grain

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

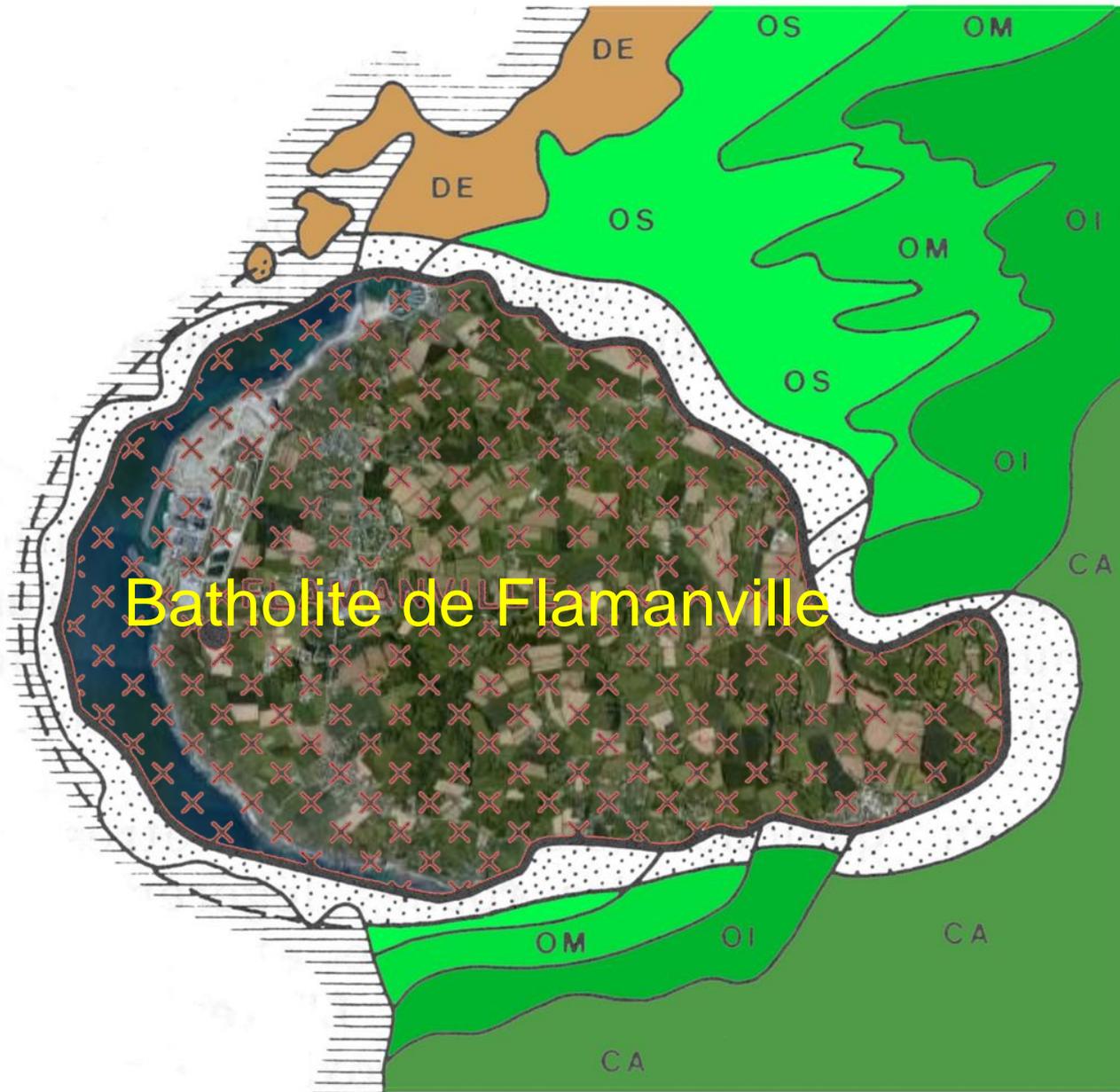
**Âge du volcanisme andésitique :
Ordovicien inférieur (environ 472
Ma)**

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 a été important et durable. Sa largeur dépend donc principalement de la profondeur de mise en place du batholite et de son volume.

Intensité du métamorphisme

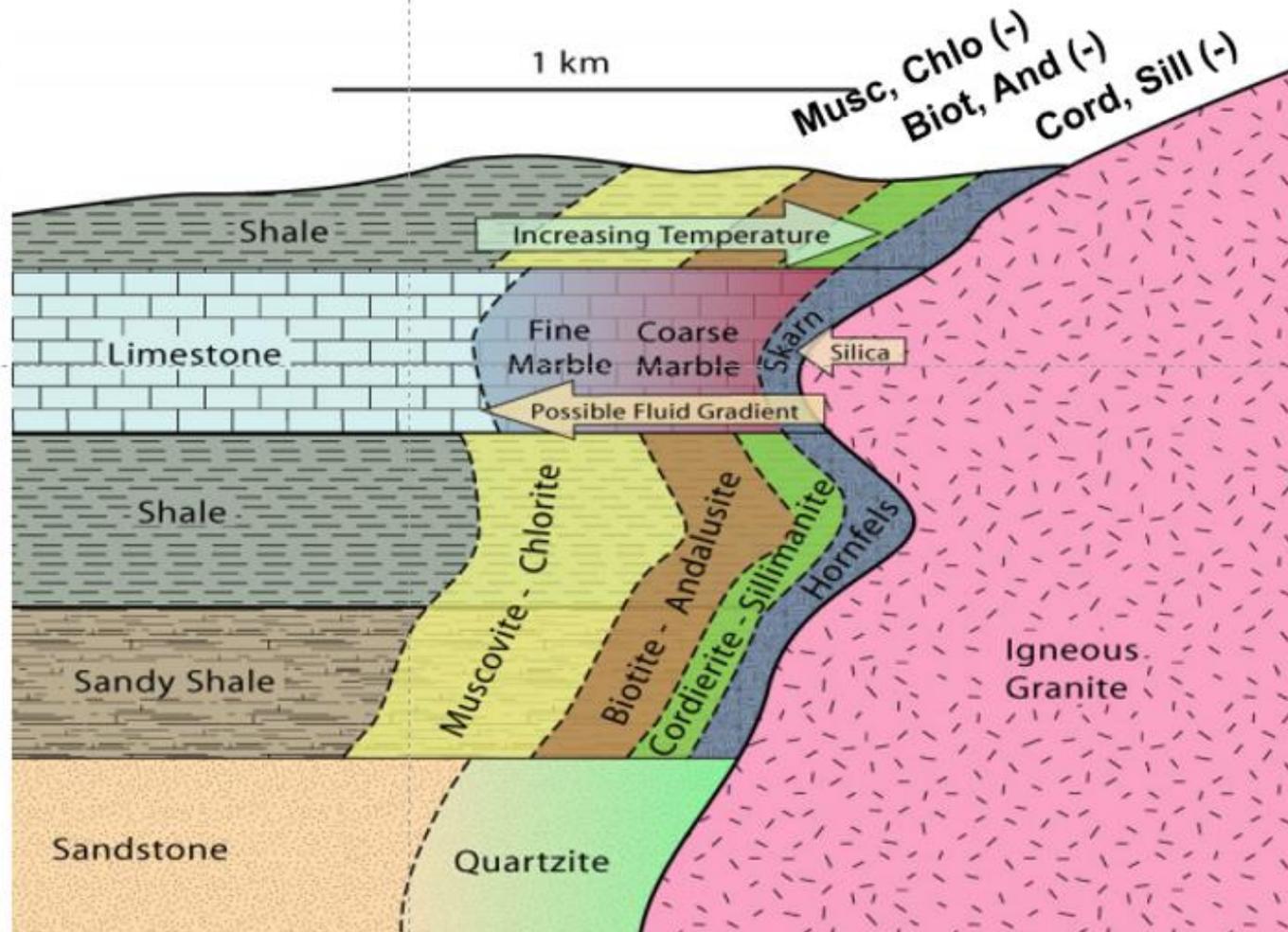
Isograde métamorphique: ligne d'égale intensité métamorphique, marqué par l'apparition (+) ou la disparition (-) de minéraux

La taille de l'auréole et les transformations varient en fonction de la lithologie.

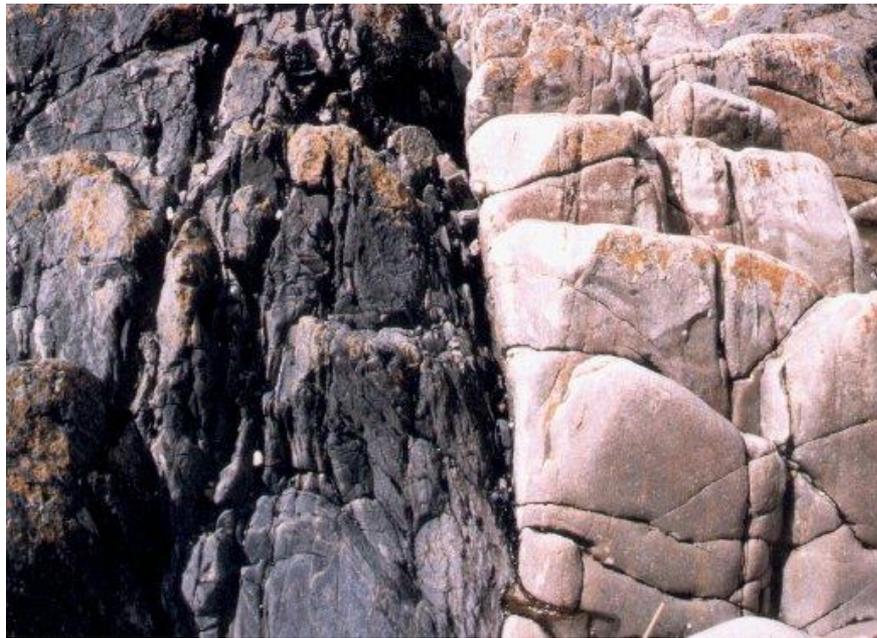
Au sein de l'auréole, les isogrades sont très serrés.

Elles sont difficiles à cartographier.

Métamorphisme de contact



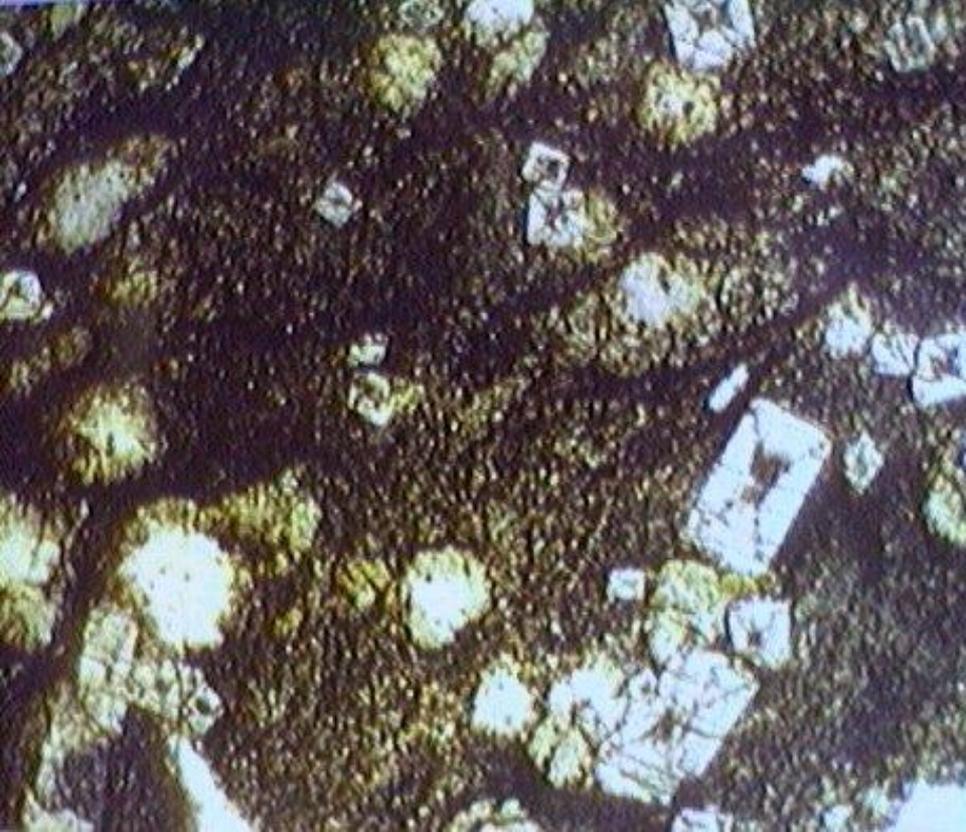
**Contact franc entre
le granite clair (à
droite) et les
cornéennes
sombres (à gauche)**



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

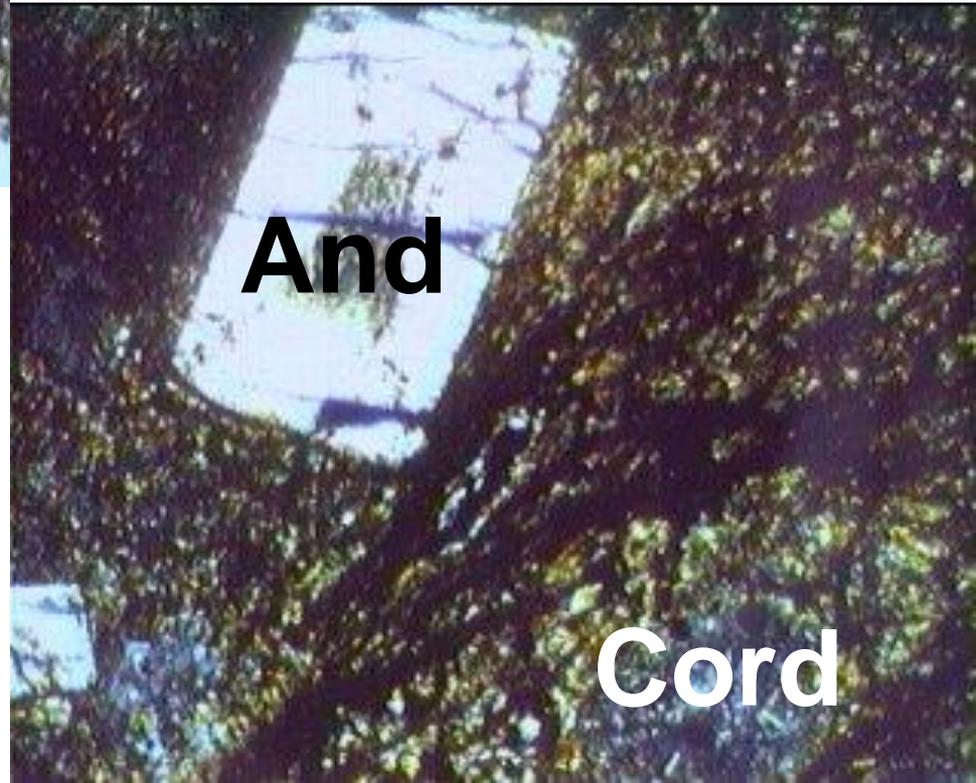


Les **cornéennes** formées ici à partir d'un protolithe pélitique sont des roches massives, sombres, très dures, d'aspect corné (d'où leur nom) et à grain fin, voire très fin.



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

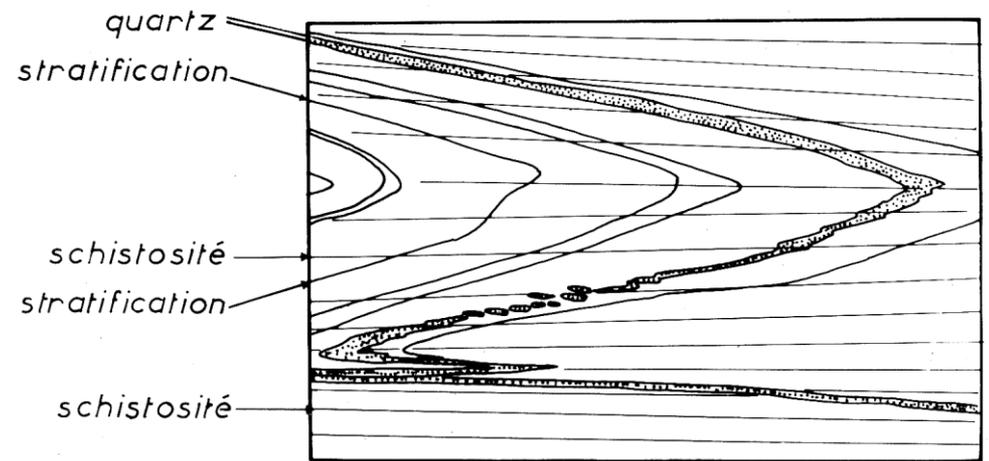
c) Les plis



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

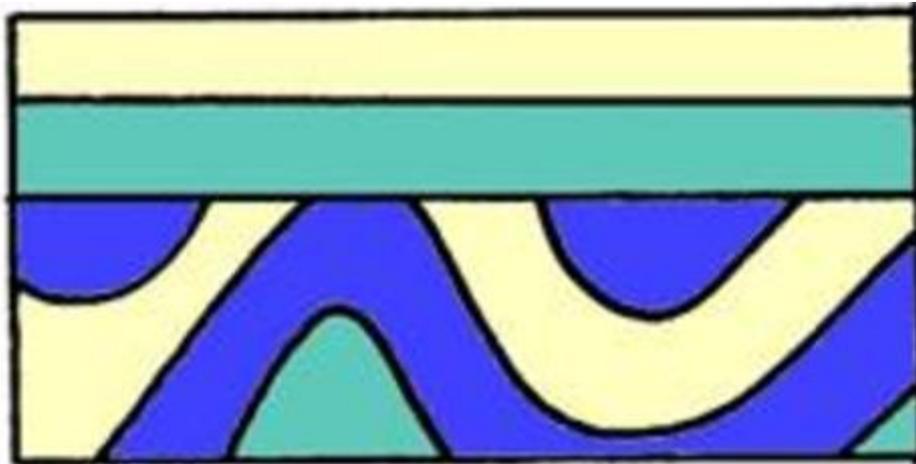


Détail de la diapositive précédente – Nappe de Champcella (Hautes-Alpes)



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.

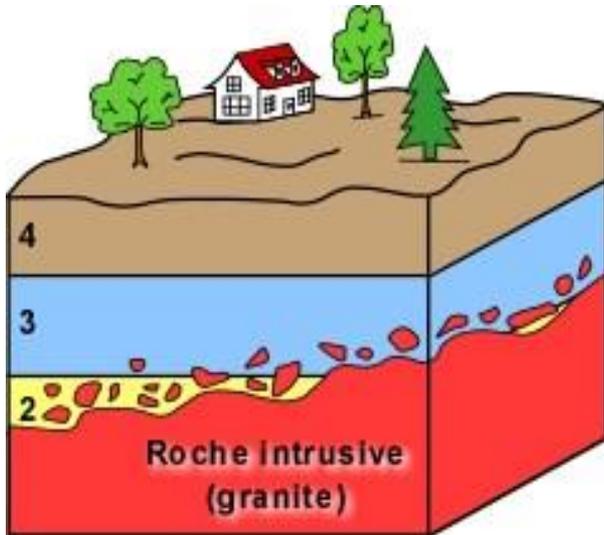
Une discordance est l'expression d'une interruption de la continuité de la sédimentation.

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.

On reconnaît deux principaux types de discordances : la **discordance d'érosion** et la **discordance angulaire**.

a) La discordance d'érosion



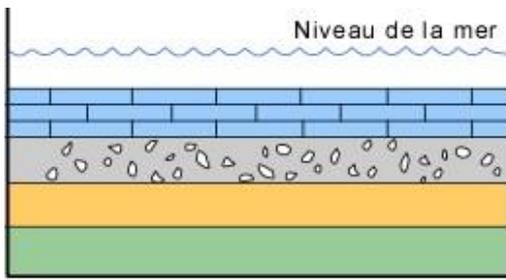
On a ici un contact irrégulier (discordant) entre une masse intrusive (le granite) et une couche sédimentaire. Normalement, on serait enclin à conclure que l'intrusion est plus jeune que la couche 2 puisqu'elle la recoupe. Mais la couche 2 contient des fragments du granite et n'a pas été métamorphosée par le batholite (absence d'auréole de métamorphisme de contact). On doit par conséquent conclure que le granite est plus ancien que la couche 2 et bien évidemment des couches 3 et 4 qui recouvrent 2 en concordance.

Chronologie : Après sa mise en place de façon intrusive, le granite est remonté jusqu'à la surface par érosion. Les fragments de granite issus de l'érosion ont été ensuite incorporés dans les sédiments peut-être déposés en milieu marin et qui recouvrent le massif. L'intrusion est donc plus ancienne que les couches sédimentaires.

<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s4/datations relatives.html>

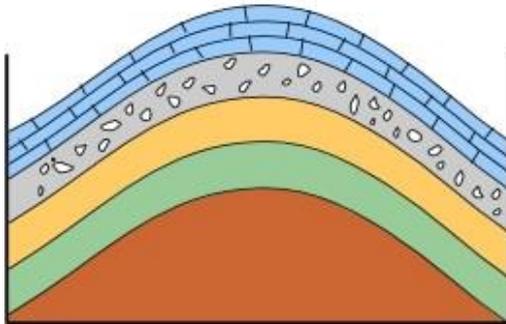
Cette surface irrégulière entre la roche plutonique et la roche sédimentaire 2 est une **discordance d'érosion**.

Important à retenir ! Cette discordance d'érosion **représente du temps géologique** où non seulement il n'y a pas eu de dépôt mais où il y a eu aussi érosion de la roche intrusive.



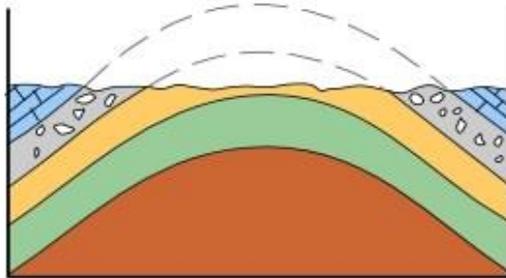
Dépôt

Les couches sédimentaires se déposent à l'horizontale.



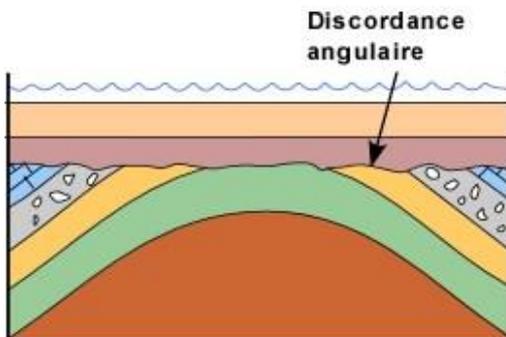
Plissement et soulèvement

Lors d'une orogénèse, les forces tectoniques de compression plissent les couches originellement horizontales. La mer se retire (régression) et la sédimentation marine s'arrête.



Érosion

Les couches plissées, maintenant à l'air libre, sont érodées et les reliefs aplanis.



Nouveaux dépôts ⇒ discordance angulaire et transgression

Si la mer envahit de nouveau la région (transgression), de nouvelles couches sédimentaires se déposent au fond de l'eau en position horizontale. Il en résulte une relation d'angularité entre ces dépôts marins et leur substratum. La surface d'érosion qui sépare les deux ensembles est une discordance angulaire.

b) La discordance angulaire



Discordance angulaire de la Pointe du Payré (85) - La surface de discordance est plane.



Grès rouges du Dévonien
(strates peu pentées)

Grauwackes du Silurien
(strates verticalisées)

Discordance angulaire de Siccar Point (Ecosse) – Cliché Dave Souza



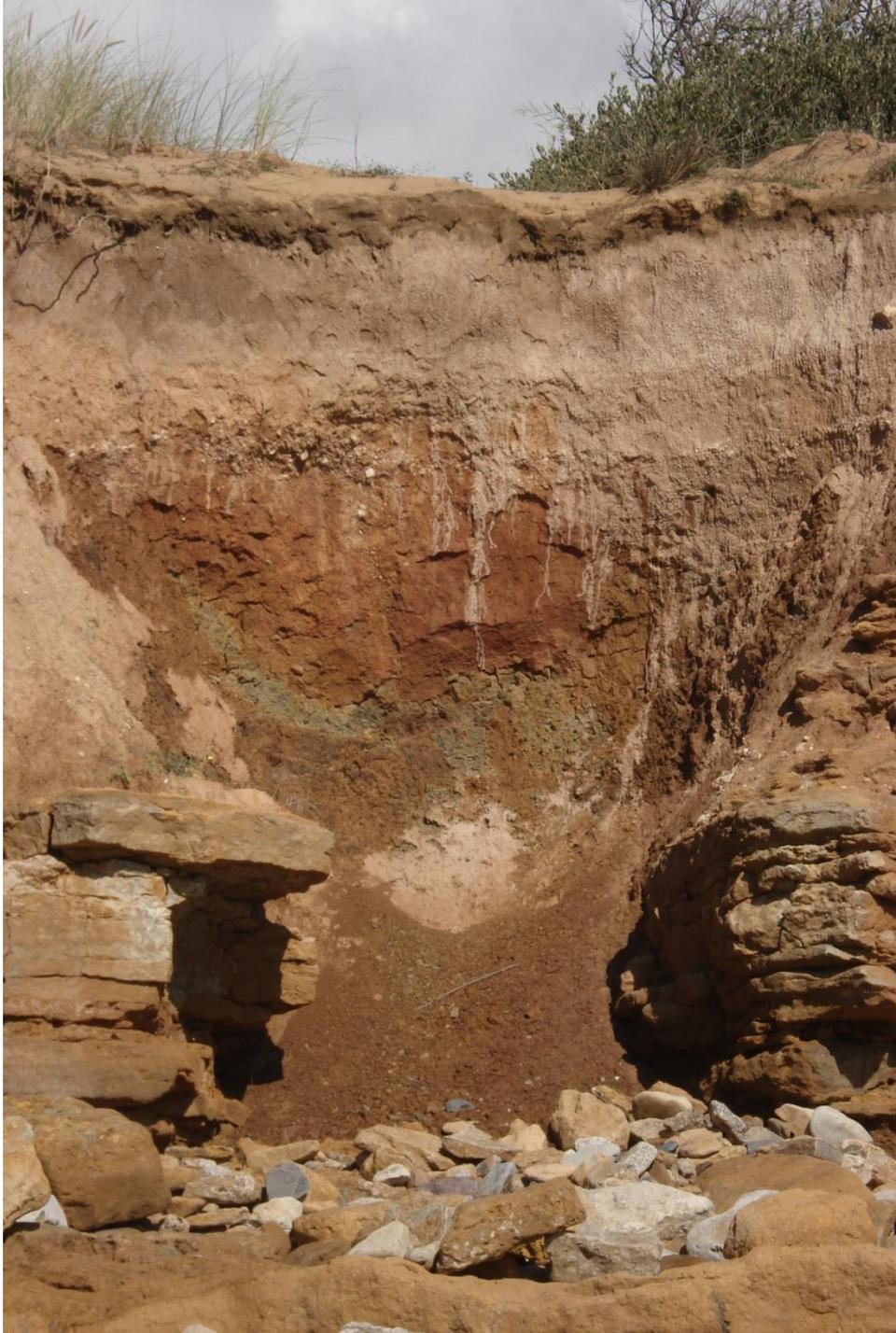
Discordance angulaire entre « ruffes » permienne et coulée basaltique quaternaire (Hérault)



**Discordance Quaternaire - Jurassique
inférieur (Hettengien)
Anse de la République – Les Bourries
(85)**

Selon Bocquier (1935) et Ters (1953), des coulées de solifluxion würmiennes auraient rempli lors du dernier interglaciaire des marmites de géant formées à la surface d'une plate-forme marine hettangienne constituée ici de strates de calcaire jaune dit « Nankin ».

On parle parfois d'une discordance de ravinement.



Détail de la discordance de ravinement



Carrière de falun des Perrières Doué-la-Fontaine (49)

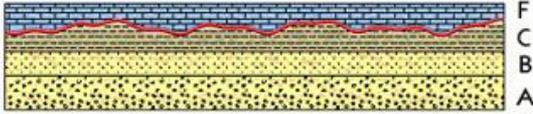
Stratification entrecroisée

Les lits sécants sont postérieurs aux lits coupés.

Ces discordances angulaires sont liées d'une part au régime de transgressions et de régressions et d'autre part aux variations de la courantologie dans la « mer des faluns ».

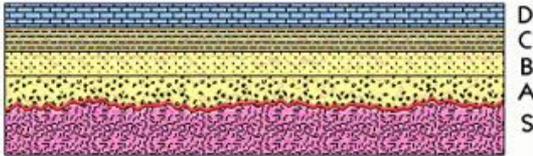
Types de contacts discordants

- discordance simple



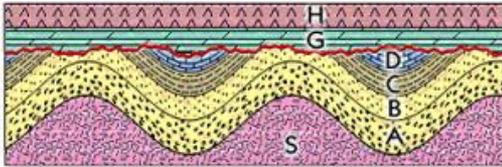
Une séquence sédimentaire transgressive continue (A à C et peut-être D et E), soulèvement, régression. Érosion complète de D-E. (disparition des couches), érosion partielle de C. Transgression et sédimentation de F. Le contact entre C et F est discordant, c'est une surface de discordance.

- discordance sur le socle (discordance majeure)



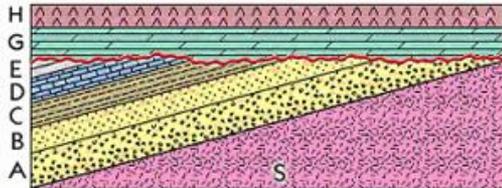
Soulèvement d'un socle (S), érosion longue, transgression et sédimentation d'une séquence sédimentaire (A à D). Le contact entre S et A est discordant, c'est une surface de discordance.

- discordance angulaire sur structure plissée



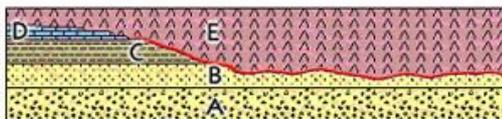
Une séquence sédimentaire transgressive continue (A à D et peut-être E et F) sur un socle (S), plissement, soulèvement, érosion, transgression et sédimentation de H et G. Le contact entre G et les autres couches est une discordance angulaire.

- discordance angulaire sur structure monoclinale



Une séquence sédimentaire transgressive continue (A à E et peut-être F) sur un socle (S), basculement, soulèvement, érosion, transgression et sédimentation de G et H. Le contact entre G et les autres couches est une discordance angulaire.

- lacune d'érosion locale



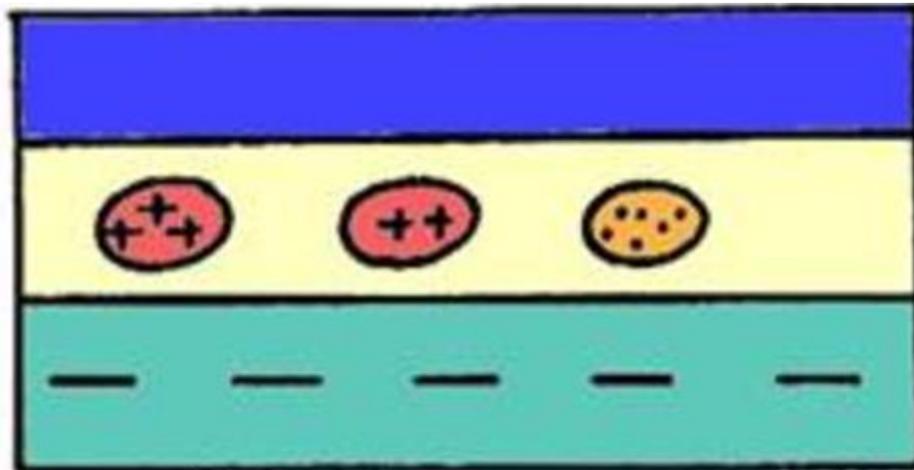
Une séquence sédimentaire transgressive continue (A à D), érosion puis sédimentation de E. Le contact entre la couche E et les couches B, C, D est une lacune d'érosion (non une discordance) puisque les couches n'ont disparu que localement lors d'une période d'érosion de durée restreinte (sans soulèvement ni régression).



Important à retenir !

Une discordance représente toujours du temps, beaucoup de temps !

C- Principe d'inclusion



Le principe d'inclusion postule qu'un objet inclus dans un autre est plus ancien que lui.



Insectes piégés dans de l'ambre

a) Conglomérats (Poudingues et brèches)



Poudingue – Nappe de Champcella (Hautes-Alpes)



Brèches de la base du Trias – Environs de Lodève (Hérault)



Blocs de brèches – Base du Trias – Environs de Lodève (Hérault)



« Poudingue de Cesson » - Grève des Courses – Langueux (22)



Fragments de quartz et de schistes dans le conglomérat de base dit « Nougat »
du Lias inférieur - Anse St Nicolas - Jard/mer



Galets de quartz dans le Poudingue de la Butte aux Moulins - Moulleron-en-Pareds (85)

b) Inclusions magmatiques



Inclusion de péridotite à spinelle dans du basalte (Hérault)



Inclusion de péridotite à spinelle dans du basalte (Hérault)



Enclaves de gabbro dans du granite rose - La Grève rose – Trébeurden (22)

c) Inclusions sédimentaires dans des roches magmatiques



**Enclave sédimentaire sombre dans du
granite rose type La Clarté
Port de Trozoul – Le Castel
Trébeurden (22)**

Les enclaves apparaissent nettement litées (alternance millimétrique de lits arkosiques clairs et de lits grauwackeux sombres), ce qui traduit une origine sédimentaire.

Elles sont incluses dans le granite rose à gros grain type La Clarté d'âge Carbonifère.

Elles sont donc antérieures à la mise en place de ce granite.



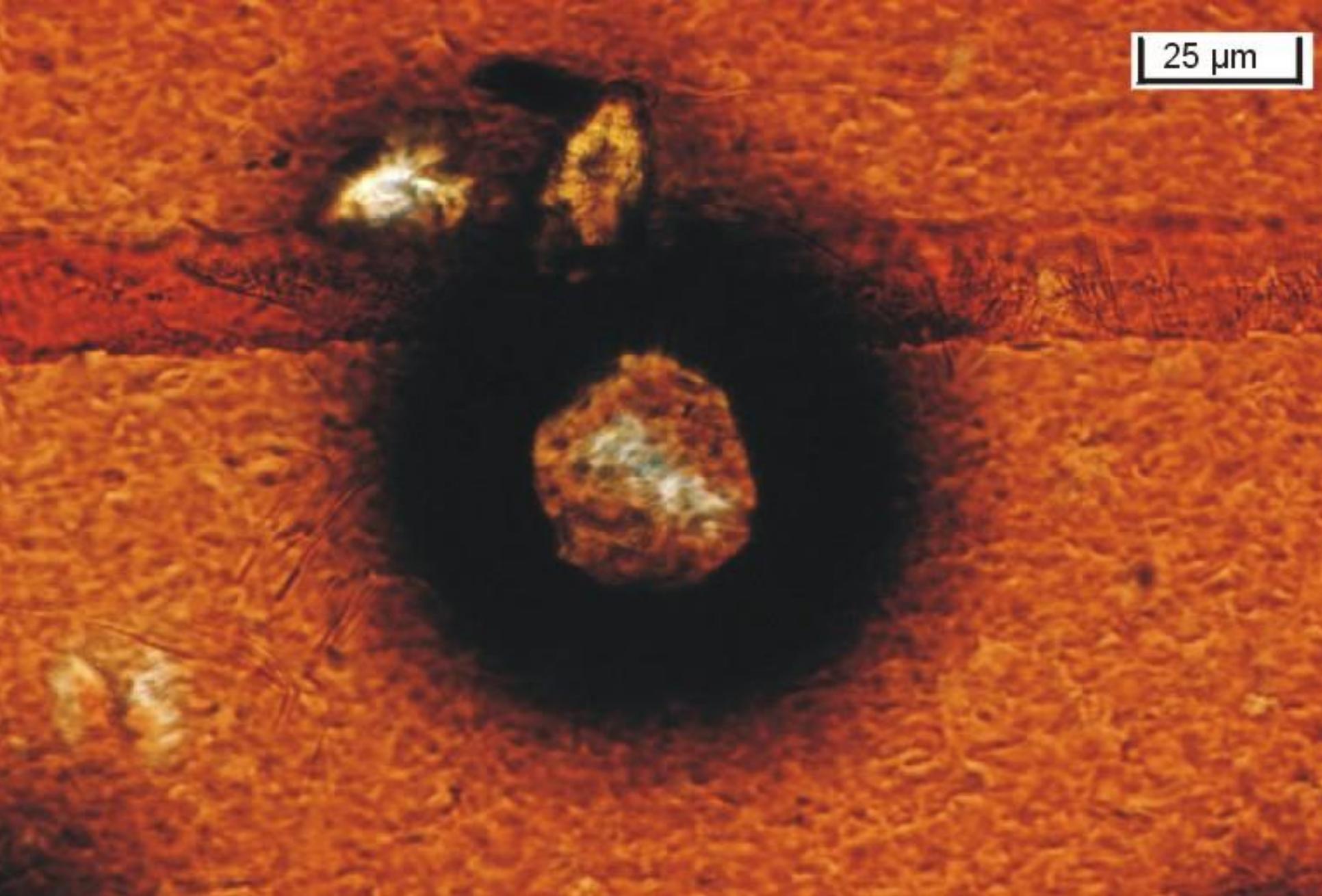
Vue détaillée d'une enclave sédimentaire dans le granite rose de Trébeurden

d) Inclusions à l'échelle des minéraux



Inclusions de zircon dans un cristal de biotite

25 μm



Détail d'un zircon – L'uranium contenu dans le zircon a endommagé le réseau cristallin de la biotite.

e) Cas particulier du Principe d'inclusion :
les couronnes réactionnelles



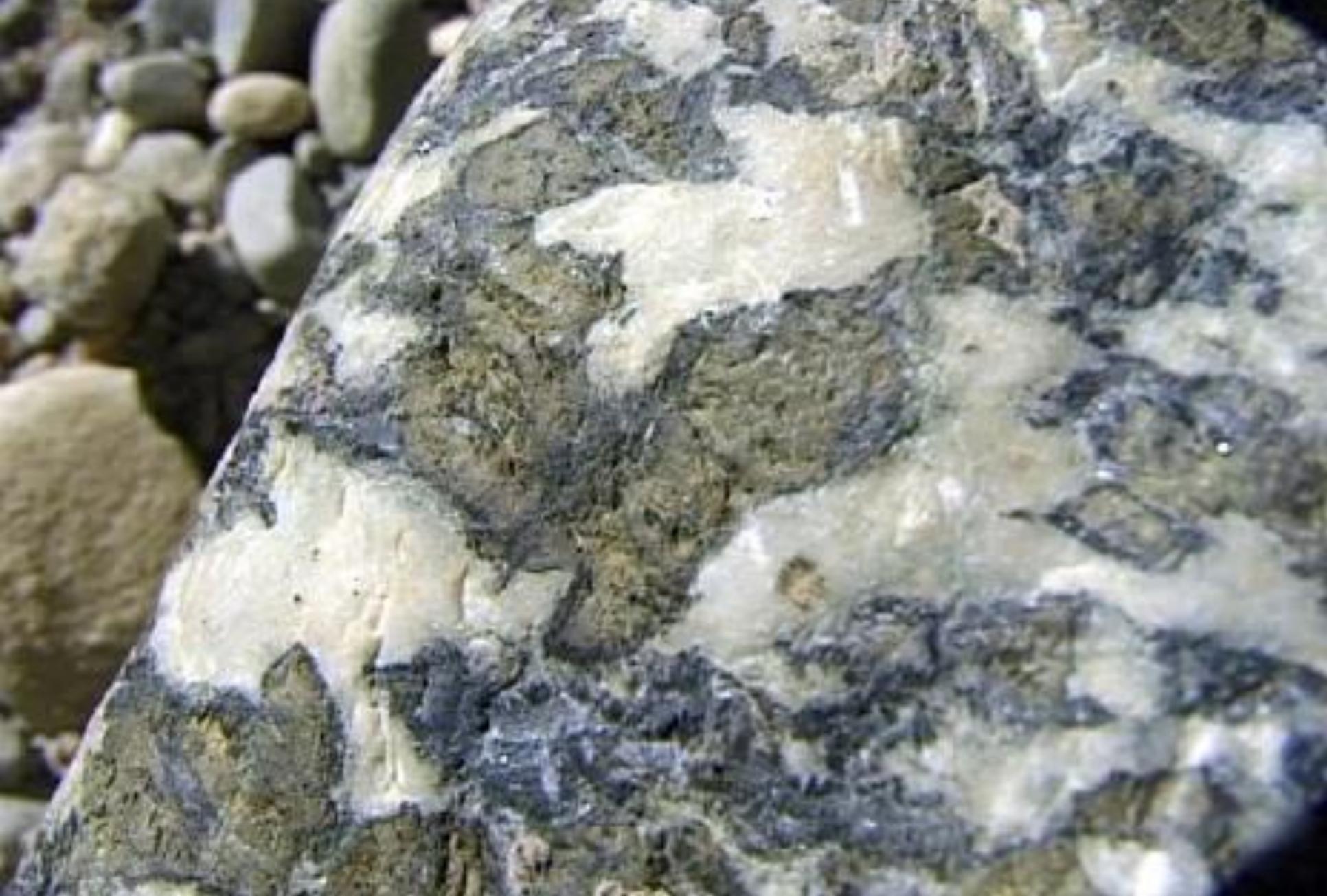
Gabbro non ou peu altéré du Chenaillet (Hautes-Alpes)



Méta-gabbro à hornblende – Présence d'une auréole de hornblende verte autour du pyroxène noir-brun, entre pyroxène et plagioclase blanc



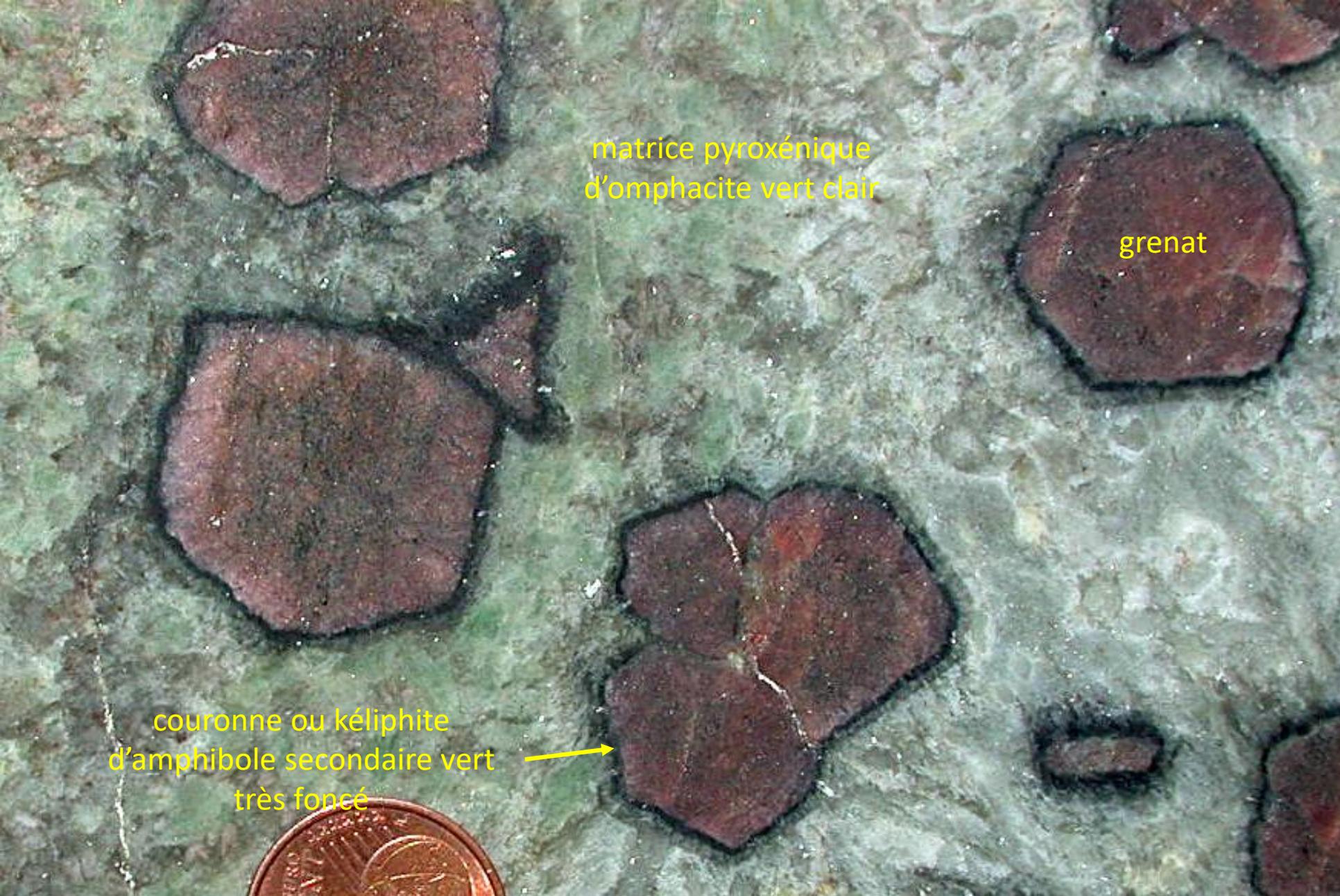
Méta-gabbro à glaucophane – Présence d'une auréole de glaucophane bleue autour du clinopyroxène (couleur bronze), entre pyroxène et plagioclase blanc



Détail de la diapositive précédente



« Ocelles » de quartz – Présence d'une auréole réactionnelle noire de pyroxène
Baie Sainte-Anne – Trégastel (22)



matrice pyroxénique
d'omphacite vert clair

grenat

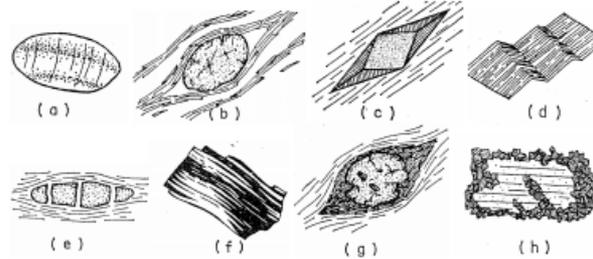
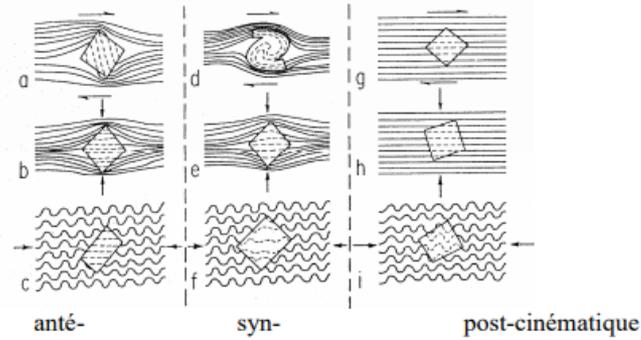
couronne ou kéliphite
d'amphibole secondaire vert
très foncé →

Auréole réactionnelle d'amphibole entre le grenat et le pyroxène
La Compointerie – Saint-Philbert-de-Grand-Lieu (44)

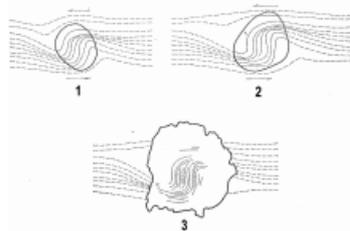
f) Minéraux anté-, syn- ou postcinématiques

GEOMETRIE ET DETERMINATION DES MINERAUX

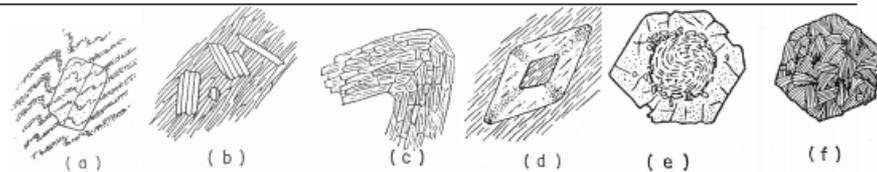
ANTE- SYN- ET POST- CINEMATIQUE



Exemples de minéraux anté-cinématiques.



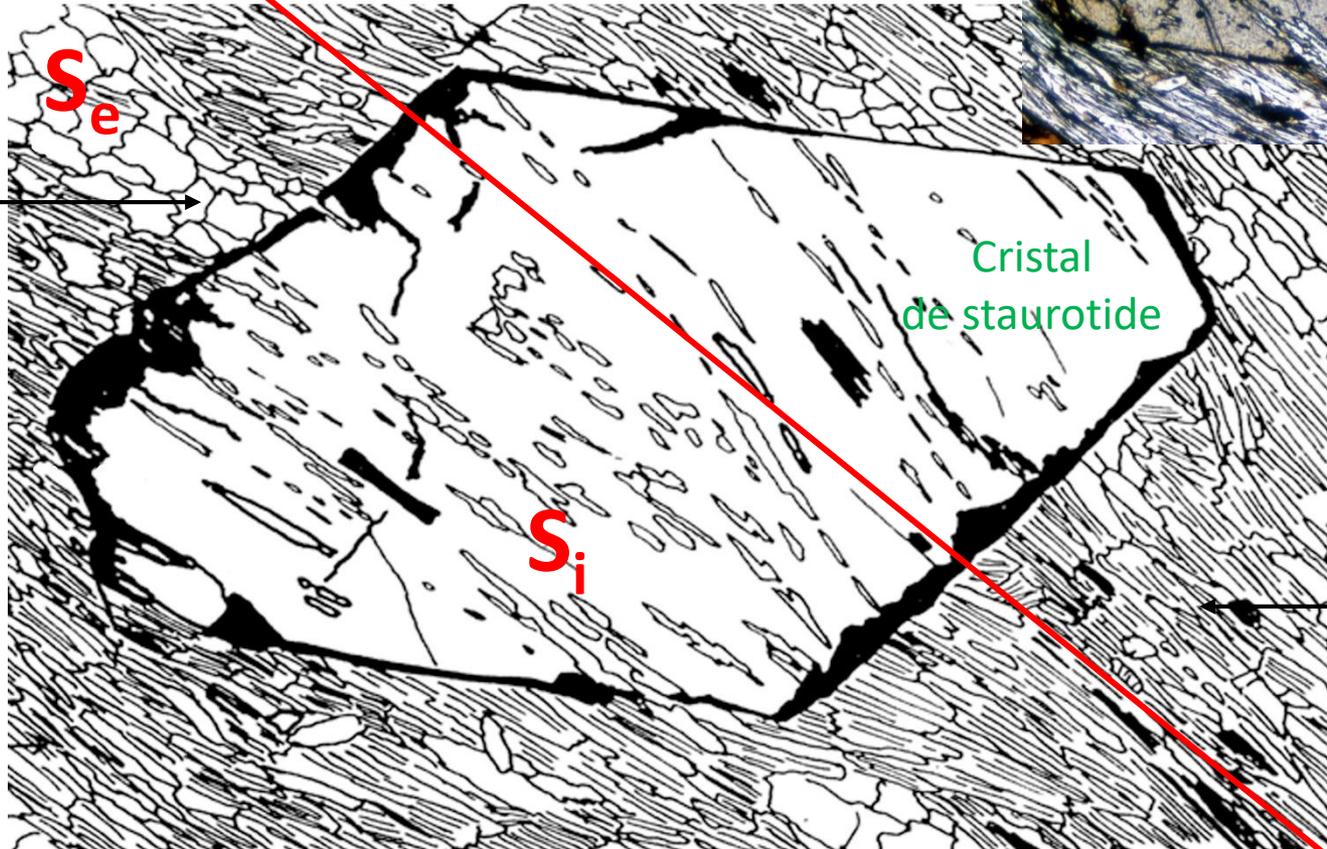
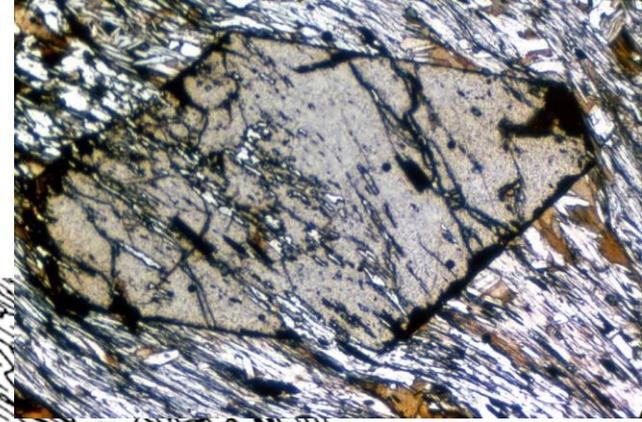
Formation d'un grenat hélicitique syn-cinématique



Exemples de minéraux post-cinématiques

☐ Minéraux post-cinématiques

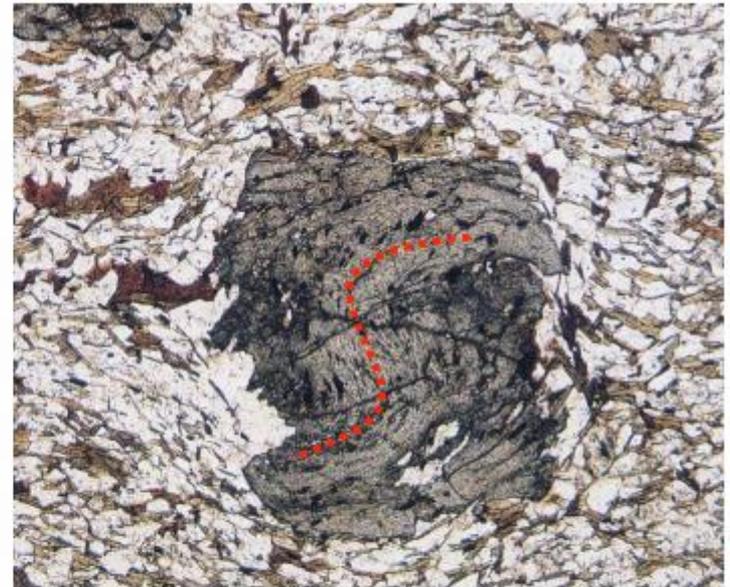
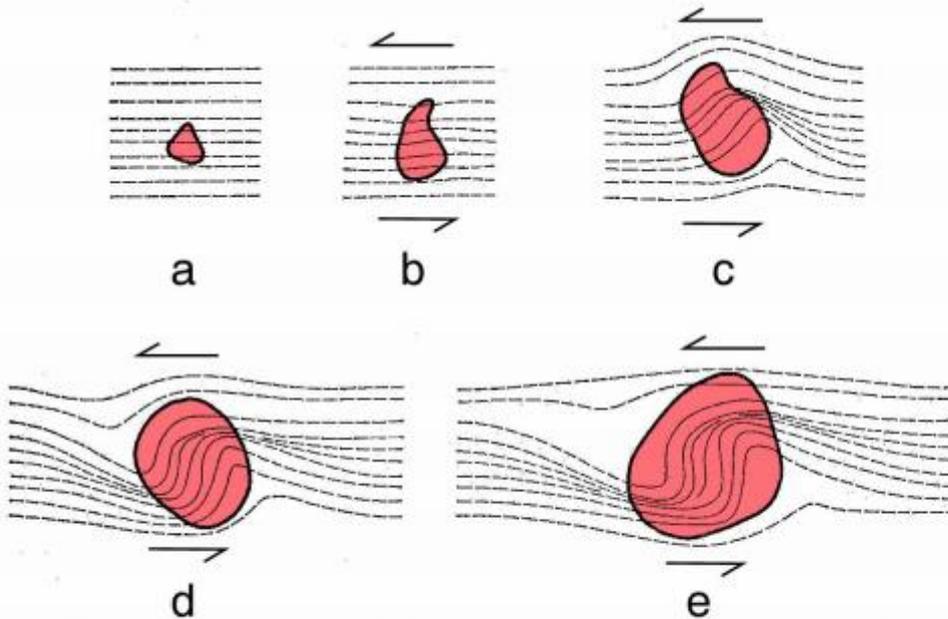
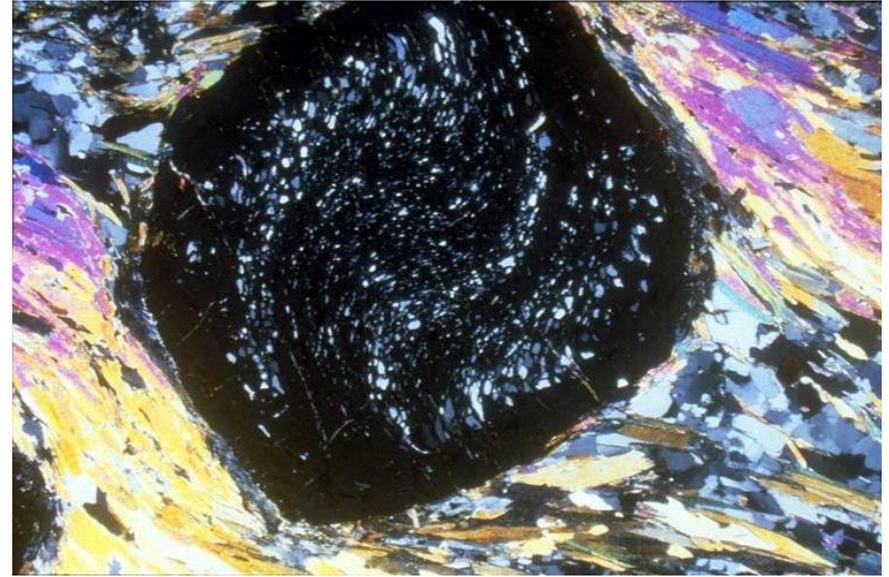
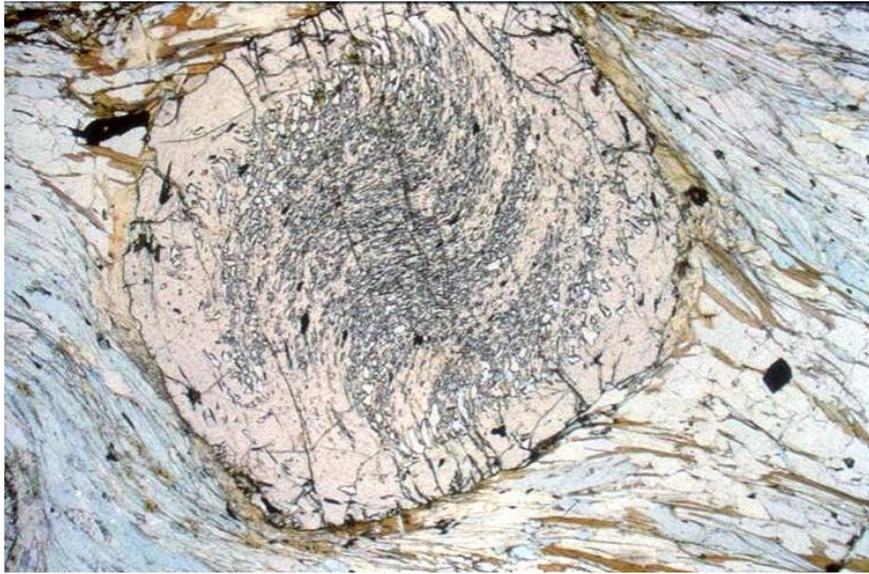
Le plan de la schistosité externe est matérialisé par les alternances de lits millimétriques de quartz et de phyllites (mica)



S_e (schistosité externe) et S_i (schistosité interne) sont en continuité, dans le prolongement l'une de l'autre.

Lame mince d'un micaschiste à staurotide

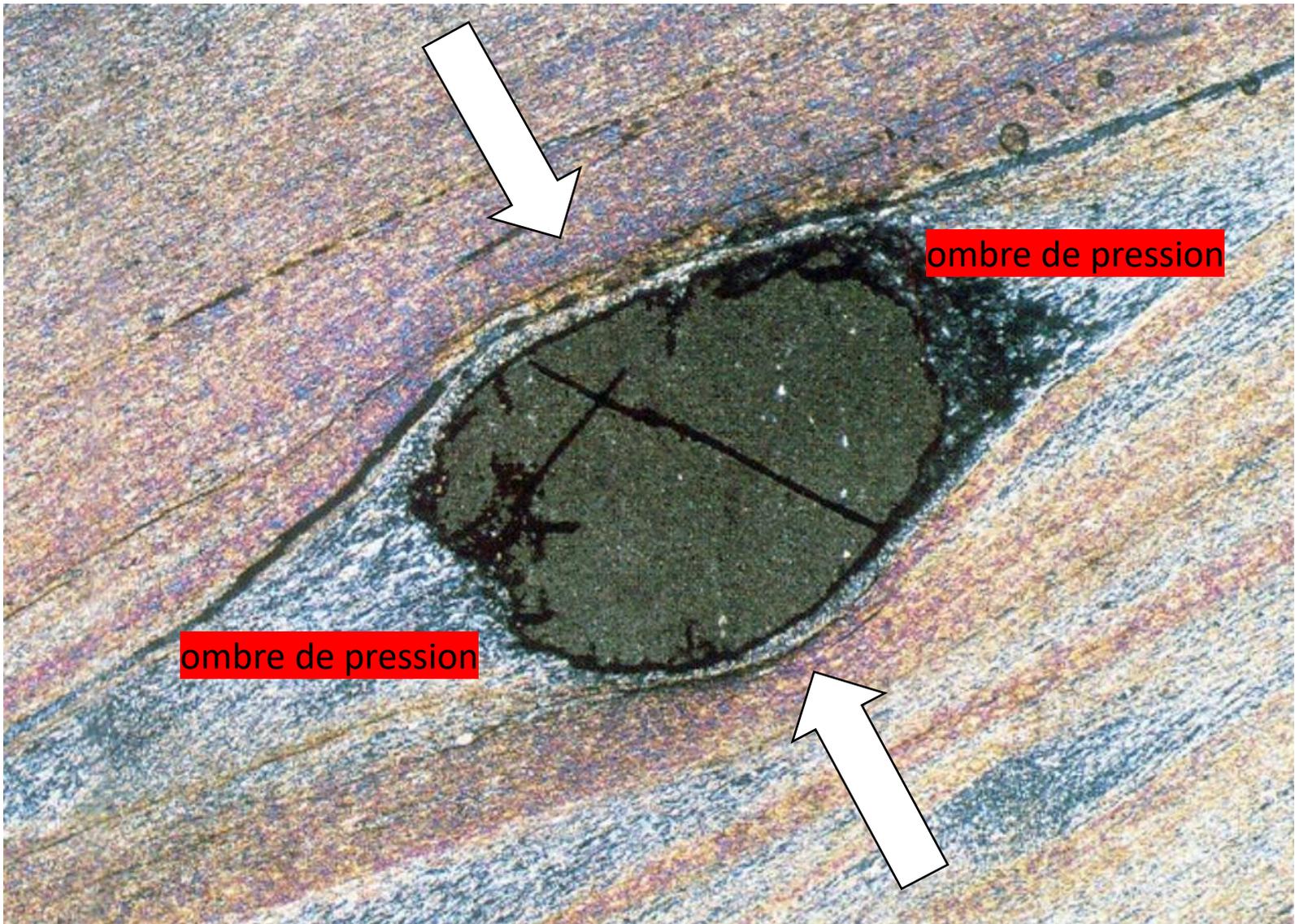
☐ Minéraux syn-cinématiques



Evolution de la forme d'un minéral et de la schistosité lors d'un cisaillement senestre

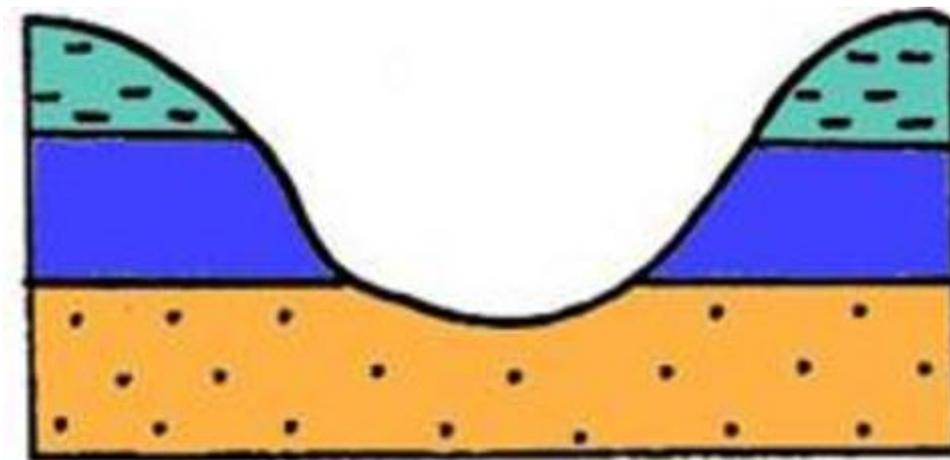
Grenat hélicitique syn-dynamique

☐ Minéraux anté-cinématiques



Lame mince d'un micaschiste à grenat

D- Principe de continuité



Le principe de continuité stipule que, si deux couches séparées dans l'espace (discontinuités d'affleurement), sont limitées par les mêmes couches à la base et au sommet, elles sont de même âge.

a) Caractérisation de la continuité latérale :
Observation de panoramas