

# DIAGENESE PRECOCE des *GRES MATURES*

La stabilité structurale et chimique-minéralogique caractérise les grès matures.

Les transformations proches de la surface incluent

*la compaction physique* (les grains sont réarrangés) et

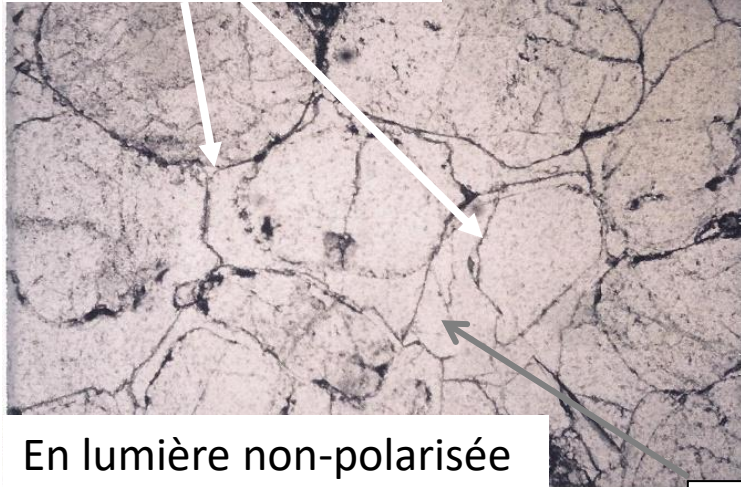
*la formation précoce* de ciment ou d'excroissances d'hématite/goethite, calcite et dolomite, quartz, minéraux argileux (kaolinite, glauconite)

Les transformations lors de l'exhumation/surrection du grès incluent surtout

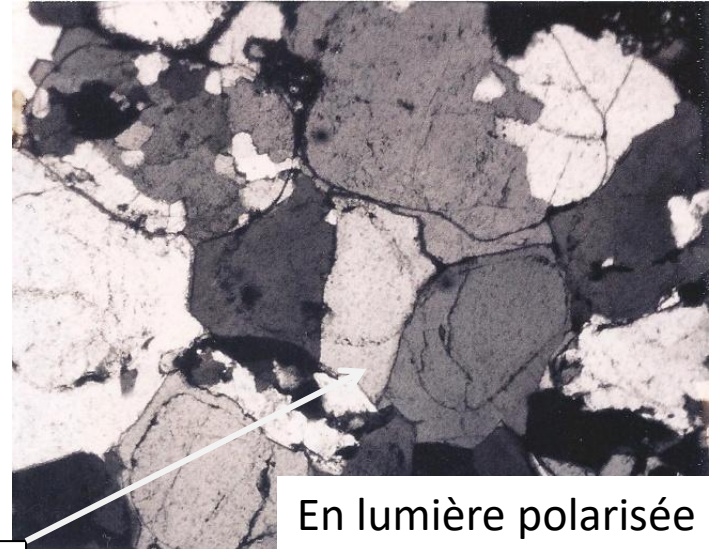
*la dissolution* des ciments par les eaux météoriques (neutres à acides) avec augment  
de la porosité

Note Soulignage = illustré par un/des exemples

Pellicule de goethite

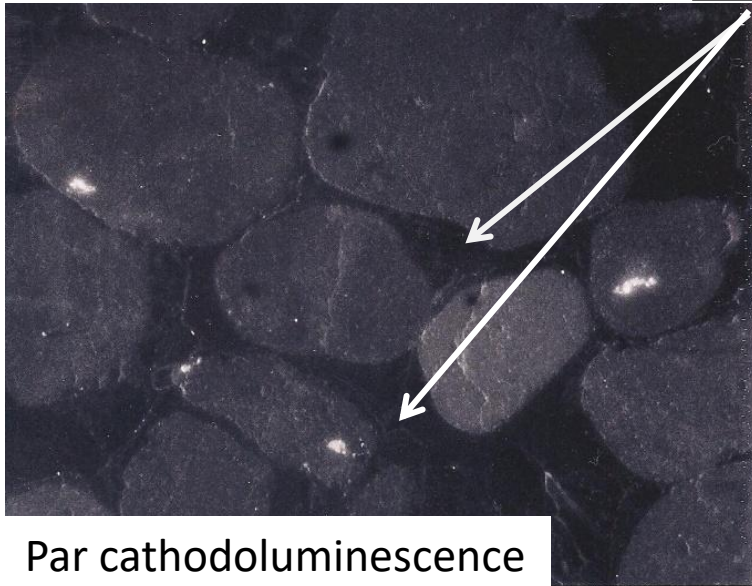


En lumière non-polarisée



En lumière polarisée

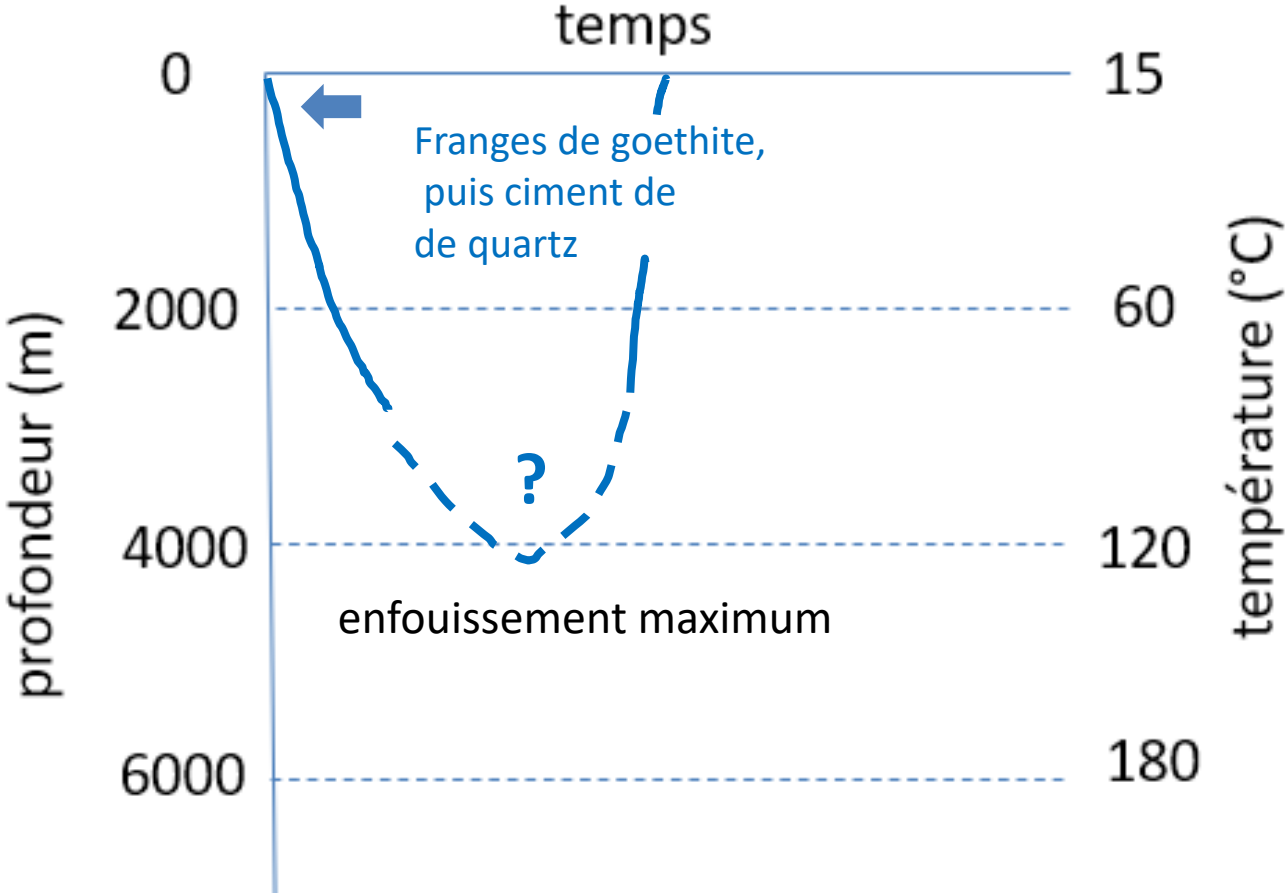
Quartz

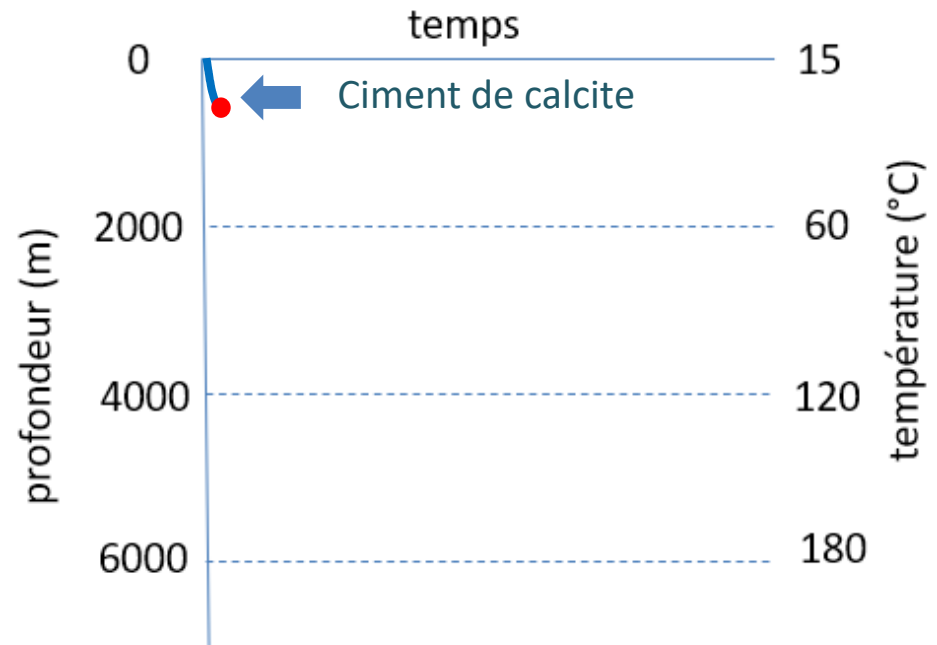
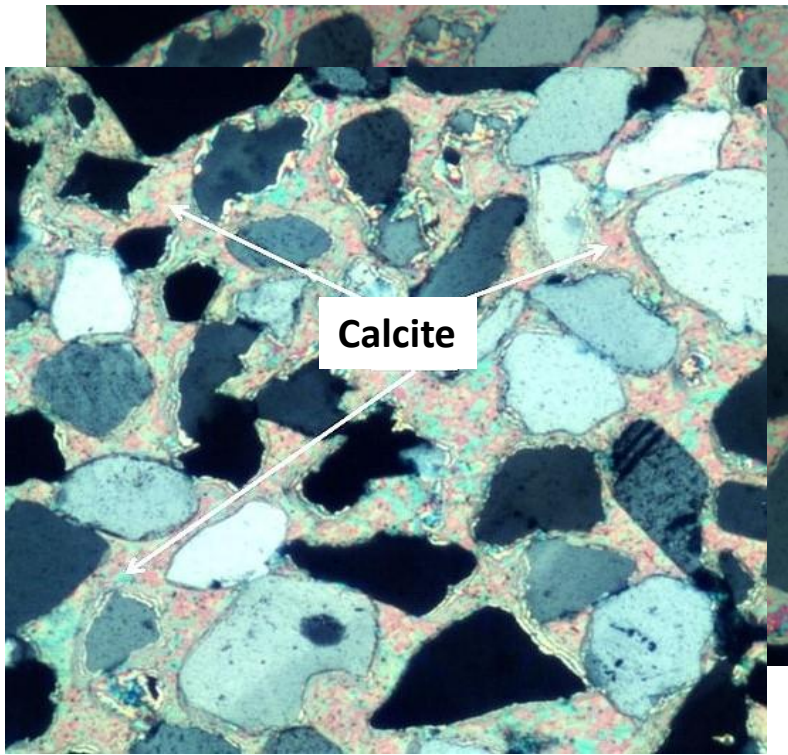


Par cathodoluminescence

Grès continental du Trias, affleurant en Allemagne du sud. Les grains de sable arrondis et émoussés, par le transport en rivière, sont recouverts, très tôt dans leur histoire, d'une pellicule de goethite ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ). A cet événement a succédé un remplissage précoce des pores par du quartz, en accord avec la majorité de contacts de type-point. Malgré l'important enfouissement qui a suivi, la structure initiale du sable a été préservée grâce au ciment de quartz et la porosité a été détruite. Des mouvements tectoniques postérieurs ont ensuite ramené le grès à la surface.

# Diagramme d'enfouissement de ce grès





**Ce grès marin du Crétacé, rencontré à 500 m de profondeur (son enfouissement maximum) dans un puits du Sénégal, est issu d'un sable riche en quartz, cimenté précocement par de la calcite. Celle-ci forme un seul cristal (continuité optique) qui semble corroder les grains de quartz et feldspath. L'apparente corrosion résulte de la dissolution partielle/superficielle du quartz par des solutions alcalines, elles-mêmes responsables de la précipitation de la calcite. Les contacts originaux résiduels sont majoritairement de type point à plan, indiquant que la cimentation a pris place à un stade précoce moins de 500m, fixant très tôt la structure du grès et détruisant sa porosité.**

# DIAGENESE PROFONDE des *GRES MATURES*

Les transformations lors de l'enfouissement incluent

*la compaction et dissolution* des grains par pression,

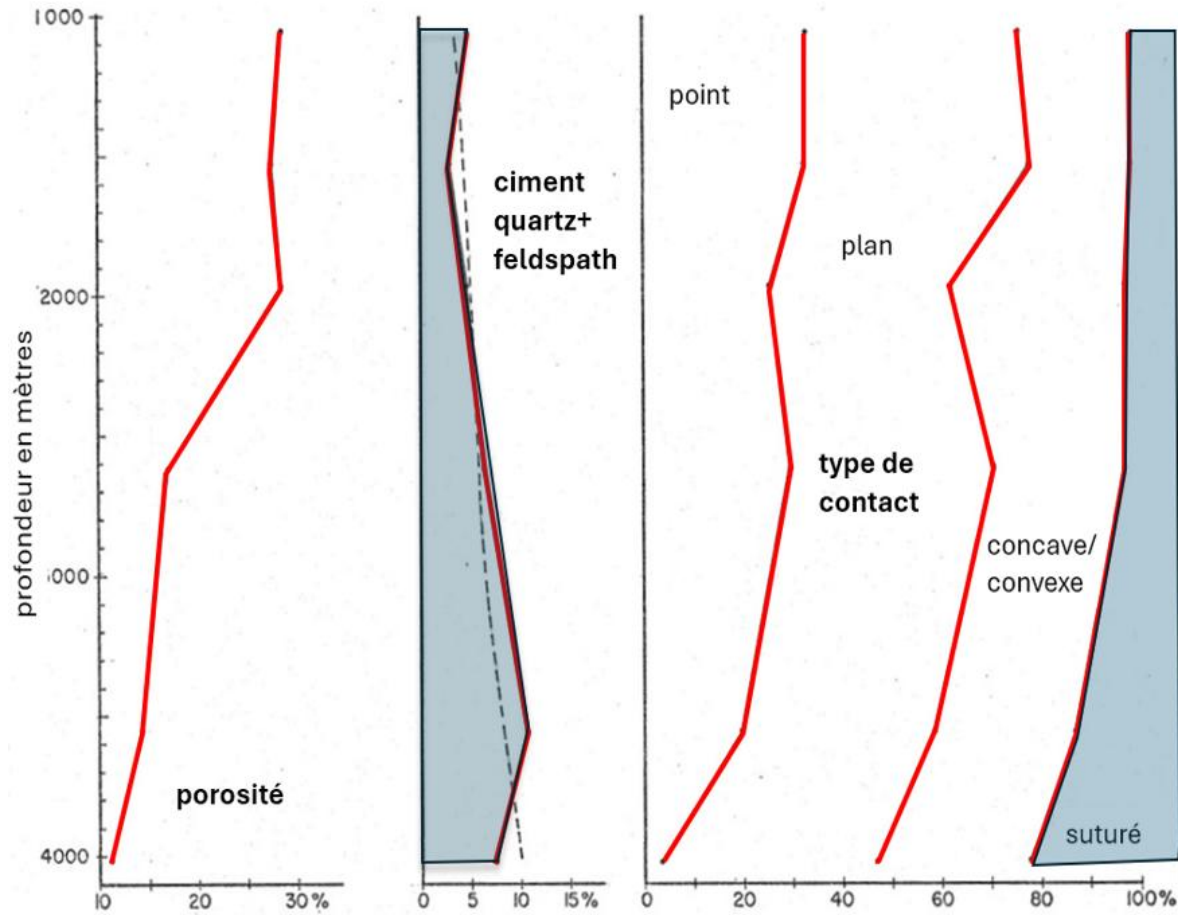
*la précipitation importante* de ciment et/ou d'excroissances de quartz, de calcite, de dolomite,

de sidérose, d'anhydrite, de célestine, de feldspath et de minéraux argileux tels qu'illite et chlorite et

*la transformations des argiles* pour former l'illite ou la chlorite, en fonction de la composition des eaux de circulation

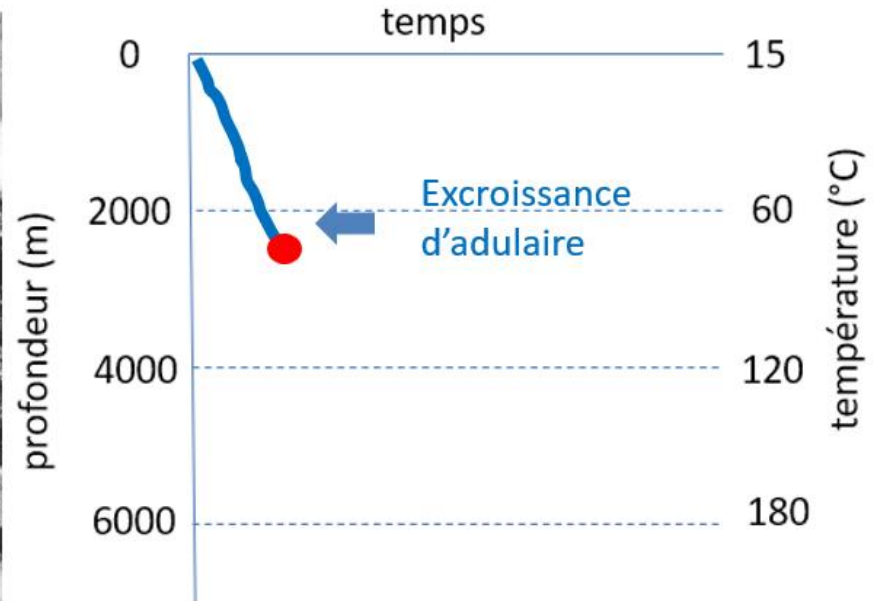
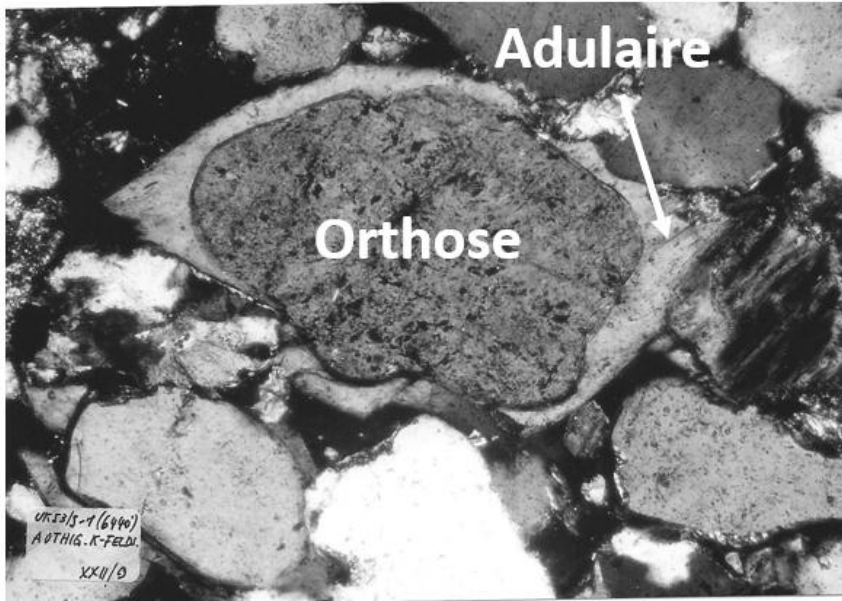
Note Soulignage = illustré plus bas

## Compaction dans un puits foré au Sénégal

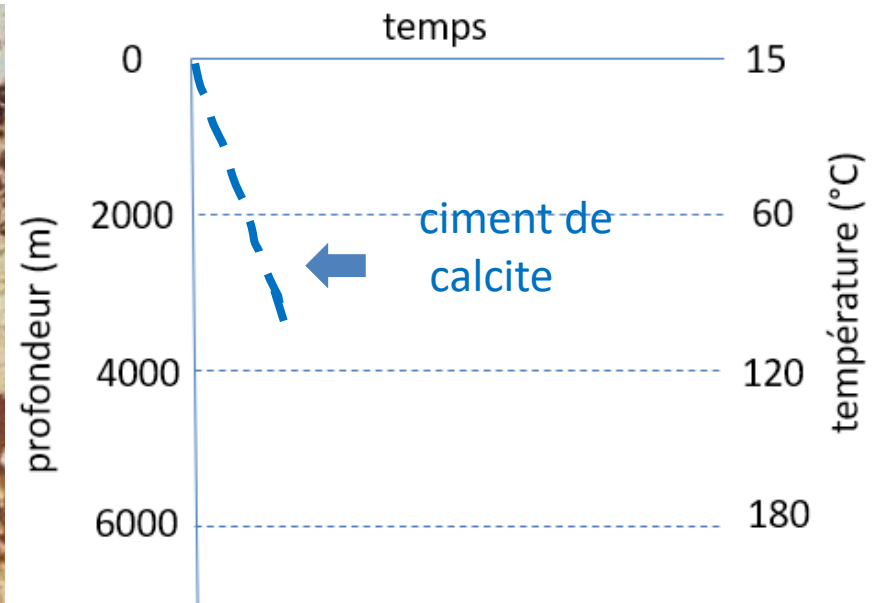
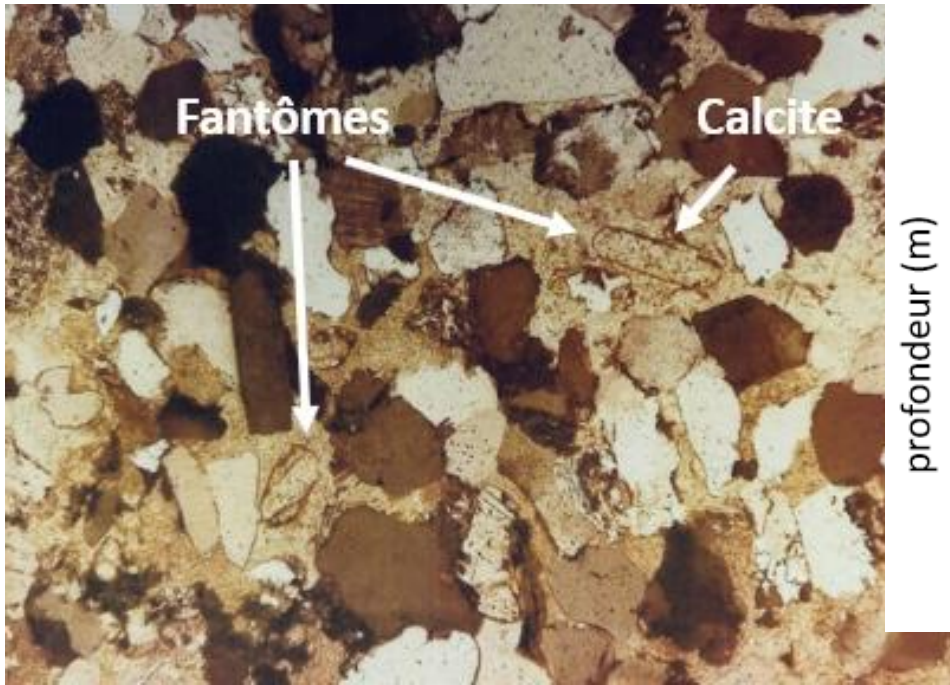


La porosité des grès, rencontrés dans ce puits, passe de 30% près de la surface à près de 10% à 4000m de profondeur. Parallèlement, le type de contact passe de majoritairement - point à majoritairement -saturé.

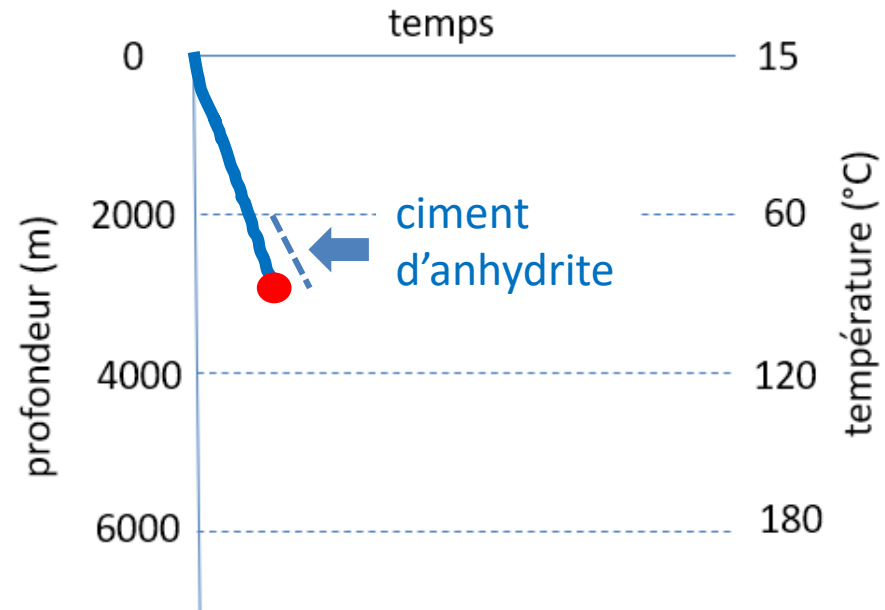
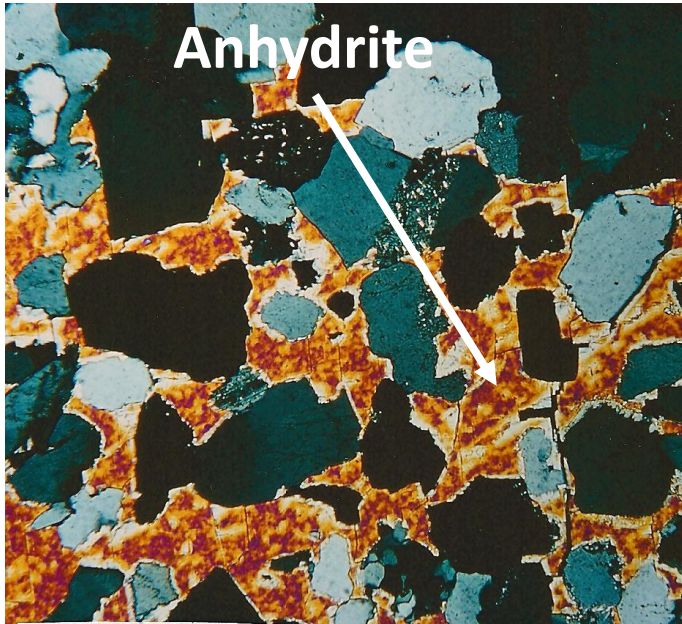
## Excroissances et cimentation



Grès marin, rencontré à environ 2100m de profondeur dans un puits de la Mer du Nord. Son enfouissement est maximum. Les contacts intergranulaires varient de *point* à *suturé*, donc peu indicatifs du degré de compaction. La richesse en Potassium, Silicium et Aluminium et le pH neutre à alcalin des eaux de circulation ont favorisé la *précipitation d'adulaire* (feldspath potassique) à la surface d'un grain d'orthose. La température ambiante n'a pas excédé 65°C à 2100m de profondeur, en désaccord avec les 80°C minimum déterminés expérimentalement.



Grès quartzo-feldspathique issu d'un sable déposé en milieu marin et identifié, dans le puits, à une profondeur inconnue. Ce dernier a subi un important enfouissement, comme l'indique l'abondance de contacts *plans à concavo-convexes*, avant d'être *cimenté* par de la calcite. A noter les fantômes de grains remplacés par de la calcite, en continuité optique avec le ciment de calcite environnant.

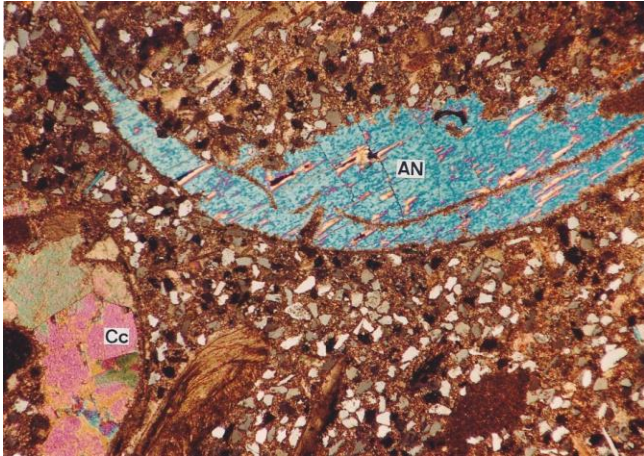


**Grès à ciment d'anhydrite, issu d'un sable déposé en milieu marin durant le Crétacé et rencontré dans un puits du Sénégal à 3107 m de profondeur (profondeur maximale). Le *ciment d'anhydrite*, qui semble corroder les grains de quartz, a cristallisé relativement tard, car**

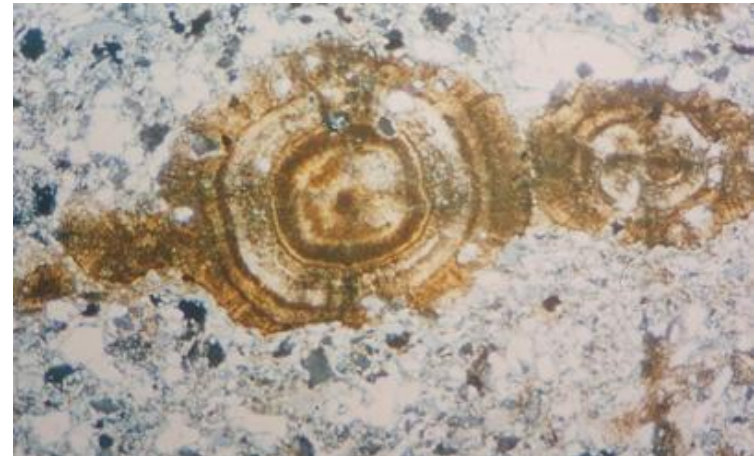
- 1. postérieur à la forte compaction qu'indiquent les contacts *concavo - convexes à suturés* (résiduels)**
- 2. l'anhydrite est instable au-dessous de 58°C, ce qui correspond à environ 2000m d'enfouissement pour un gradient géothermique estimé à 3°C/100m.**

**La *corrosion des grains* est l'œuvre de solutions alcalines ayant aussi favorisé le dépôt d'anhydrite.**

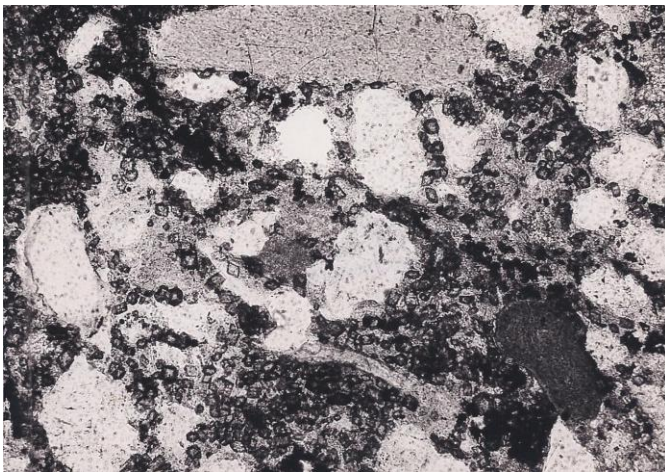
# Remplacement



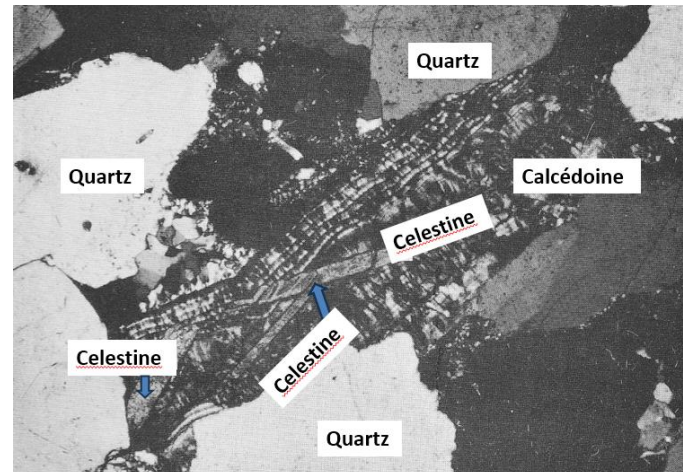
Grès argileux marin, Sénégal. Fragments de coquillage calcaire remplacé par de l'anhydrite (AN) et de la calcite en blocs (Cc).



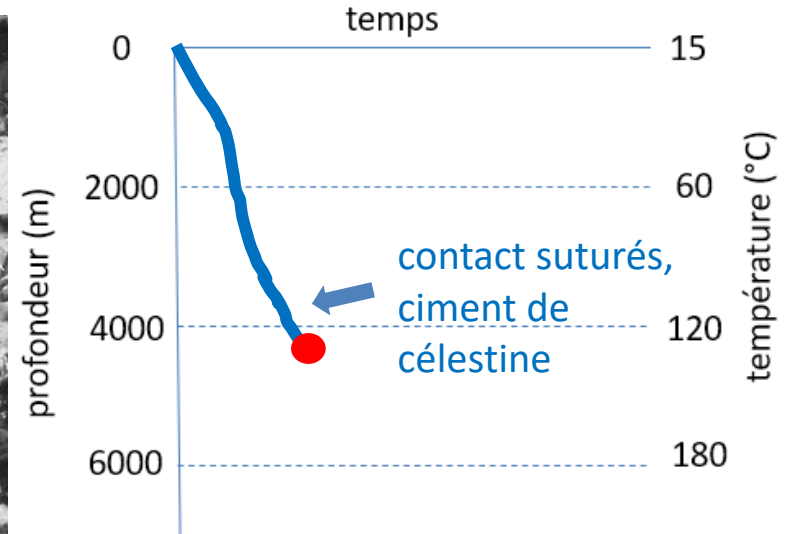
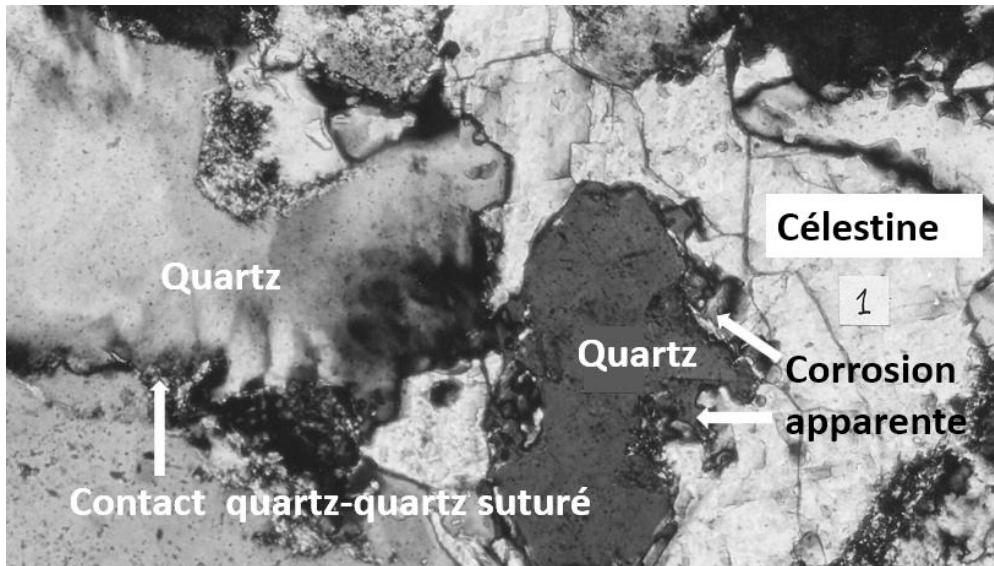
Grès marin, Sénégal. En milieu réducteur, formation d'une concrétion de sidérose remplaçant les grains .



Grès marin du Crétacé. Mini rhomboèdres de sidérose néoformée en milieu réducteur.

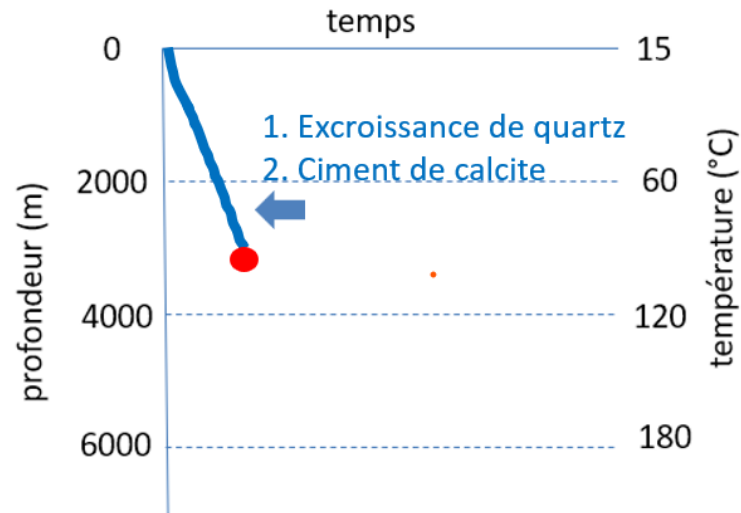
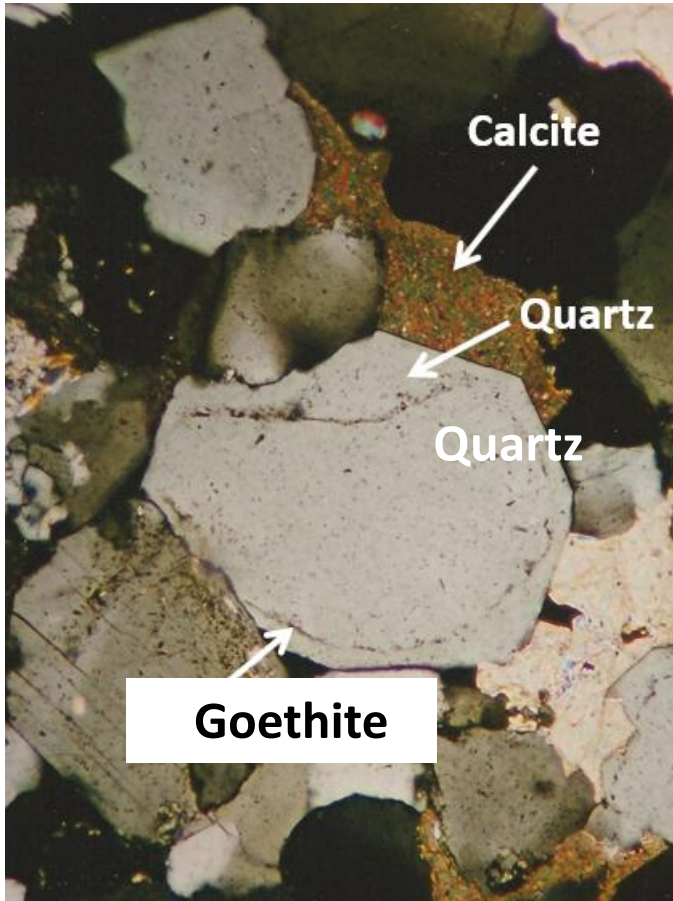


Grès marin, Sénégal. Célestine remplaçant le ciment de calcédoine.



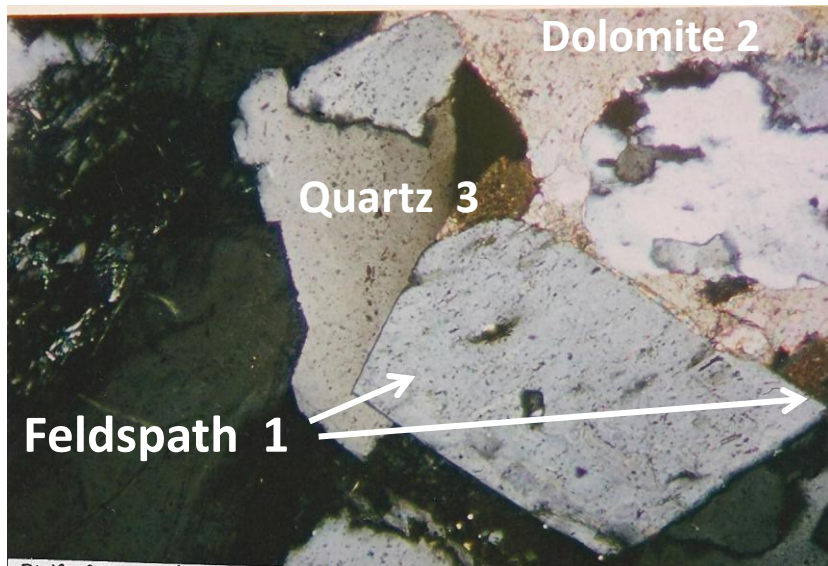
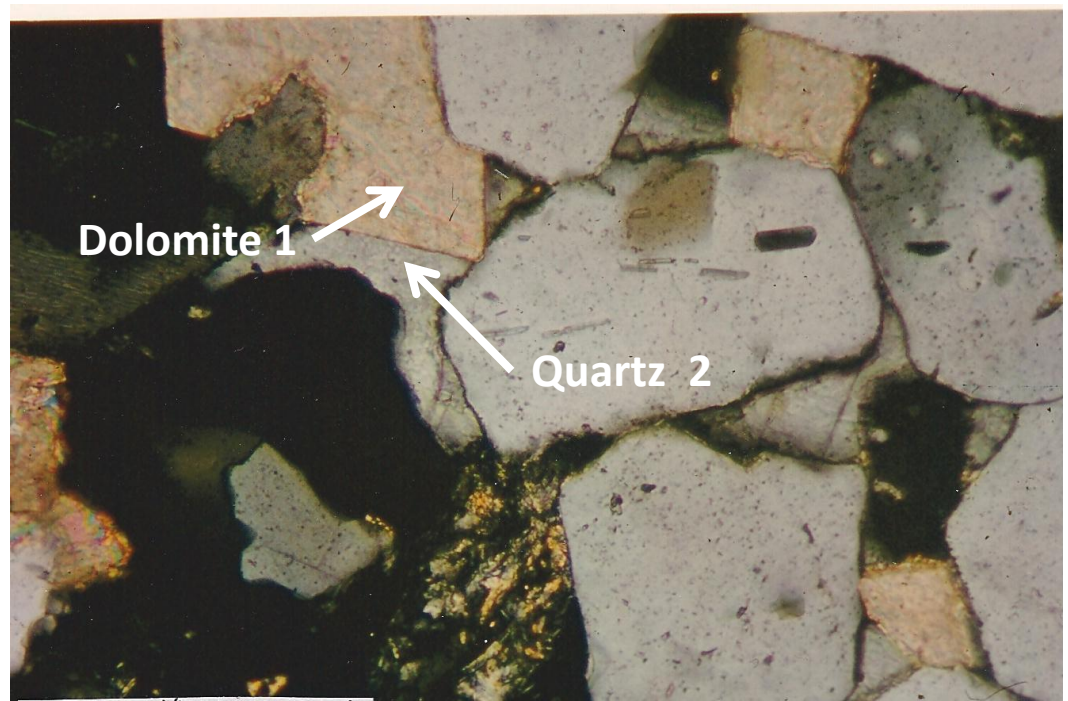
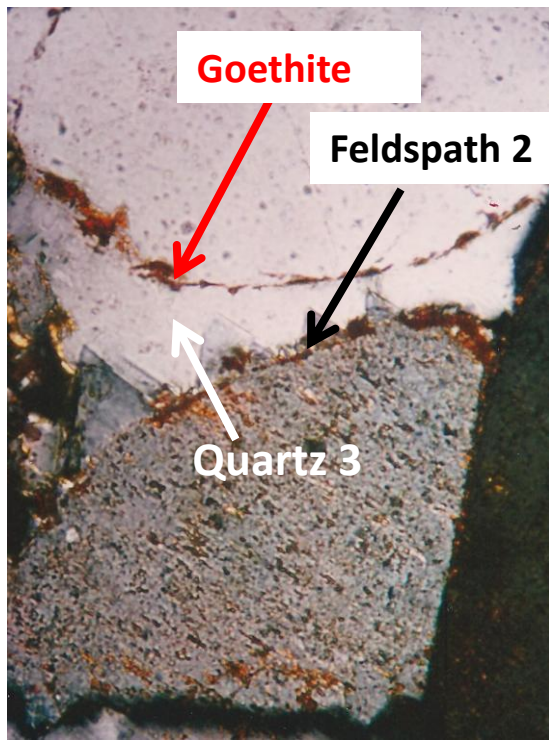
Dans ce grès marin du Crétacé, échantillonné à 4101m de profondeur dans un puits du Sénégal, les contacts quartz-quartz sont de type *suturé*, en accord avec l'enfouissement considérable maximum. Le ciment de célestine semble *corroder* les grains de quartz (Q), corrosion favorisée par les fluides alcalins en circulation. La célestine est stable en présence d'ions  $\text{Sr}^{2+}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ .

# Séquence de cristallisation, excroissances et dissolution

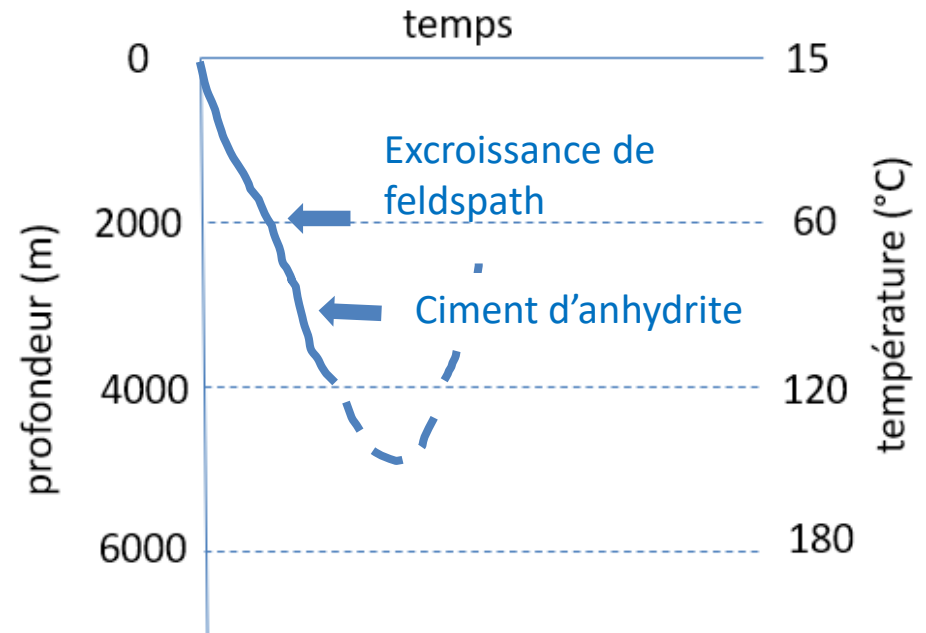
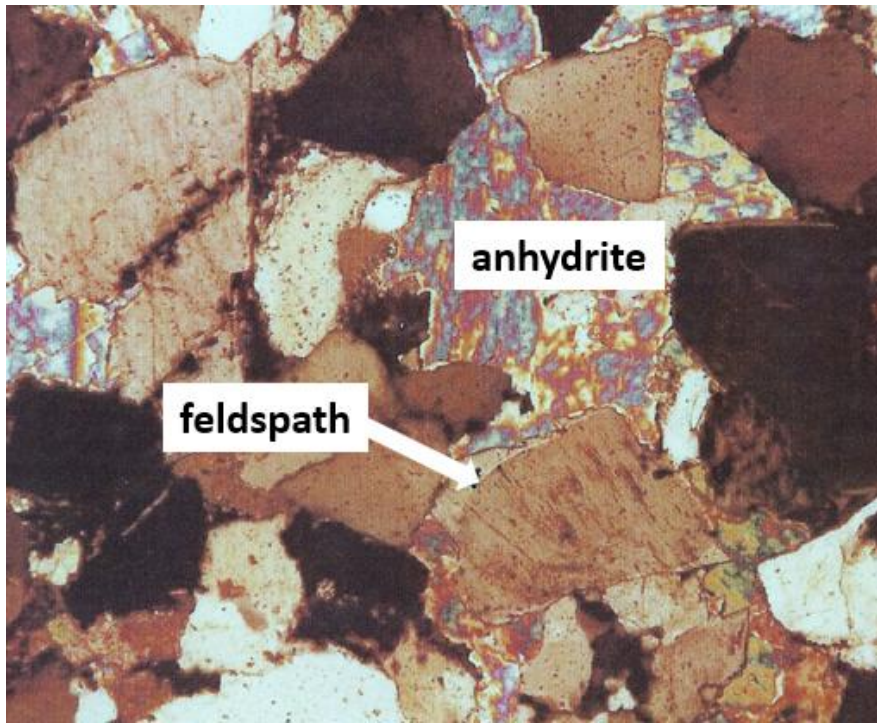


Dans ce grès rencontré à 2949m dans un puits du Sénégal, la formation d'*excroissances syntaxiales\** de quartz, à faces cristallographiques nettes, a précédé celle de la calcite. A noter les pourtours originels des grains de quartz (*fantôme*), marqués par un liseré de goethite.

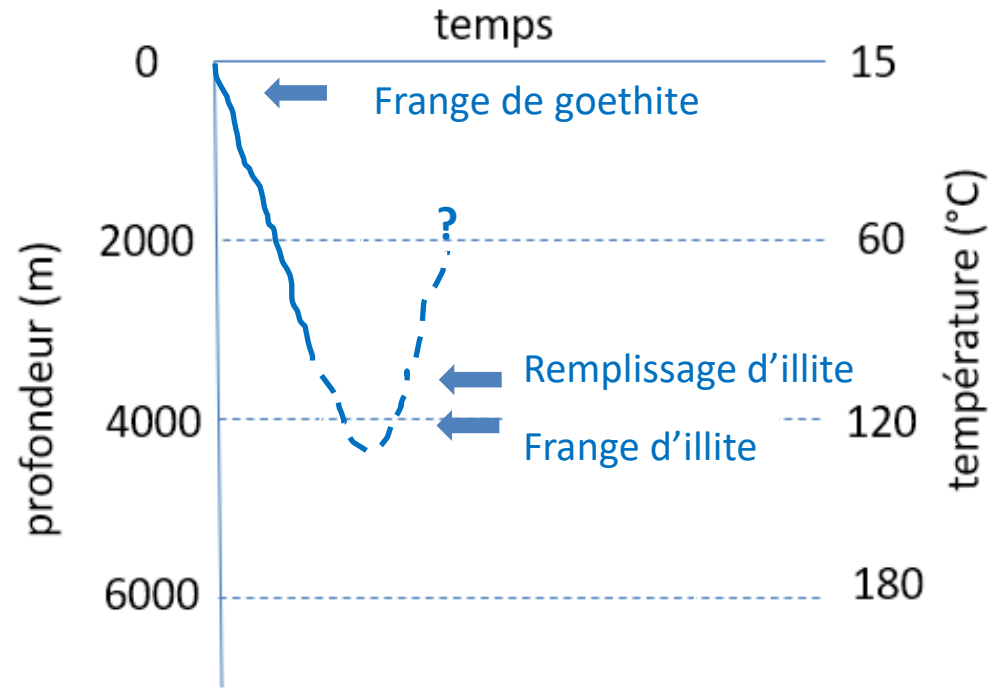
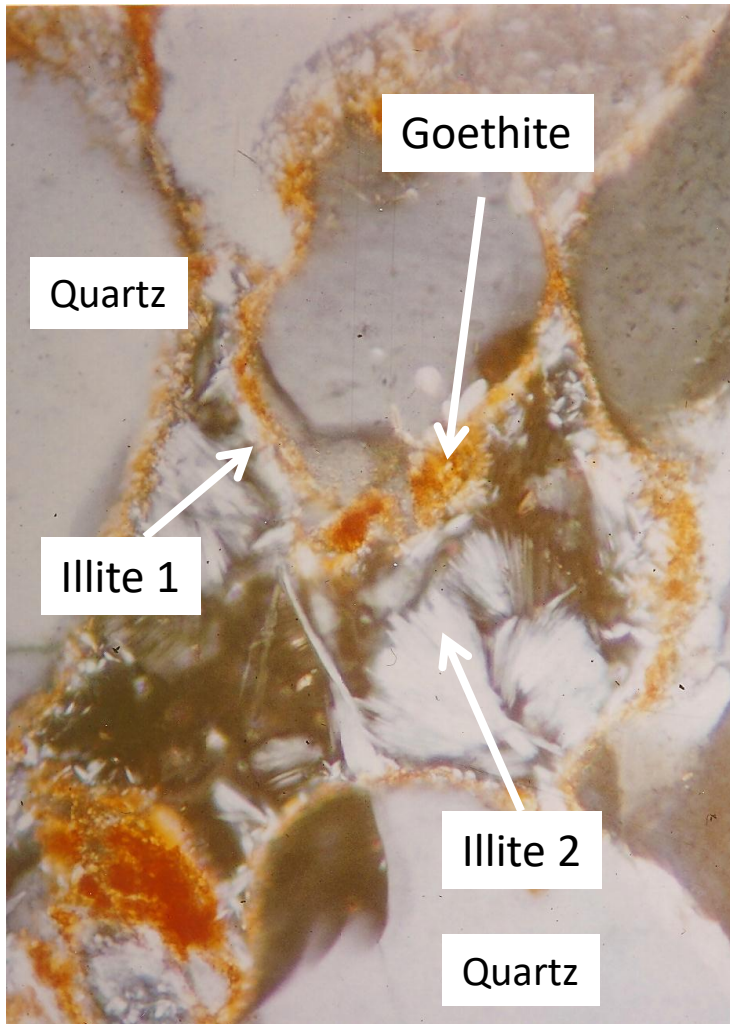
\* Syntaxial : de même orientation cristallographique optique que le grain



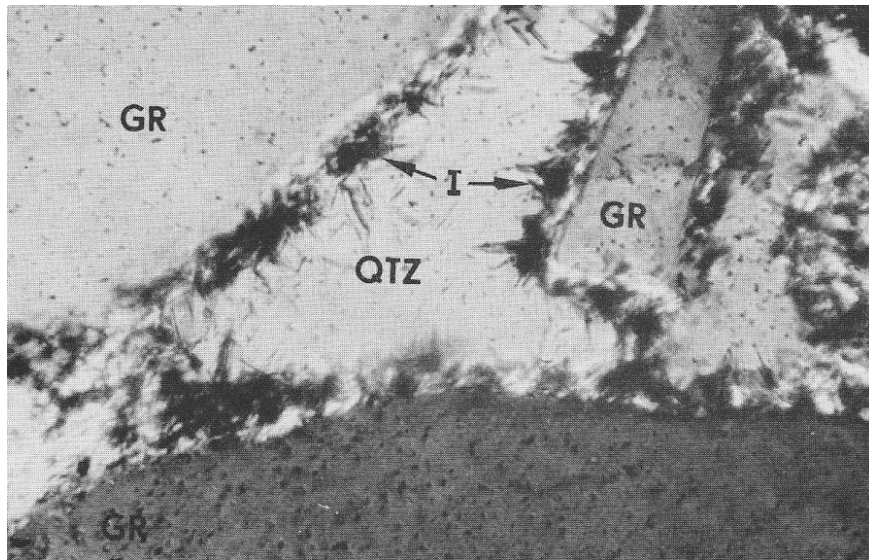
Exemples de *séquence de cristallisation* des excroissances et du remplissage, avec 1 - 2 - 3 indiquant l'ordre de cristallisation.



Grès rencontré dans un puits de la Mer du Nord. Les contacts sont de type *plan à suturé*, indiquant un enfouissement considérable. L'*excroissance* de feldspath potassique a précédé le *remplissage d'anhydrite*. Ni la profondeur dans le puits, ni l'enfouissement maximum sont connus (de l'auteur).



Grès Dévonien, puits de la Mer du Nord. *Liseré précoce de goethite* et remplissage tardif des pores par *deux générations d'illite* (Illite 1 et Illite 2). La profondeur dans le puits et l'enfouissement maximum ne sont pas connus (de l'auteur). La valeur élevée de la cristallinité de l'illite indiquent que celui-là est important.



Grès Permien, Allemagne. Le dépôt de la *frange d'illite* (I) précède le *remplissage de quartz* (QTZ). Grains de quartz (Gr). Enfouissement important (selon la cristallinité de l'illite).

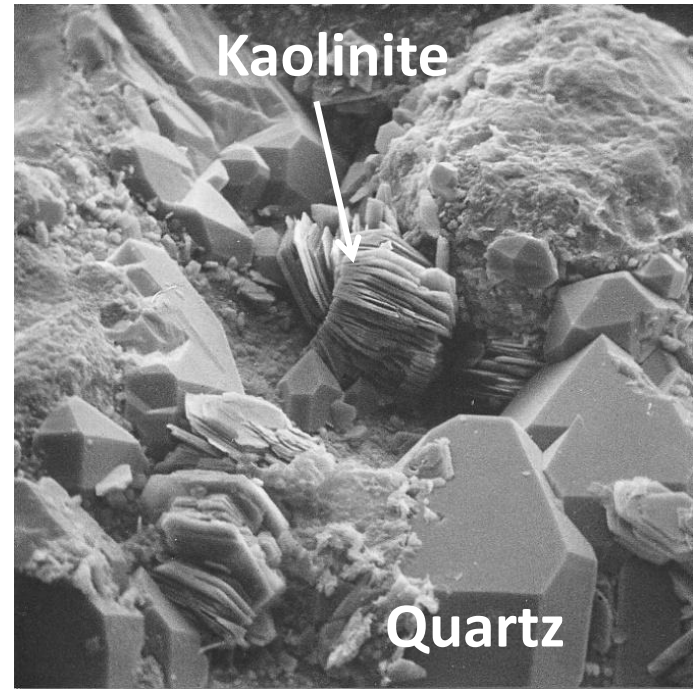
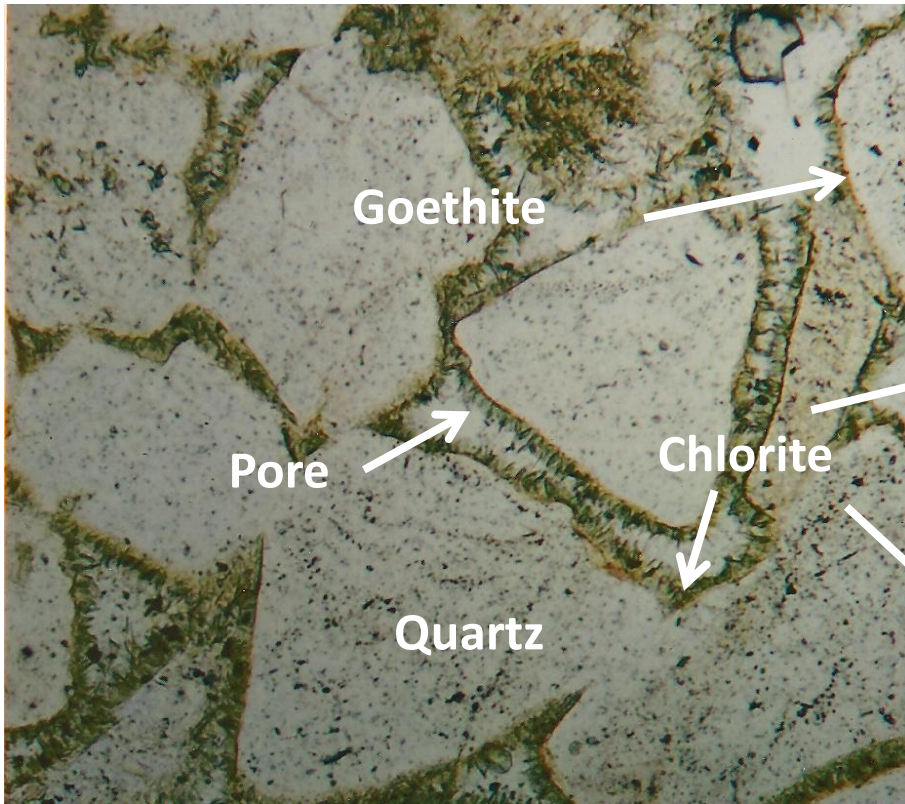
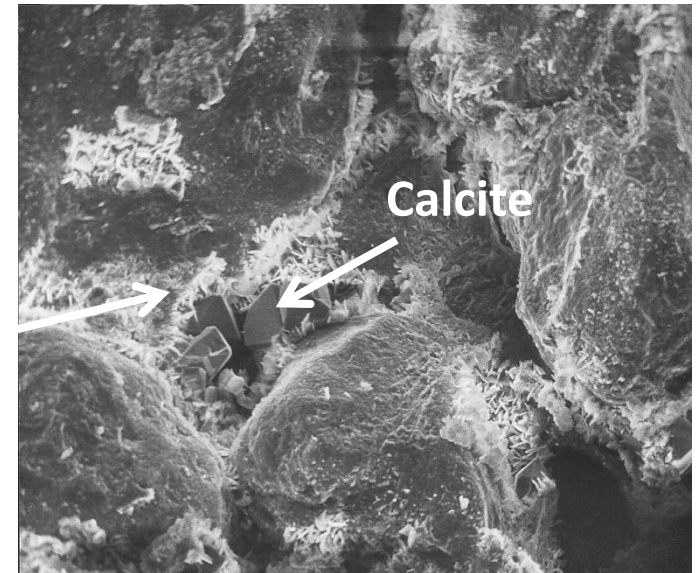


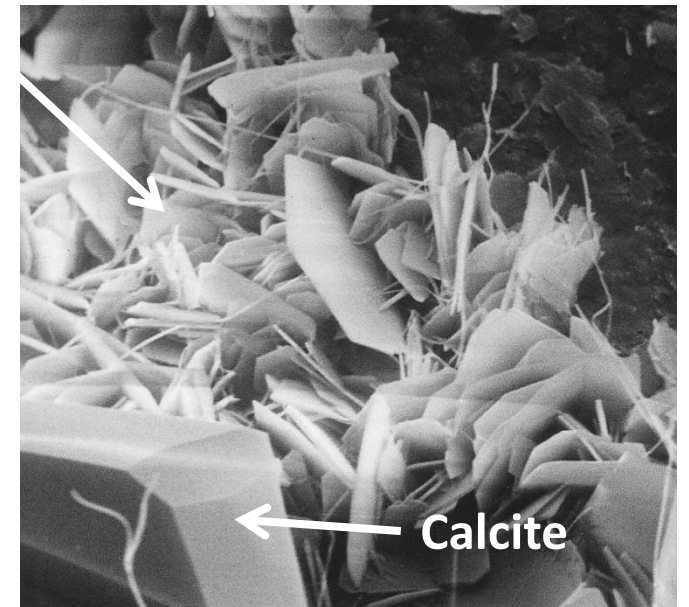
Image MEB d'un grès Permien de la Mer du Nord . Le *remplissage de kaolinite* suit les *excroissances de quartz*.

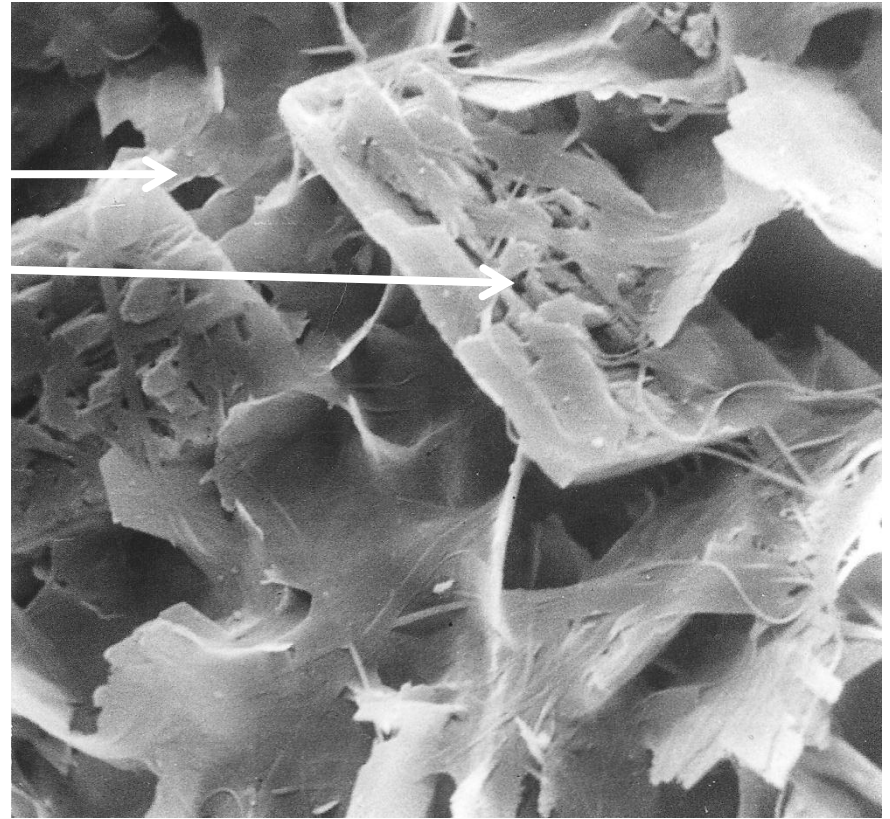
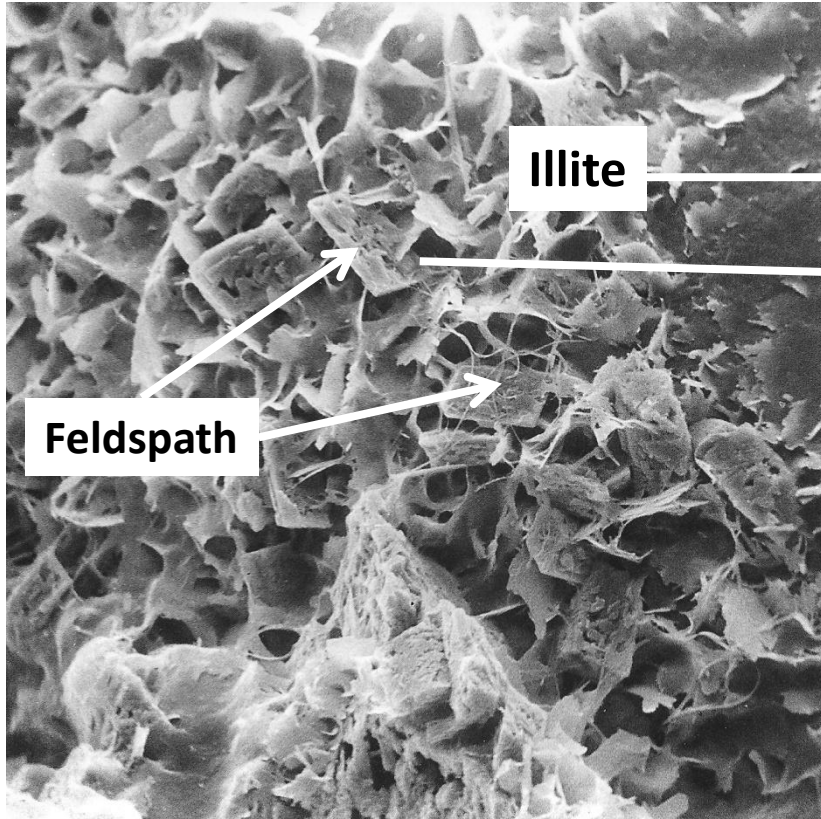


Grès Permien rencontré à 4773m dans un puits en Allemagne. Les contacts sont de type *plan à concavo/convexe*. Une frange de cristaux de chlorite entoure les grains. Les image MEB démontrent que la *chlorite* s'est déposée avant la *calcite*.

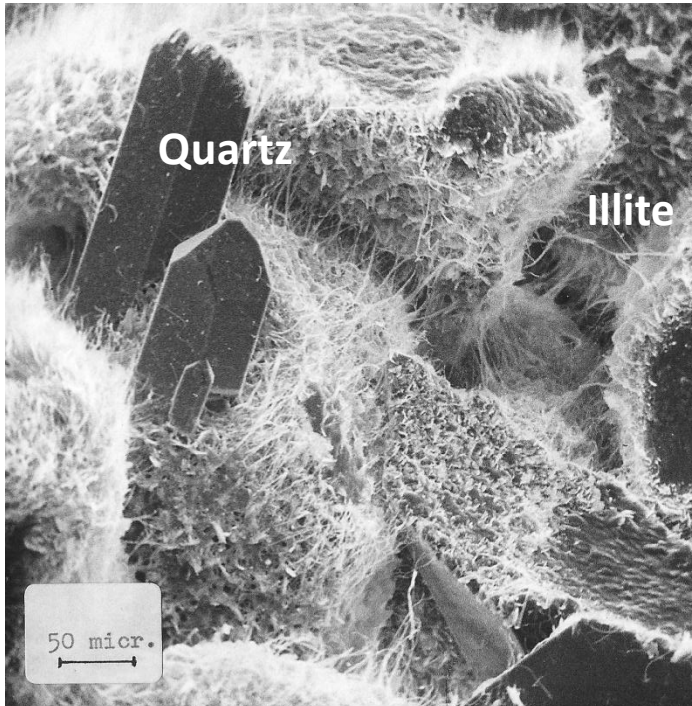
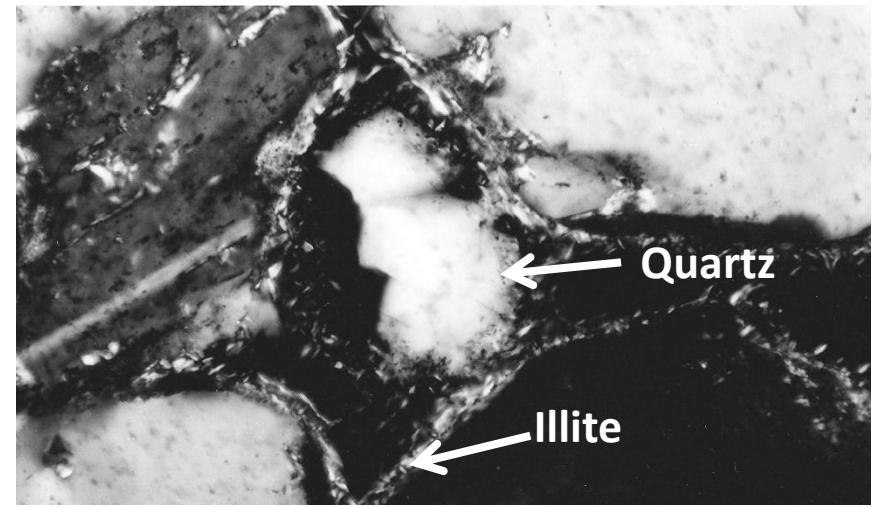
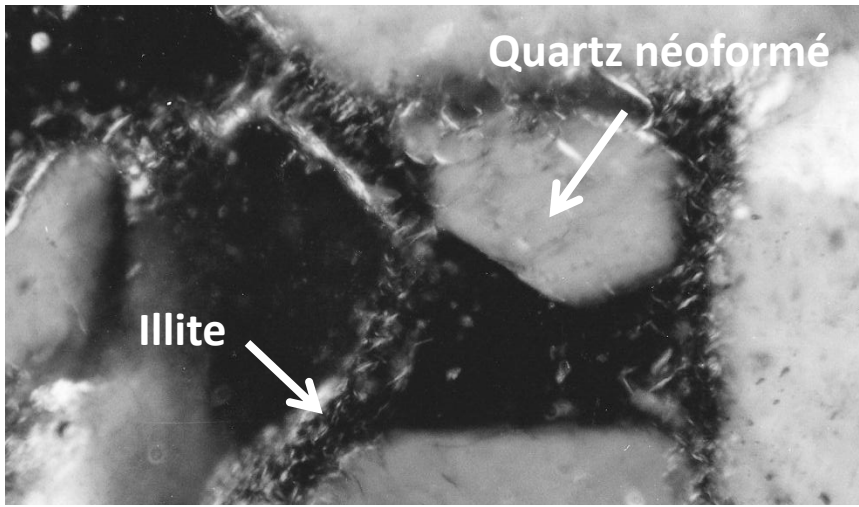


Images au MEB

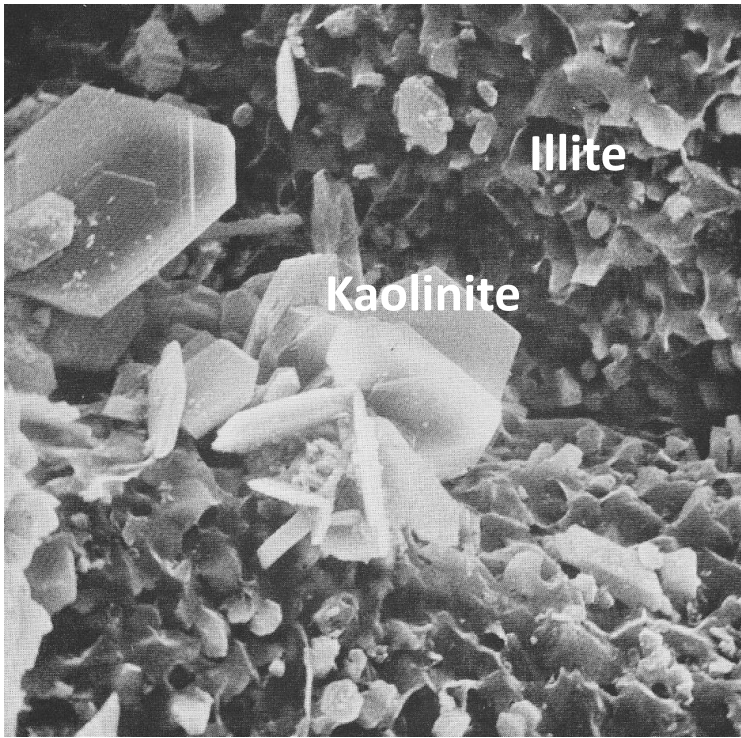




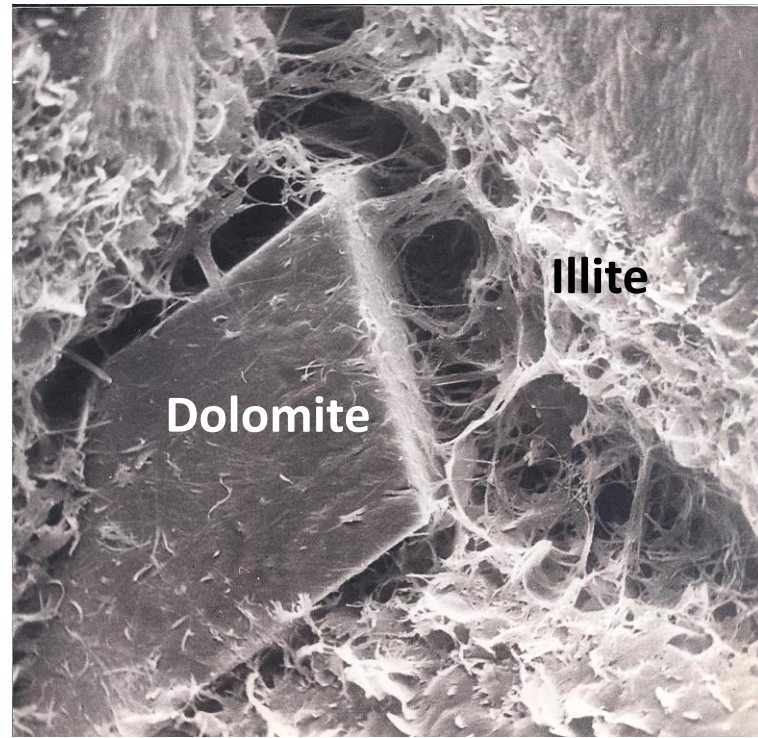
Images MEB d'un grès Permien, rencontré dans un puits de la Mer du Nord. *Ciment* d'illite et de feldspath dont l'interpénétration suggère une *crystallisation synchrone*. Un enfouissement maximum très important a précédé la surrection.



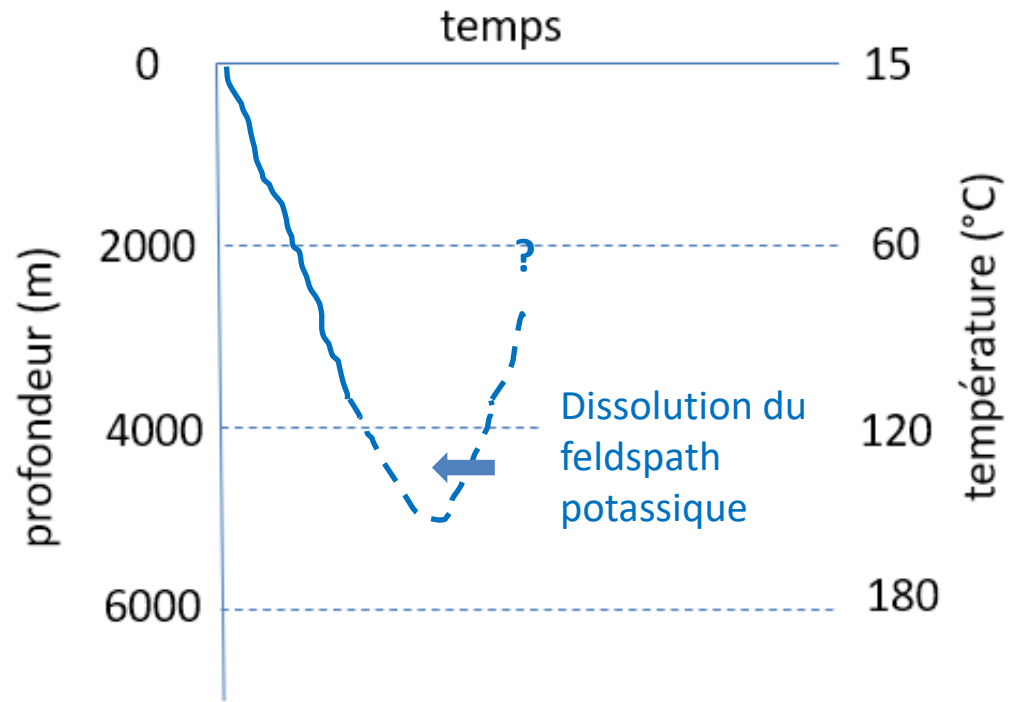
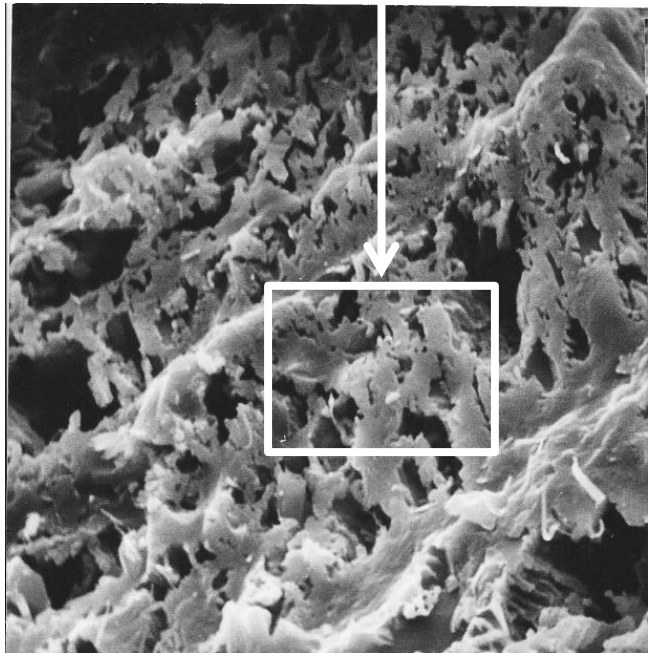
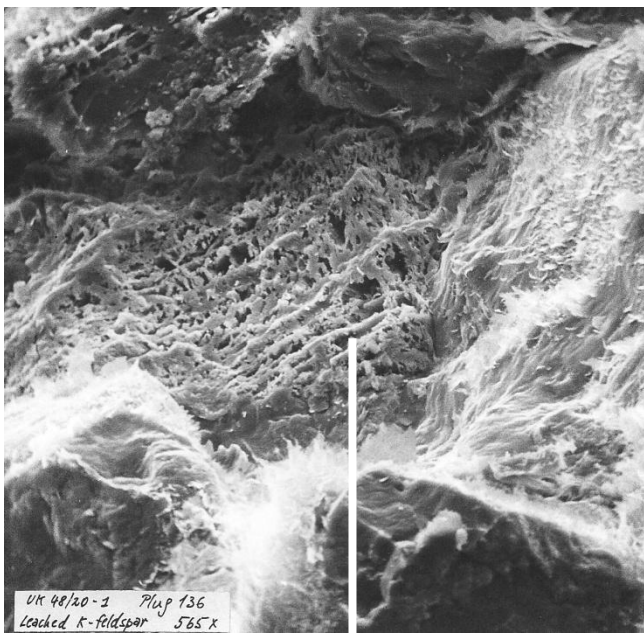
Grès Permien de la Mer du Nord. *Illite tardive* à cristallinité élevée et quartz post-illite. A noter les faces du quartz néoformé.



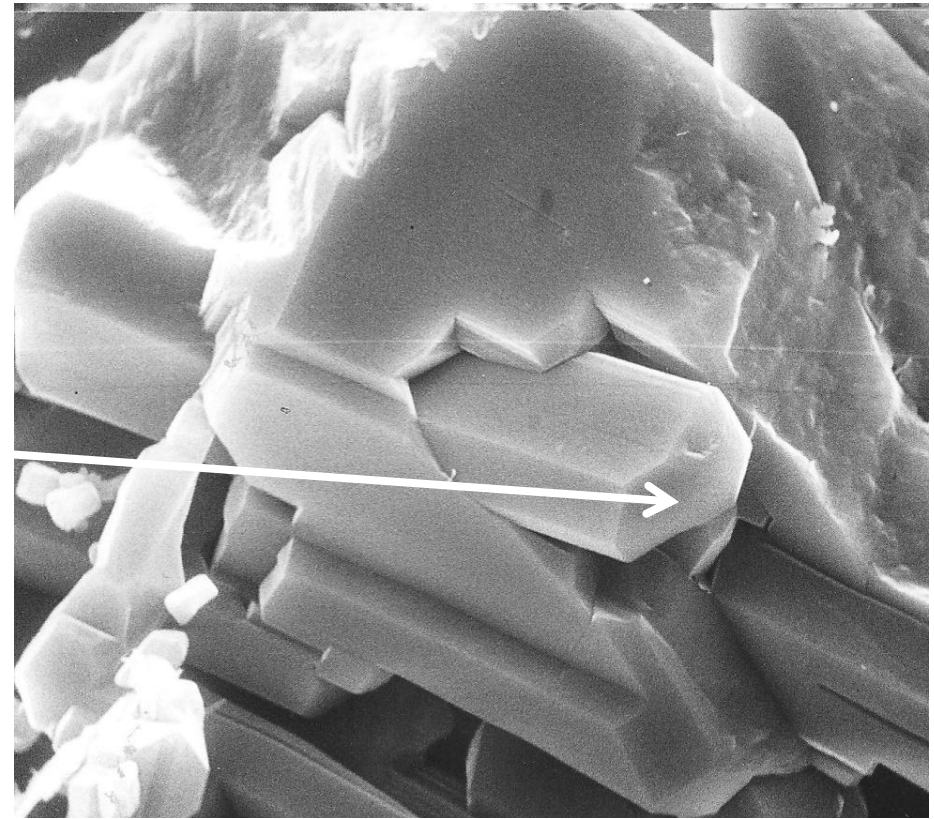
**Dans ce grès Permien de la Mer du Nord, la cristallisation de kaolinite a suivi celle de l'illite. Image MEB.**



**Rhomboèdre de dolomite néoformé, en partie synchrone de l'illite authigène.**



Dans ce grès mature, Permien de la Mer du Nord, on observe une *dissolution* du feldspath potassique par du  $\text{CO}_2$  issu de la maturation du charbon Carbonifère sous-jacent. Feldspath identifié au MEB.



**Grès Permien, Mer du Nord. Grain arrondi d'abord dissout, puis remplacé par de l'albite. L'albite est un feldspath de Sodium.**

# DIAGENÈSE PROFONDE des *GRES IMMATURES*

*tels que volcanoclastites, grauwacke et arkose*

**L'*instabilité* minéralogique-chimique caractérise les grès immatures.**

Les transformations incluent

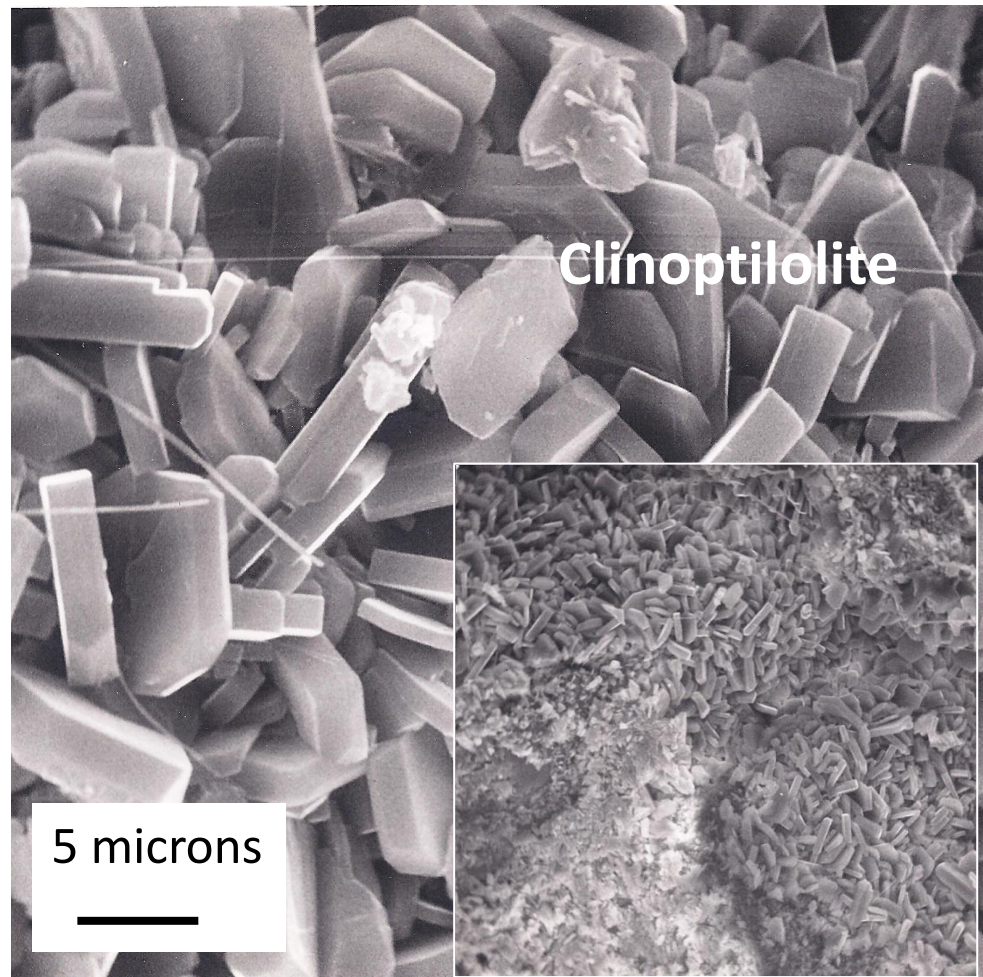
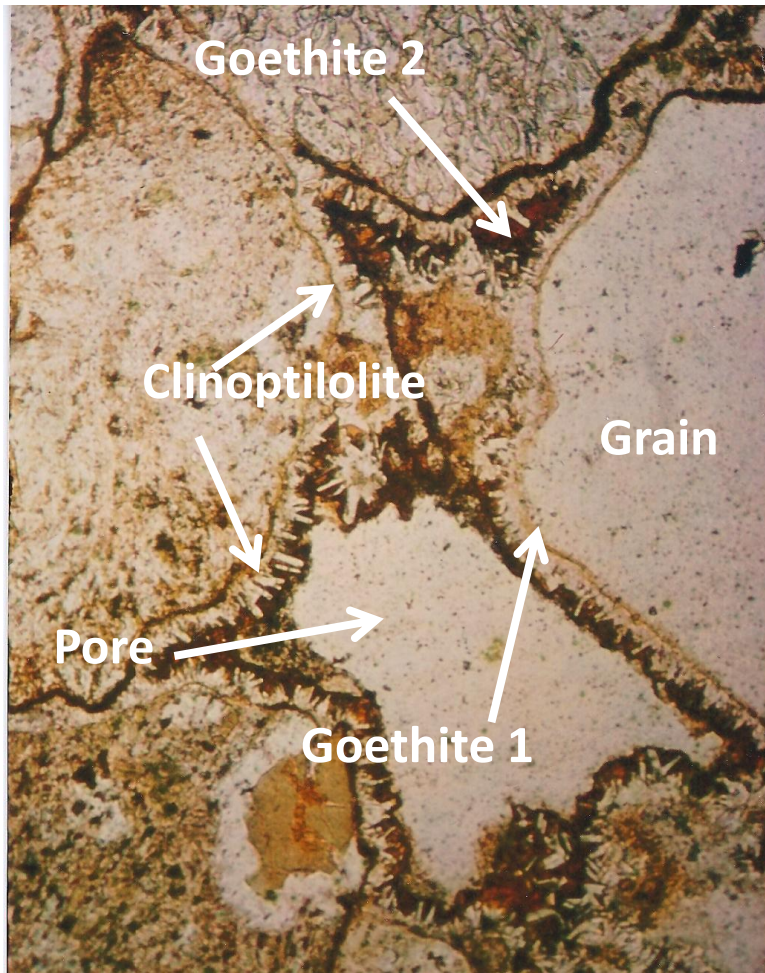
**l'*altération* des minéraux les plus instables tels que le verre volcanique et les minéraux ferro-magnésiens, et remplacement par des minéraux stables à basse température**

**le *remplacement* des feldspaths riches en Calcium et des feldspaths potassiques par des minéraux stables à basse température**

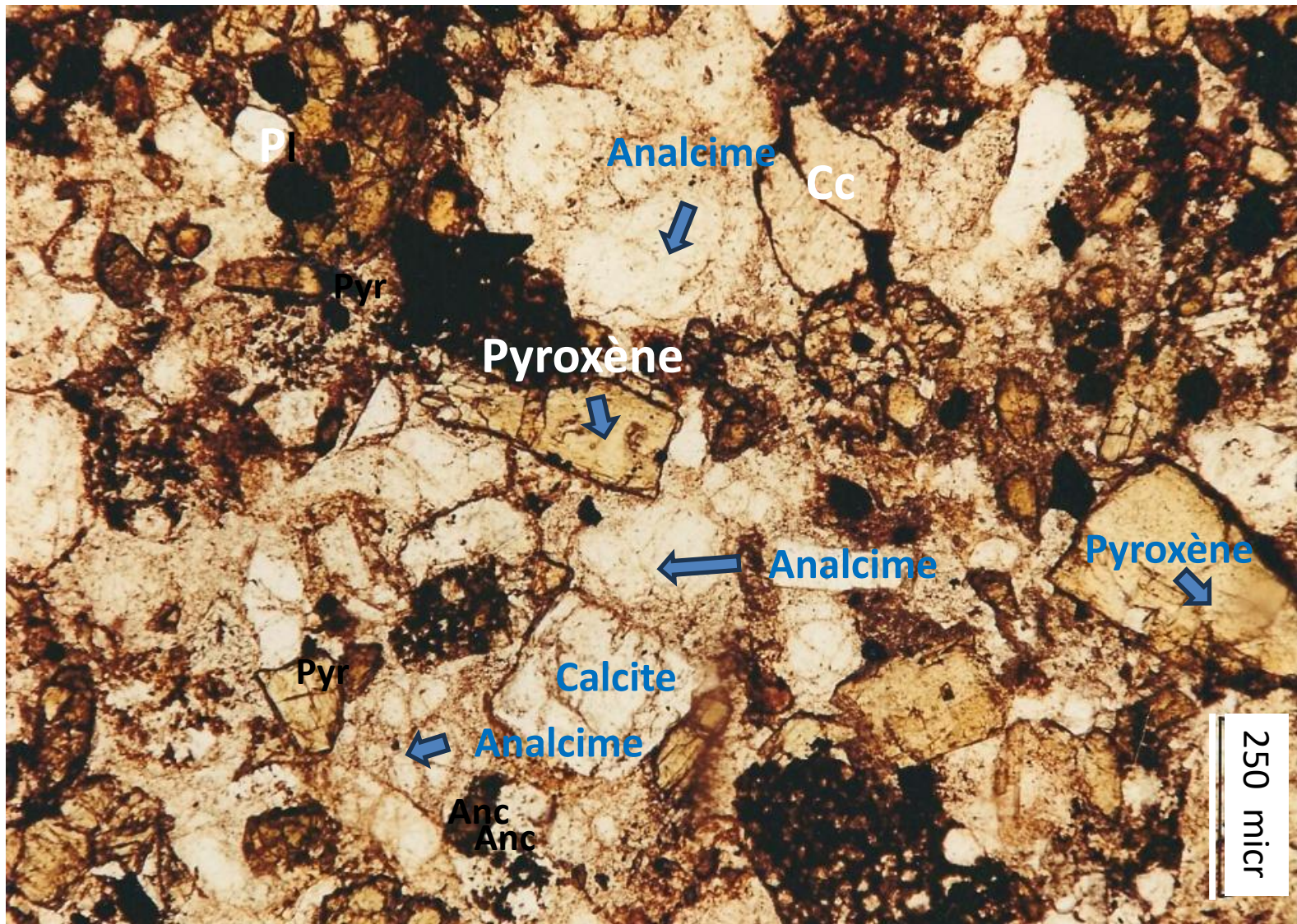
**la *formation d'illite/séricite* par remplacement de minéraux argileux**

**la *précipitation* de ciments (quartz, calcite, dolomite, sidérose) comme produit de la désintégration d'autres minéraux**

***Volcanoclastite* (adjectif: *volcanoclastique*) C'est un grès à majorité de grains d'origine volcanique remaniés. *Grauwacke* Roche argileuse riche en fragments de roche. *Arkose* Grès contenant plus de 25% de feldspath potassique**



Grès volcanoclastique affleurant au Japon. Un *liseré précoce de goethite 1* a précédé le *dépôt tardif d'une frange de clinoptilolite*. La surrection, qui a suivi, a amené le grès à la surface, ce qui a permis le *remplissage des pores résiduels par de la goethite 2*. La clinoptilolite est un minéral de la famille des zéolites de formule  $(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca})_{2-3}\text{Al}_3(\text{Al}, \text{Si})_2\text{Si}_{13}\text{O}_{36} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  et stable jusqu'à 800°C.

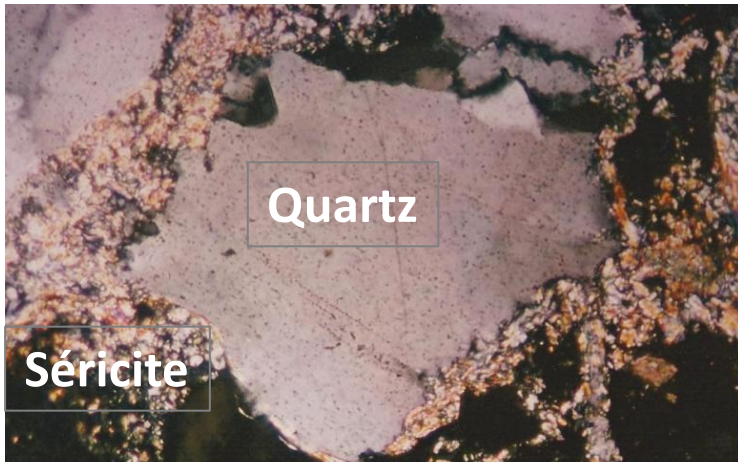


Grès volcanoclastique affleurant en Papouasie. Les pores sont *remplis d'analcime*, un minéral de la famille des feldspathoïdes de formule  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , stable à des températures modérées!

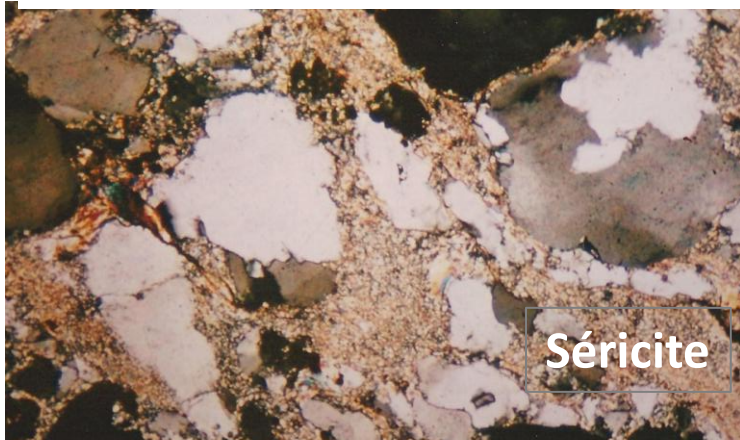
**ANCHI- à EPIMETAMORPHISME *des GRES MATURES***

## ***Anchimétamorphisme à épimétamorphisme***

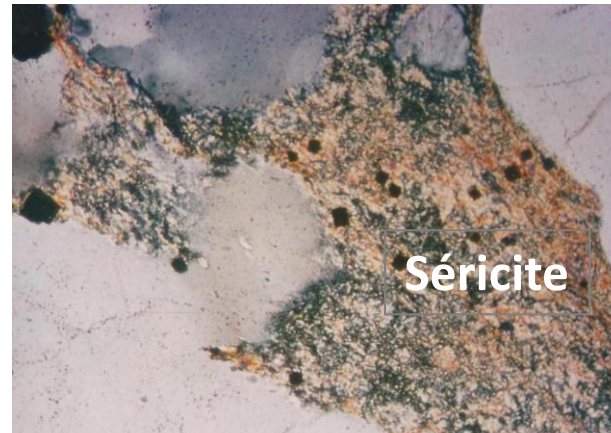
**Ces grès affleurant dans le Massif des Aiguilles Rouges, issus de sables quartzo-feldspathiques, se caractérisent par la résorption/corrosion des grains de quartz, leur extinction onduleuse (indicatrice de sollicitations mécaniques du réseau cristallin) et la néo-formation de quartz microcristallin et de séricite (précurseur du mica blanc).**



**Grès/Arkose du Carbonifère, Dorénaz, Valais, Suisse**

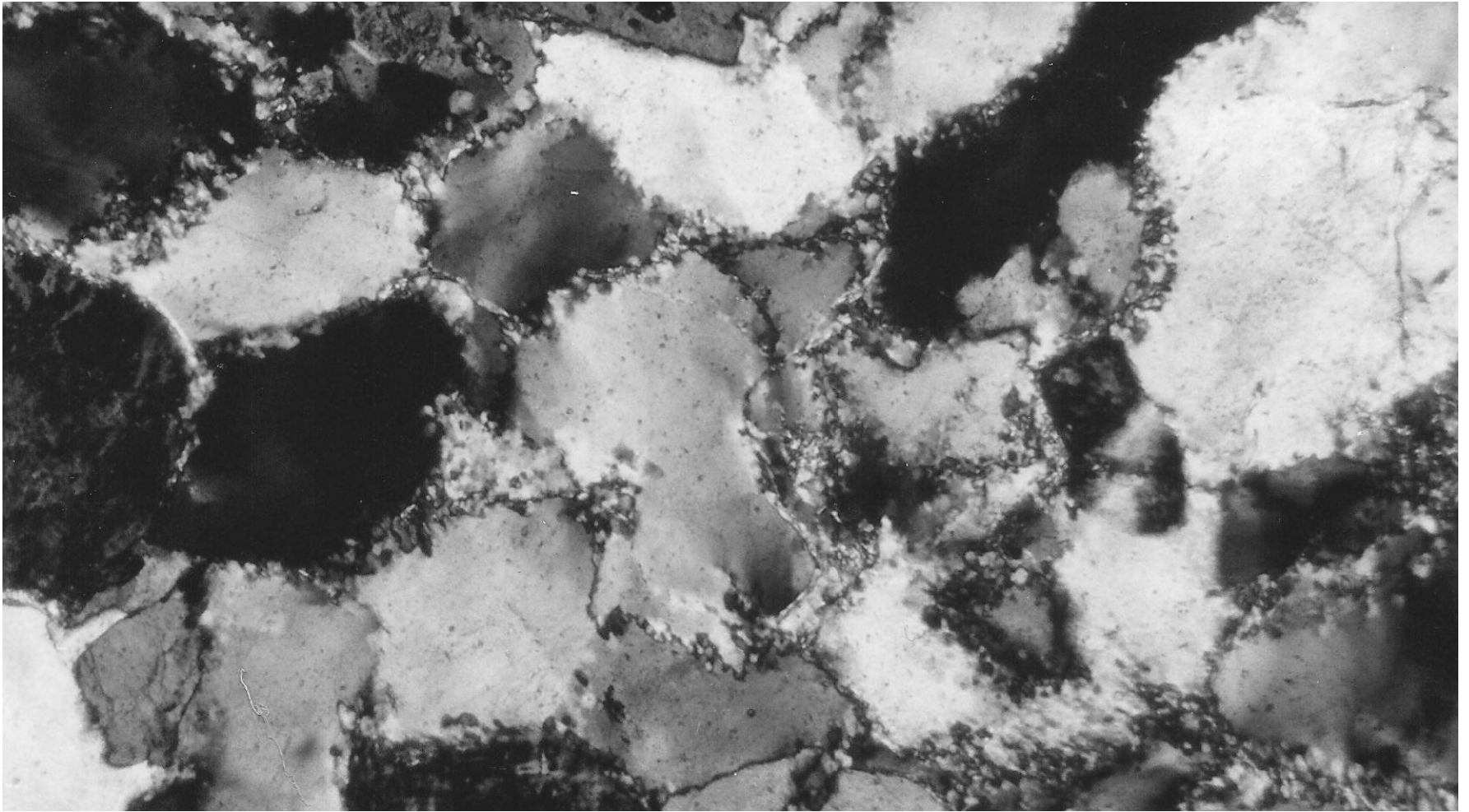


**Grès/Arkose du Jurassique Inférieur, Saillon, Valais, Suisse**



**Grès/Arkose du Trias, Saillon, Valais, Suisse**

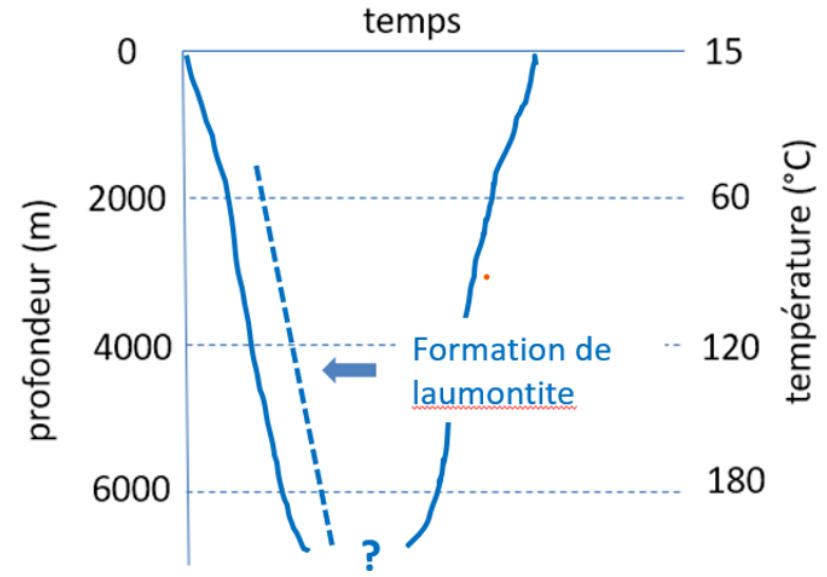
Les *micro-cristaux de quartz* proviennent de la dissolution du quartz des grains, de l'altération des feldspaths et de la déstabilisation des phyllosilicates (par exemple muscovite), mécanismes qui libèrent de la silice, laquelle cristallise en quartz micro-cristallin. Les *micro-cristaux de séricite/illite* ont essentiellement la même origine.



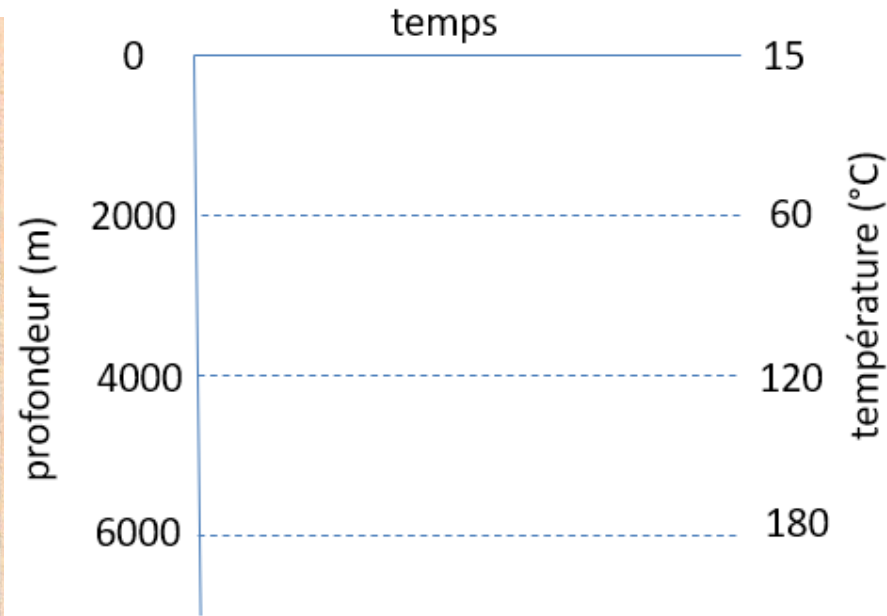
**Galet dans un grès du Trias du Bassin Parisien. Une *compaction extrême* s'exprime par la texture quartzitique avec forte *interpénétration* (contacts suturés) des grains de quartz et de feldspath. Les *micro-cristaux de quartz* sont engendrés lors de l'interpénétration des grains. A noter, l'extinction onduleuse du quartz provoquée par une pression très élevée (c'est un critère de cristallographie optique).**

# ANCHI- à EPIMETAMORPHISME *des GRES IMMATURES*

(VOLCANOCLASTITES)



Grès volcanoclastique de Taveyannaz. *Ciment de laumontite* (L) remplissant les espaces entre les grains de plagioclase (PL) et de quartz (Qz). La *laumontite* est un minéral de la famille des zéolithes, de formule  $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Stable approximativement de 100 à 200°C, elle caractérise le stade de diagénèse tardive à anchimétamorphisme précoce. Sa formation...



Grès volcanoclastique de Taveyannaz affleurant en France. *Plagioclases* remplacé par de la *préhnite* (Pr), qui est un minéral de la famille des phyllosilicates, de formule  $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ . Elle apparaît approximativement entre 150 et 200°C. En association avec de la pumpellyite, la prehnite définit l' anchimétamorphisme (200 à 300°C).