

Pétrographie Sédimentaire

STU S3



Shop

- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



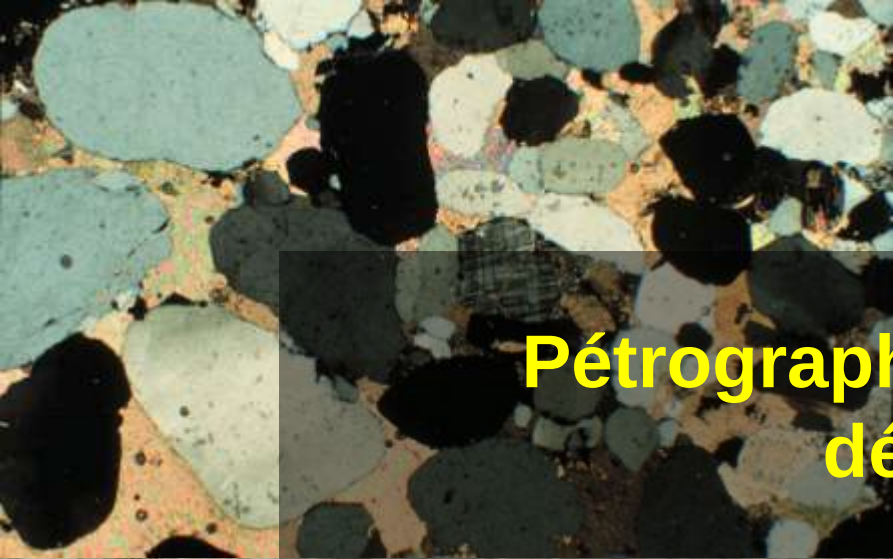
Etudier

Visiter [Biologie Maroc](https://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



Emploi

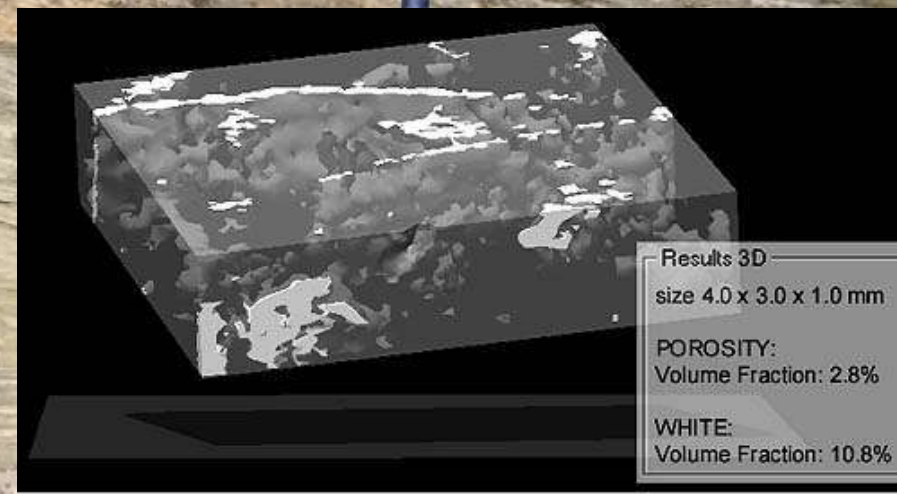
- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE



Pétrographie sédimentaire détritique

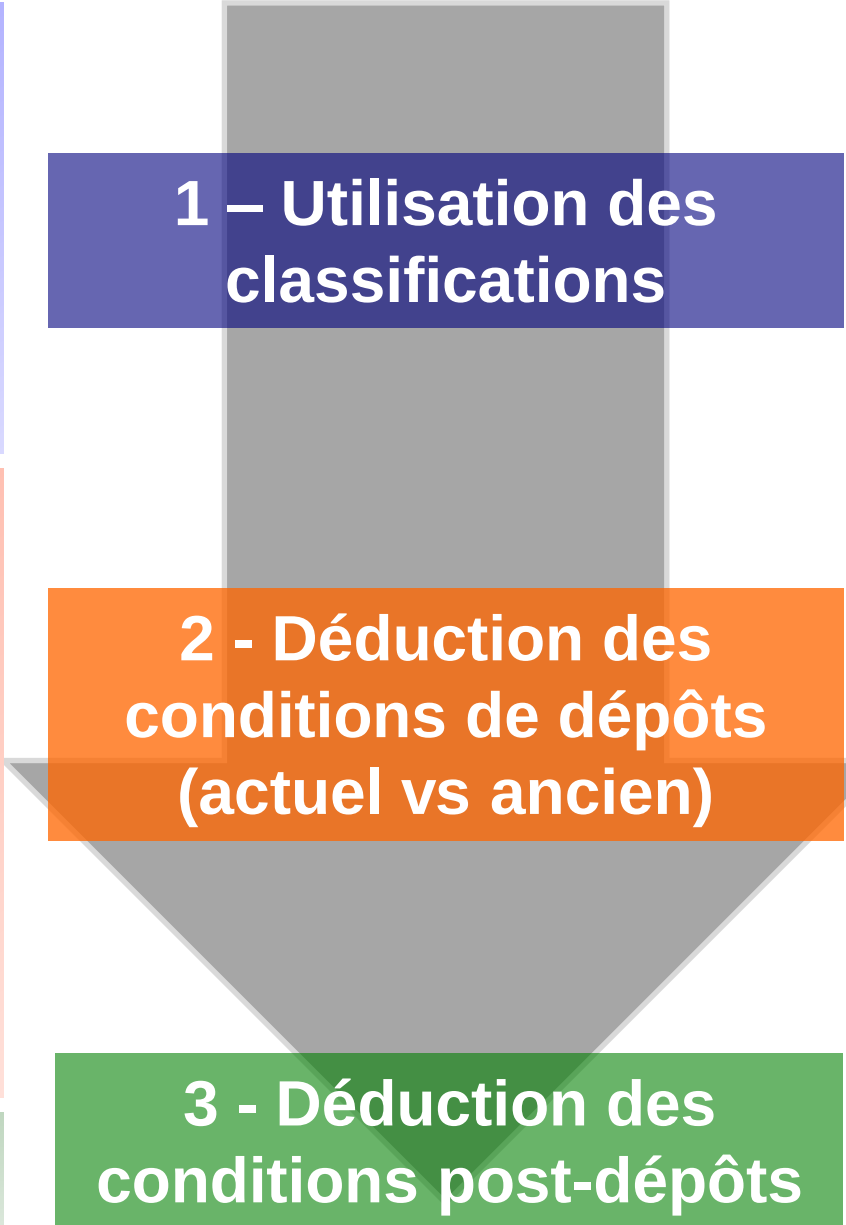
L2 ST

Pierre Pellenard
Université de Bourgogne



Objectifs :

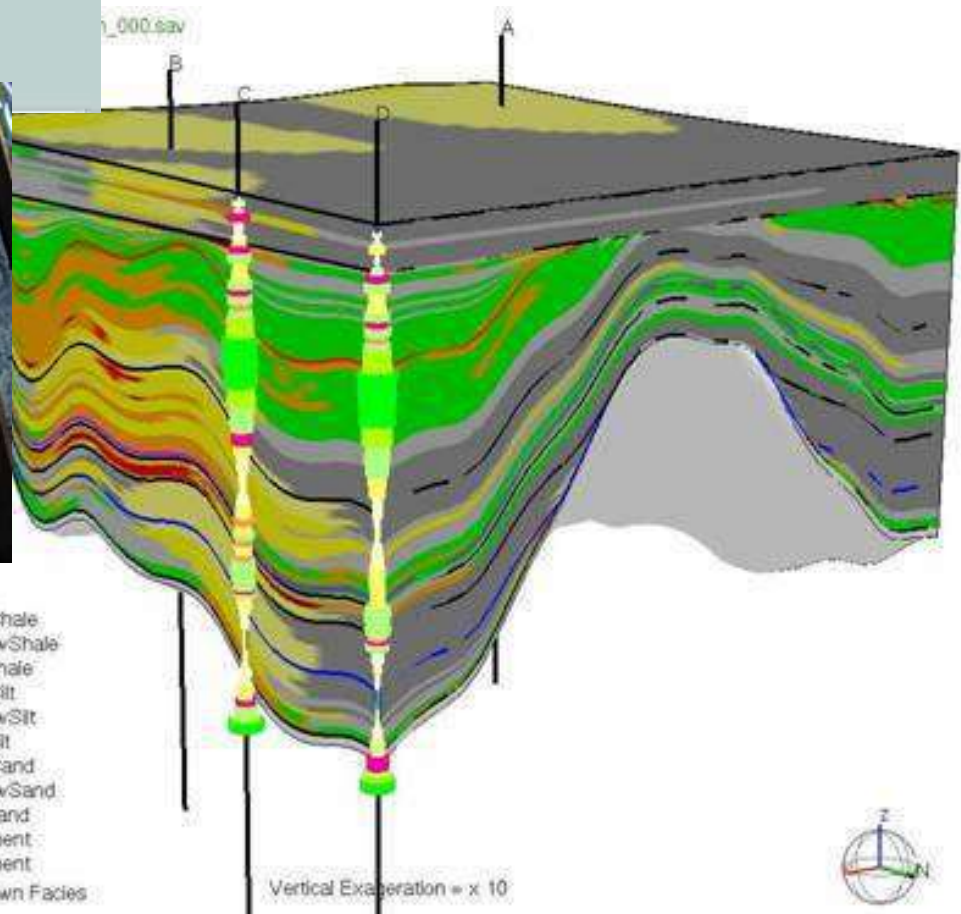
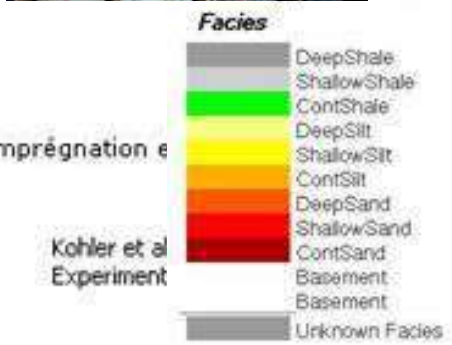
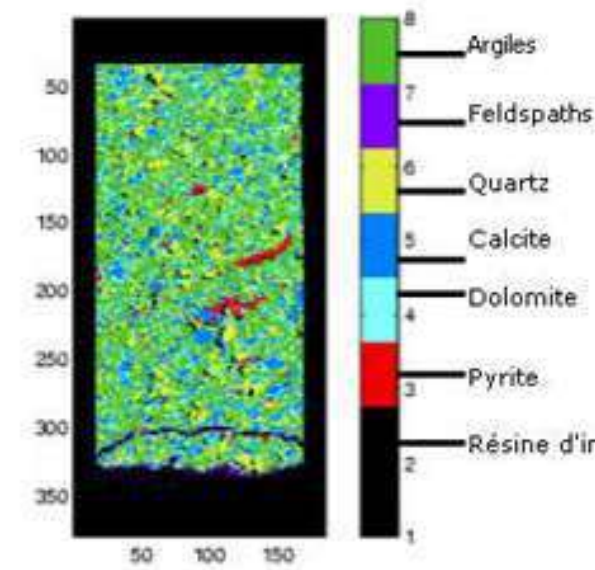
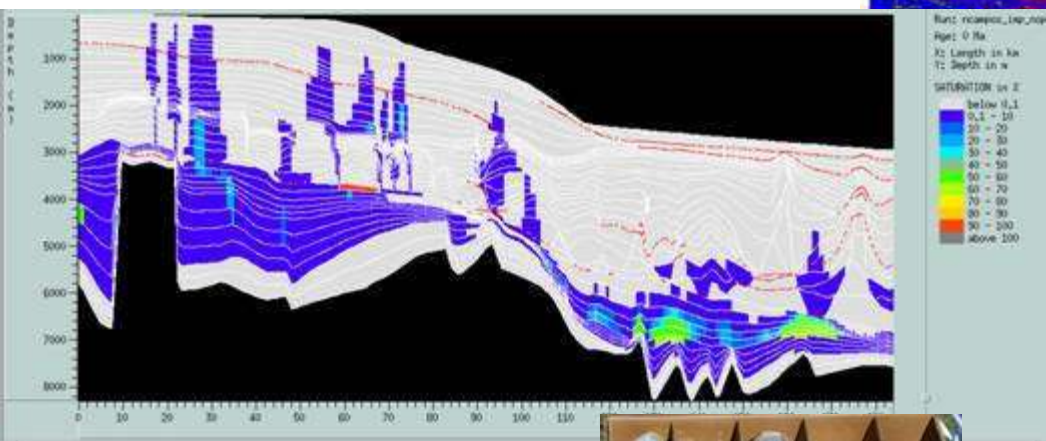
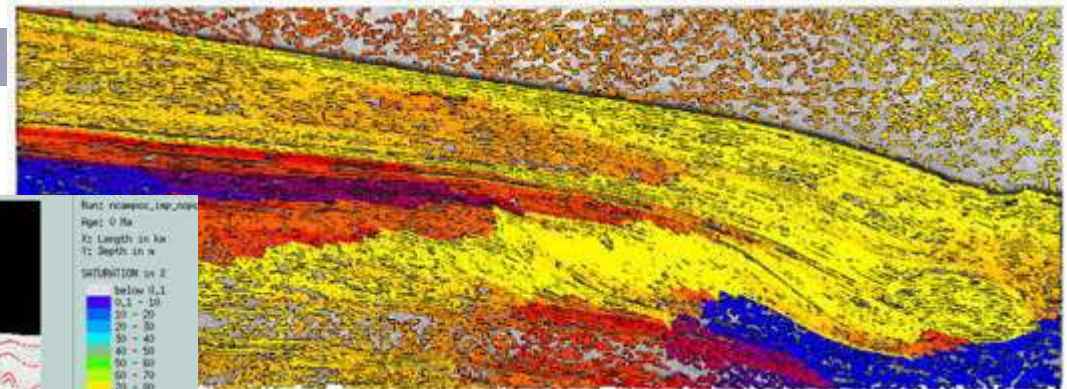
- Facies sédimentaire : granulométrie, hétérogénéité, texture, couleur...etc
- Composition minéralogique (particules, phase liaison)
- Maturité de la roche (transport)
- Structures sédimentaires
- Contenu fraction biogène
- Processus en jeu (Climat, tectonique, relief, courantologie)
- Lithification/Diagenèse

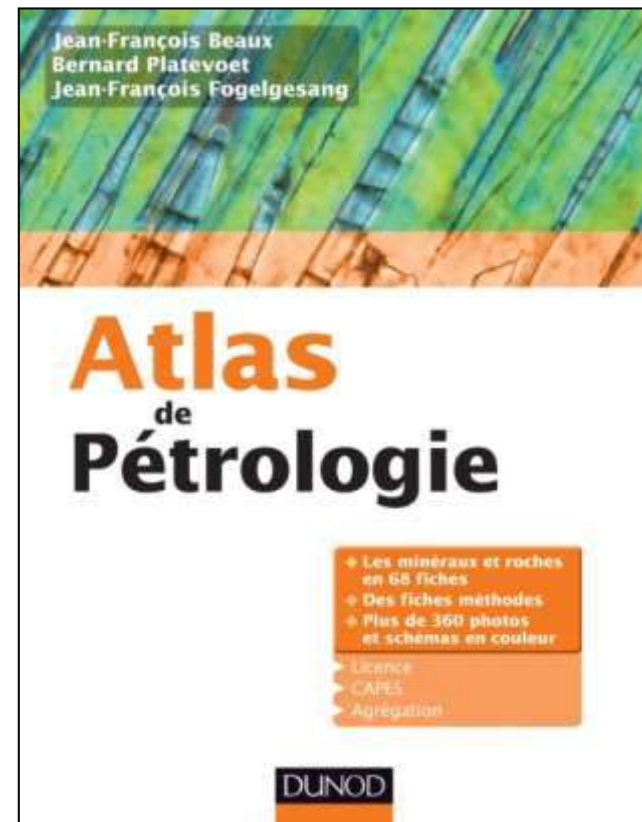
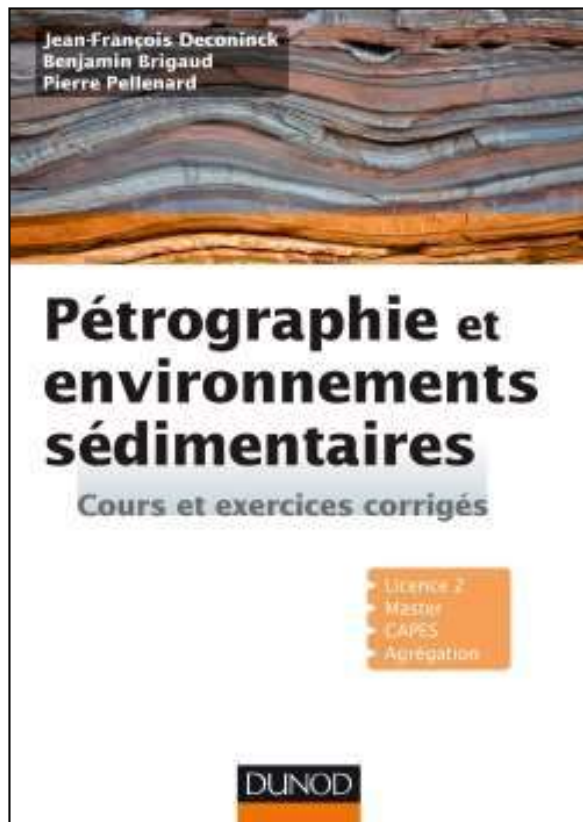


1 – Utilisation des classifications

2 - Déduction des conditions de dépôts (actuel vs ancien)

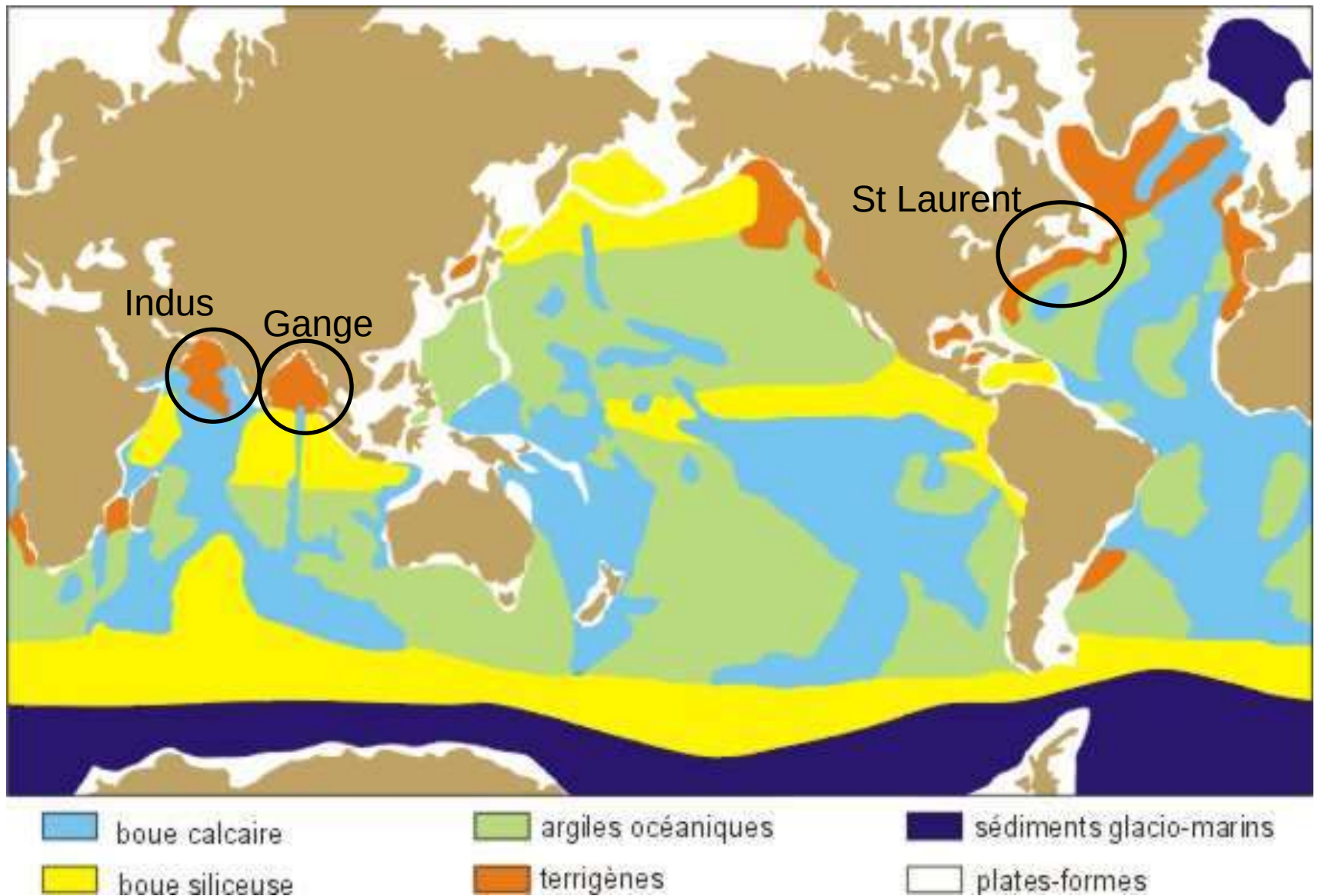
3 - Déduction des conditions post-dépôts





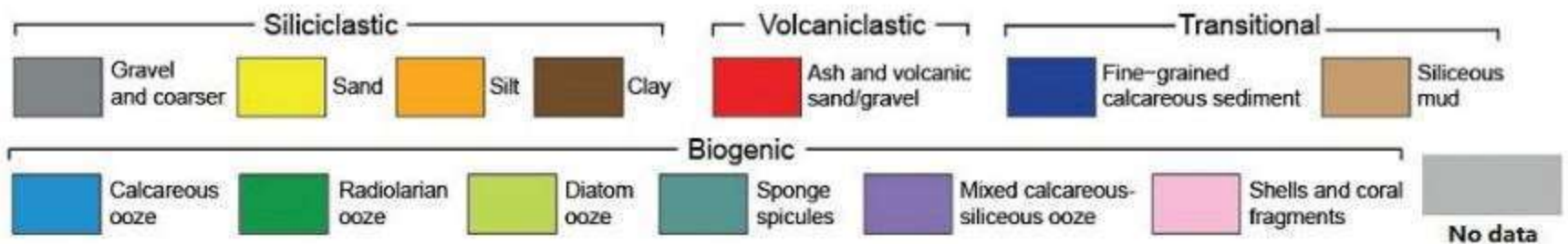
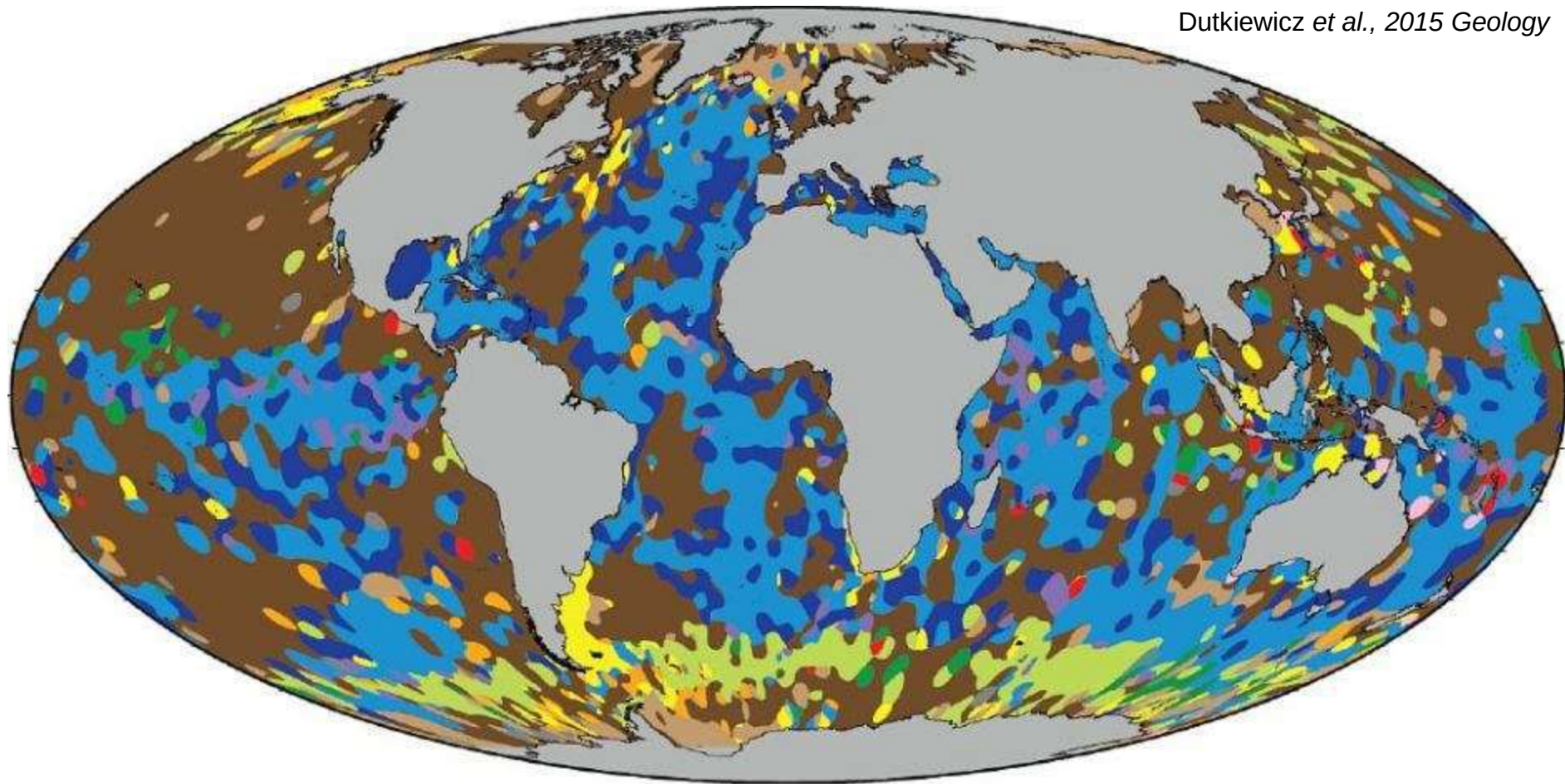
Les sédiments détritiques (silicoclastiques terrigènes) 80-85%	Les sédiments biogéniques, biochimiques et organiques	Les sédiments chimiques	Les sédiments volcano-clastiques
Conglomérats, sables, grès, siltites argilites 65%	10-15% Carbonates, roches biosiliceuses, phosphates, pétroles, charbons	Evaporites, roches ferrugineuses	Tufs, cinérites, bentonites, hyaloclastites, coulées : Altération Resédimentation

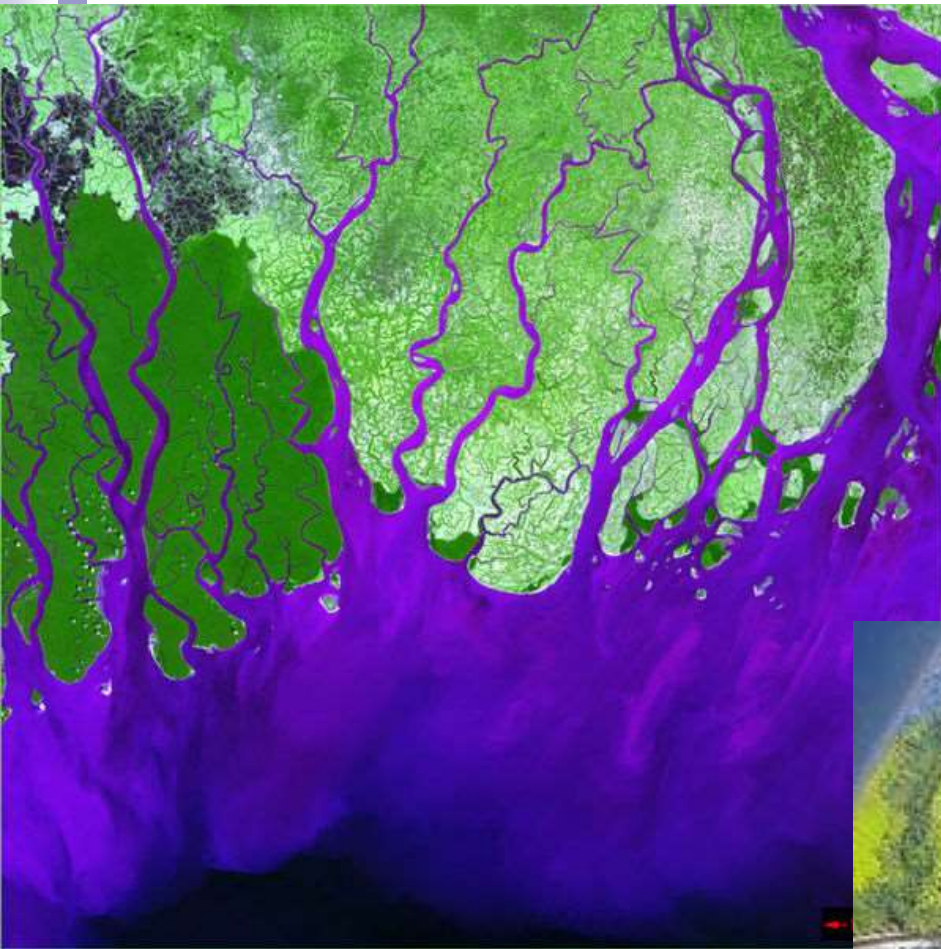
Carte de répartition des différents types de sédiments océaniques



1^{ère} carte mondiale digitalisée des sédiments océaniques

Dutkiewicz et al., 2015 *Geology*





Sédimentation terrigène dans un lagon de Tahiti liée à l'urbanisation

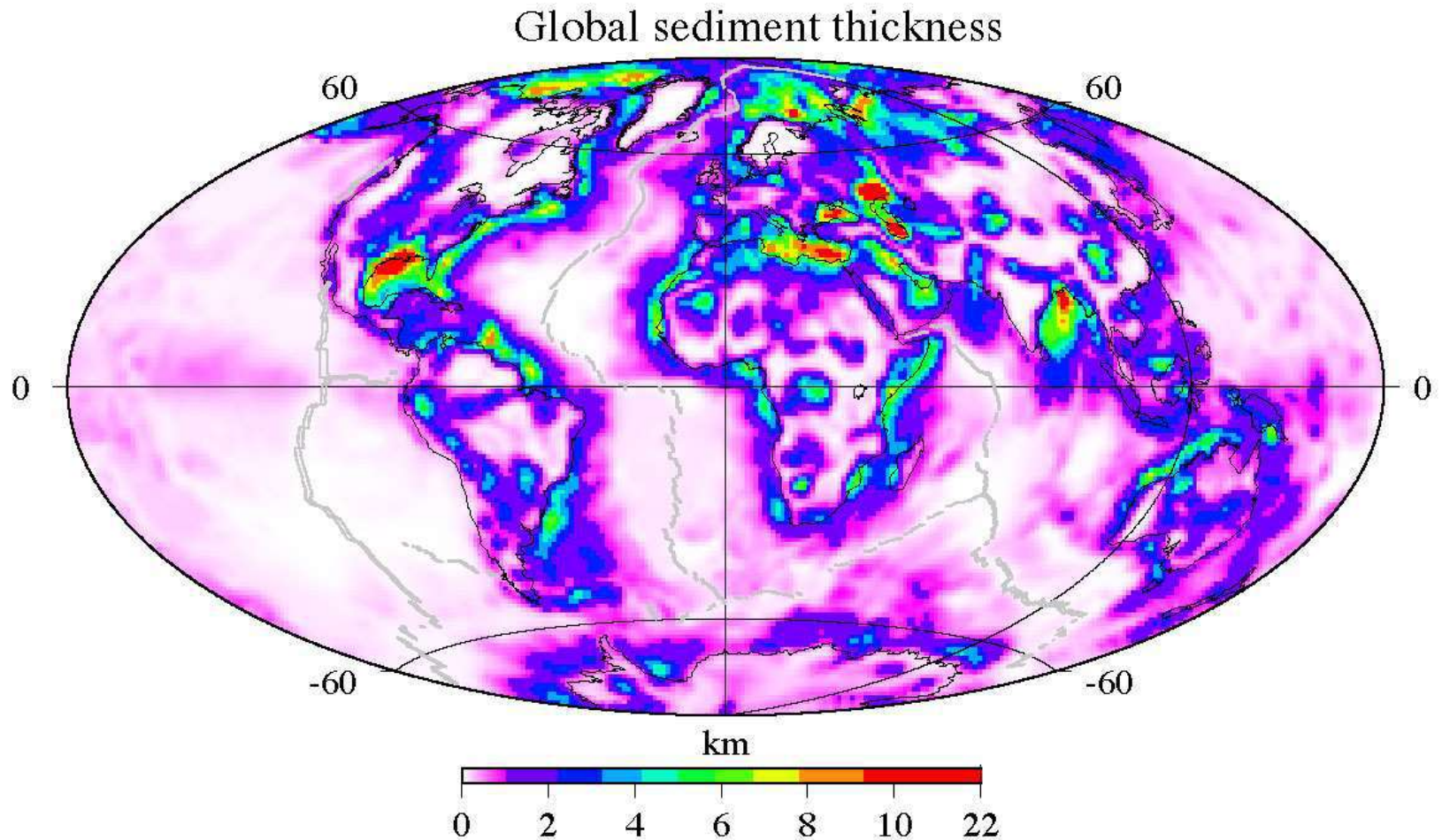
Sédimentation terrigène dans le delta du Gange



Matériel sédimentaire apporté à l'océan en fonction de la granulométrie

	Arctique	Tempéré-humide	Aride	Equatorial	Tot.
Rudite	0.75(50)	0.9(30)	0(0)	0(0)	1.65(7)
Arénite-silt	0.68(45)	1.5(50)	0.64(40)	3.8(20)	6.62(26)
Argile	0.08(3-5)	0.6(20)	0.96(60)	15.2(80)	16.84(67)
Tot.	1.5(100)	3.0(100)	1.6(100)	19.0(100)	25.1(100)

Valeur exprimées en milliard de tonnes et %



Carte d'épaisseur des sédiments à l'échelle mondiale : mise en évidence des grands bassins sédimentaires (forte subsidence)



1 – Propriétés pétrographiques & classifications :

- 1.1 – Granulométrie
- 1.2 – Morphologie des grains
- 1.3 – Fabrique texturale
- 1.4 – Maturité texturale
- 1.5 – Nature des grains et des ciments
- 1.6 – Les processus d'altération et le rôle du climat
- 1.7 – Les classifications utilisées

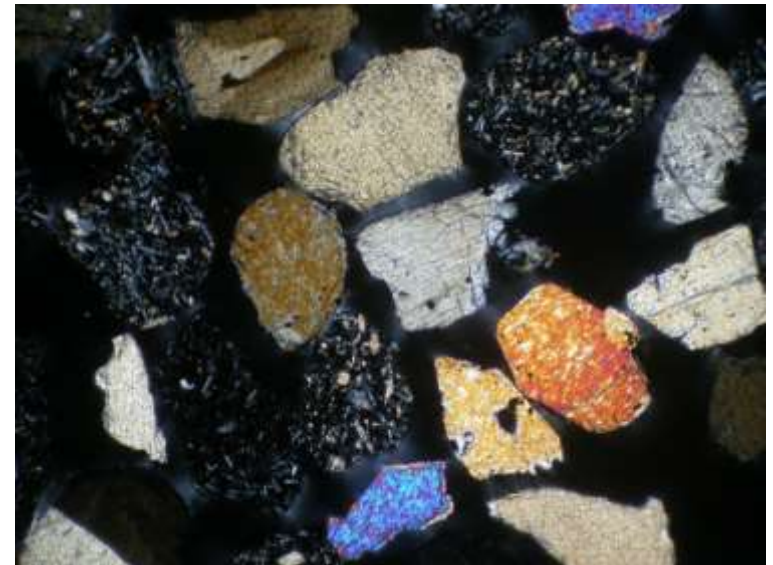
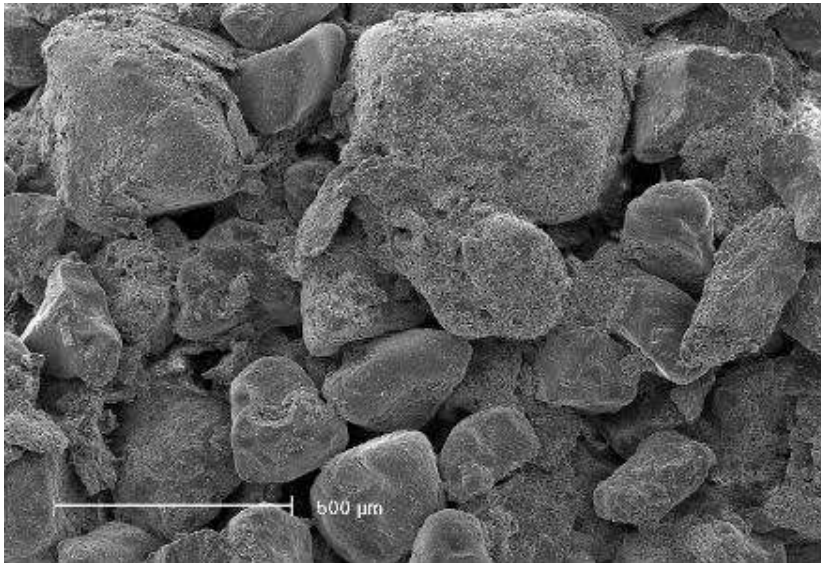
2 – Pétrographie des rudites et arénites

- 2.1 – Conglomérats & Brèches
- 2.2 – Sables et grès
- 2.3 – Propriétés pétrophysiques : porosité & perméabilité
- 2.4 – Introduction aux processus diagénétiques

3 – Pétrographie des lutites

- 3.1 – Diversité des environnements sédimentaires
- 3.2 – Texture et coloration
- 3.3 – Nature des éléments constitutifs
- 3.4 – Origine et transports des argiles
- 3.5 – Diagenèse : compaction et transformation

1 – Propriétés pétrographiques & classifications



Blocs erratiques





Poussières

Courants éoliens
turbides formant
les loess



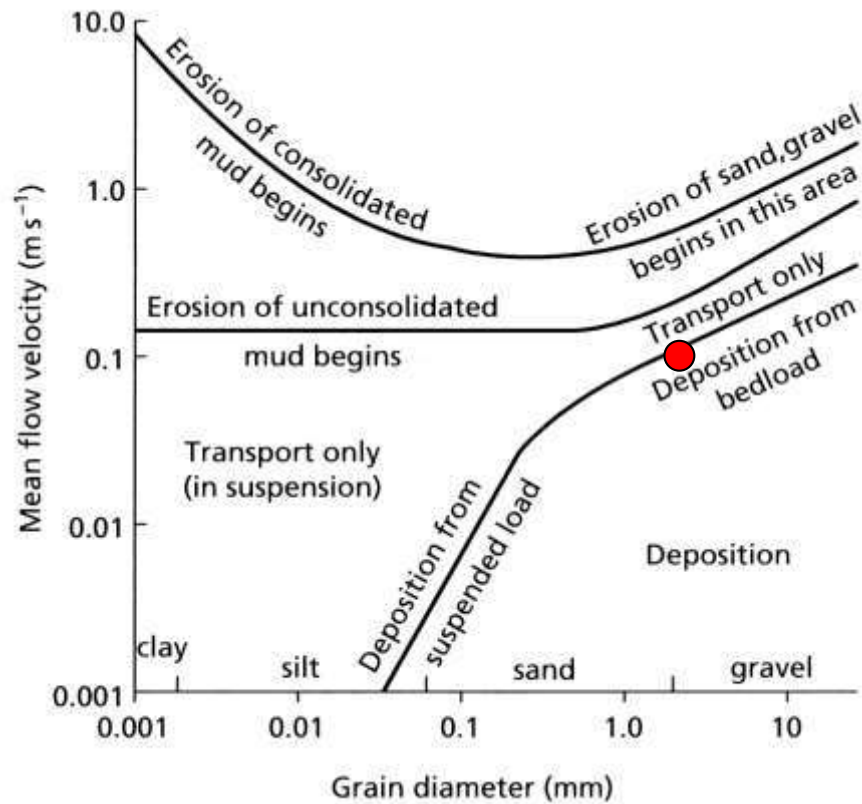
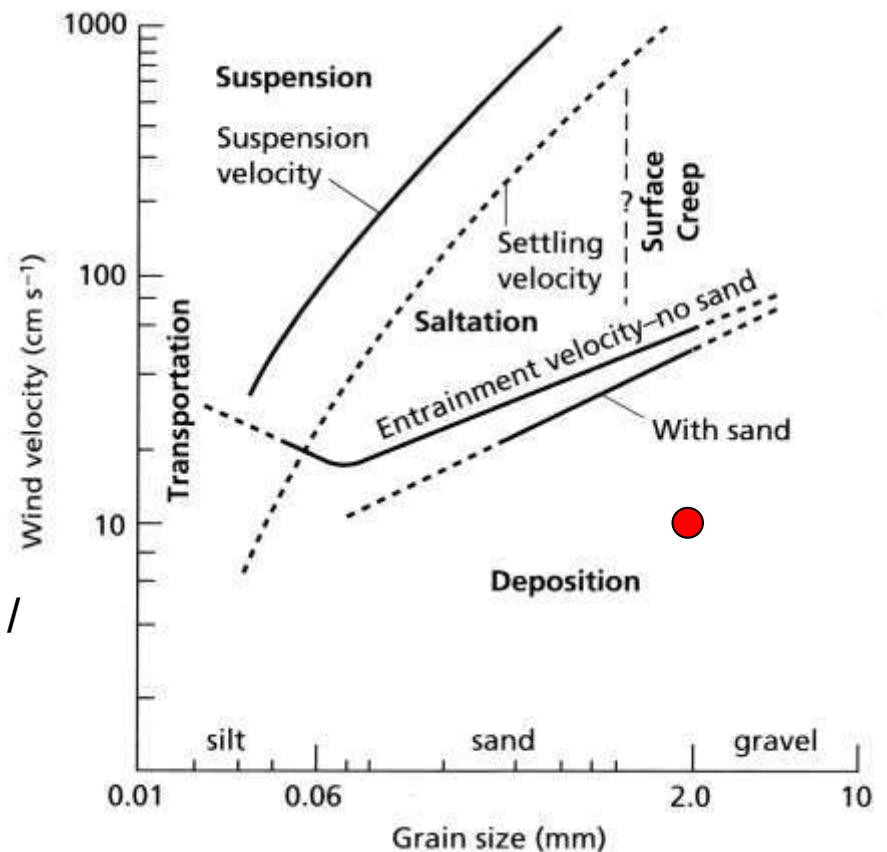


Diagramme de Hjulstrom

Relation compétence des courants (m.s^{-1}) /
taille de grains :

Milieu liquide :
Érosion, transport, dépôt

Milieu aérien :
Dépôt, transport
(reptation, saltation, suspension),

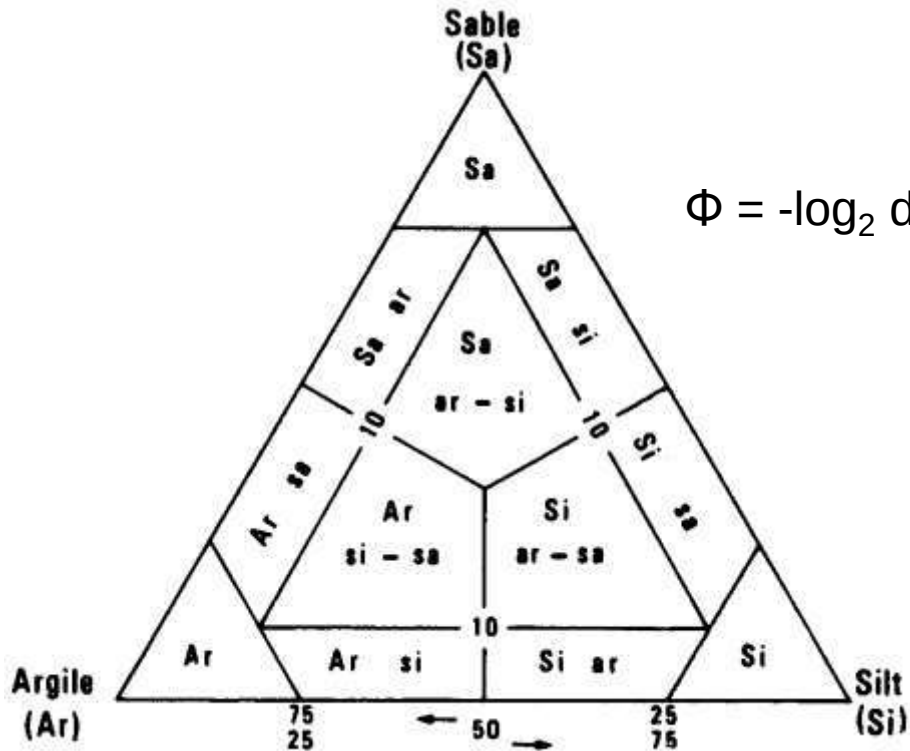


Diamètre des particules	Brongniart (1813)	Grabau (1904)	Sédiments meubles	sédiments indurés
> 2 mm	pséphite	rudite	blocs / gravier	conglomérat, brèche
de 2 mm à 62 μm	psammite	arénite	sable	grès
<62 μm	pélite	lutite	62 μm à 4 μm : silt < 4 μm : argiles	62 μm à 4 μm : siltite < 4 μm : argilite



Udden-Wentworth ▶

$$\Phi = -\log_2 d$$



Classifications et progressions granulométriques

US STANDARD		DÉNOMINATION	AFNOR		MÉTHODE D'ÉTUDE
mm	Φ		α	mm	
256	-8	BLOCS (BOULDERS)	-24	250	MESURE DIRECTE
			-23	200	
		GROS CAILLOUX (COBBLES)	-22	160	
128	-7		-21	125	
			-20	100	
			-19	80	
64	-6	GRAVEL	-18	63	
			-17	50	
			-16	40	
			-15	31,5	
32	-5	RUDITES (GRAVEL) PETITS CAILLOUX (PEBBLES)	-14	25	TAMISAGE
			-13	20	
16	-4		-12	16	
			-11	12,5	
			-10	10	
8	-3		-9	8	
			-8	6,3	
			-7	5	
4	-2		-6	4	
	(etc)		-5	3,15	
2	-1	GRANULES	-4	2,5	TAMISAGE
			-3	2	
{ 1,68 }	{ -0,75 }	SABLE ARENITES (SAND)	-2	1,6	
{ 1,41 }	{ -0,5 }		-1	1,25	
{ 1,19 }	{ -0,25 }		0	1	
{ 0,84 }	{ 0,25 }		1	0,8	
{ 0,71 }	{ 0,5 }		2	0,63	
{ 0,59 }	{ 0,75 }		3	0,5	
0,5	1		4	0,4	
	(etc)		5	0,315	
0,25	2		6	0,25	
			7	0,2	
0,125	3	SILT	8	0,16	TAMISAGE
			9	0,125	
0,0625	4		10	0,1	
			11	0,08	
			12	0,063	
			13	0,050	
0,0312	5		14	0,040	
			15	0,031	
0,0156	6		16	0,025	
			17	0,020	
		PELITES (boue = mud)	18	0,016	SÉDIMENTATION
0,0078	7		19	0,0125	
			20	0,0100	
0,0039	8		21	0,008	
			22	0,0063	
			23	0,005	
0,0020	9		24	0,004	
			25	0,0031	
0,00098	10		26	0,0025	
			27	0,002	
		ARTICLE (CLAY)	28	0,0016	
			29	0,00125	
			30	0,001	
			31	0,0008	



Tamissage mécanique

Mesure de la granulométrie d'un sédiment sur des tamis inox aux normes " AFNOR NFX 11 504 ", par vibration.

Possibilité de récupération de 15 fractions granulométriques ou plus sur différents tamis :

Mode opératoire de la mesure :

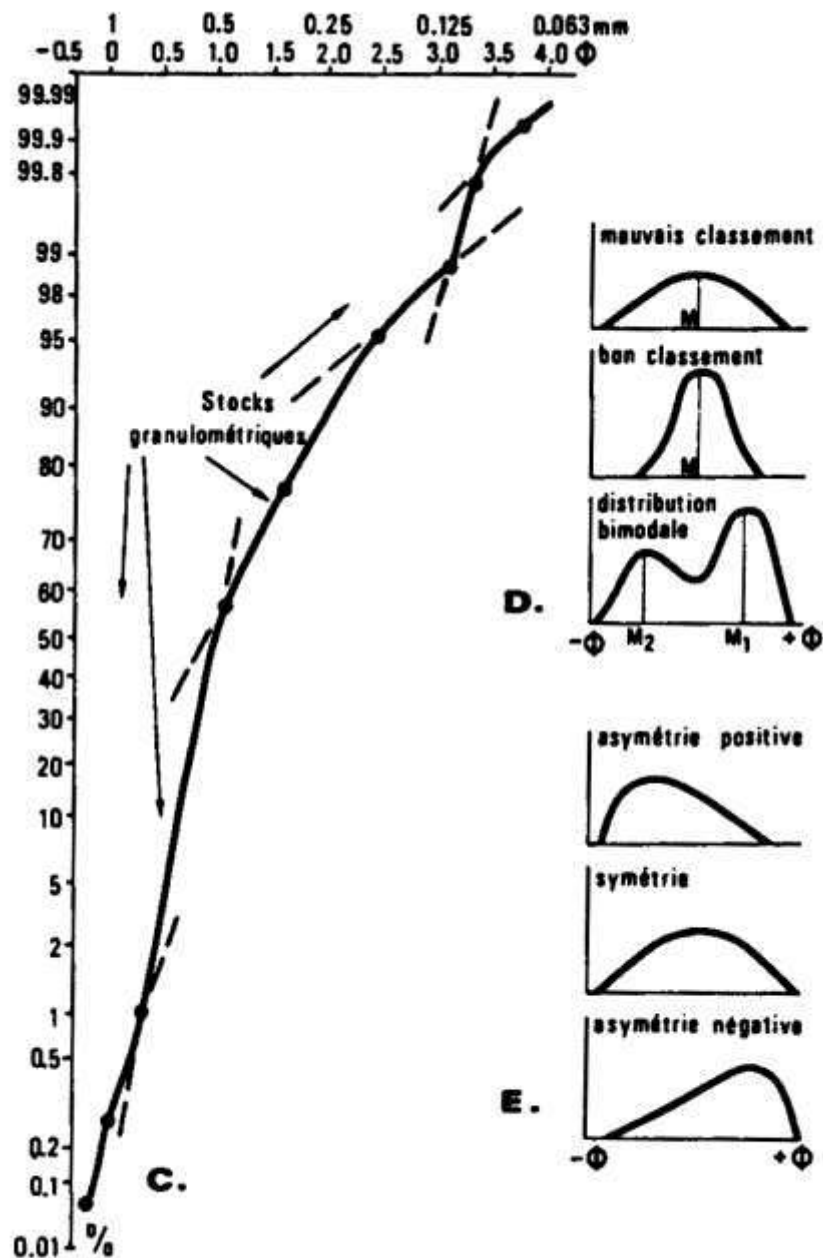
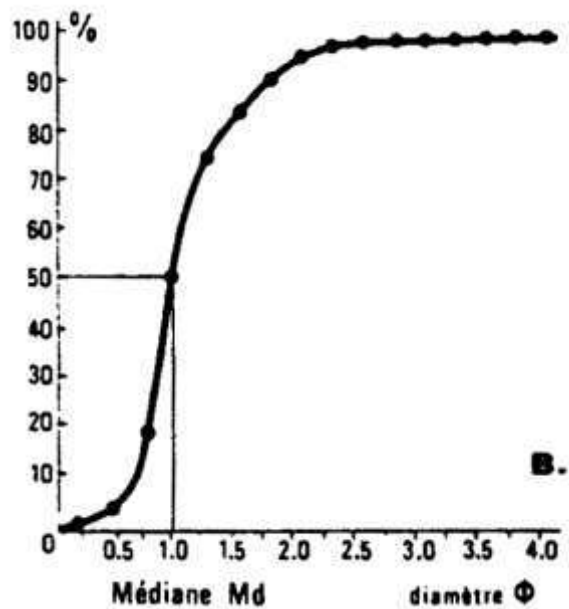
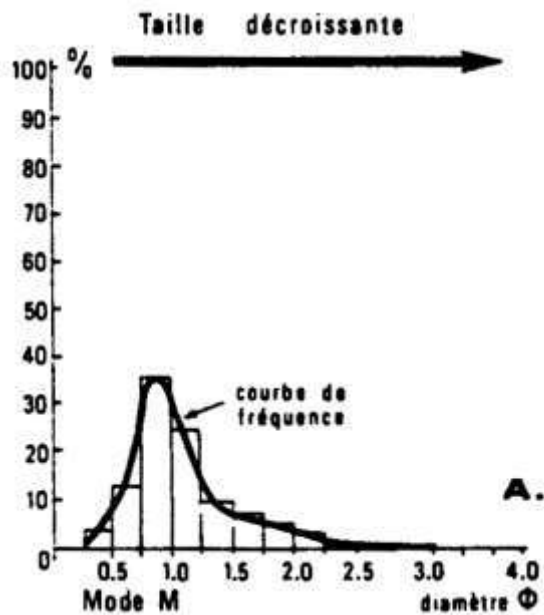
A partir d'un poids de départ de sédiment sec, récupération et pesée après vibration de 20mn, du refus de chaque tamis .

Calcul automatique sur un logiciel adapté des différents paramètres granulométriques :

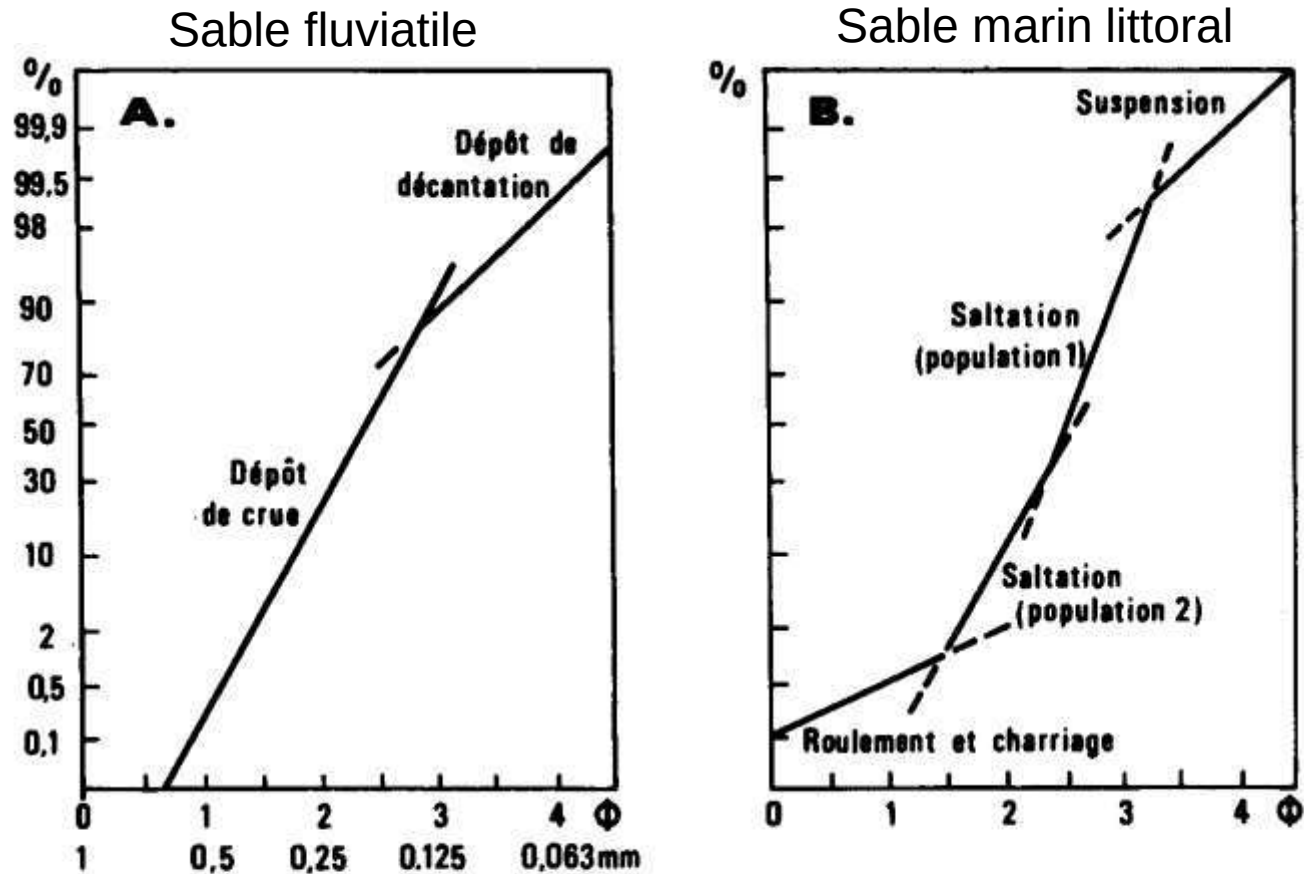
Microgranulométrie : diffractomètre laser



- Mesure de la granulométrie des particules par diffraction et diffusion laser
- particules entre $0.05\ \mu\text{m}$ et $600\ \mu\text{m}$.
- Méthode rapide, grande quantité d'échantillons analysés, excellente reproductibilité
- Principe : Les particules passant dans un faisceau laser vont provoquer une déviation d'une certaine quantité de lumière selon des angles inversement proportionnels à la taille des particules. La quantité de lumière déviée est, quand à elle, proportionnelle à la taille des particules et à leur concentration.

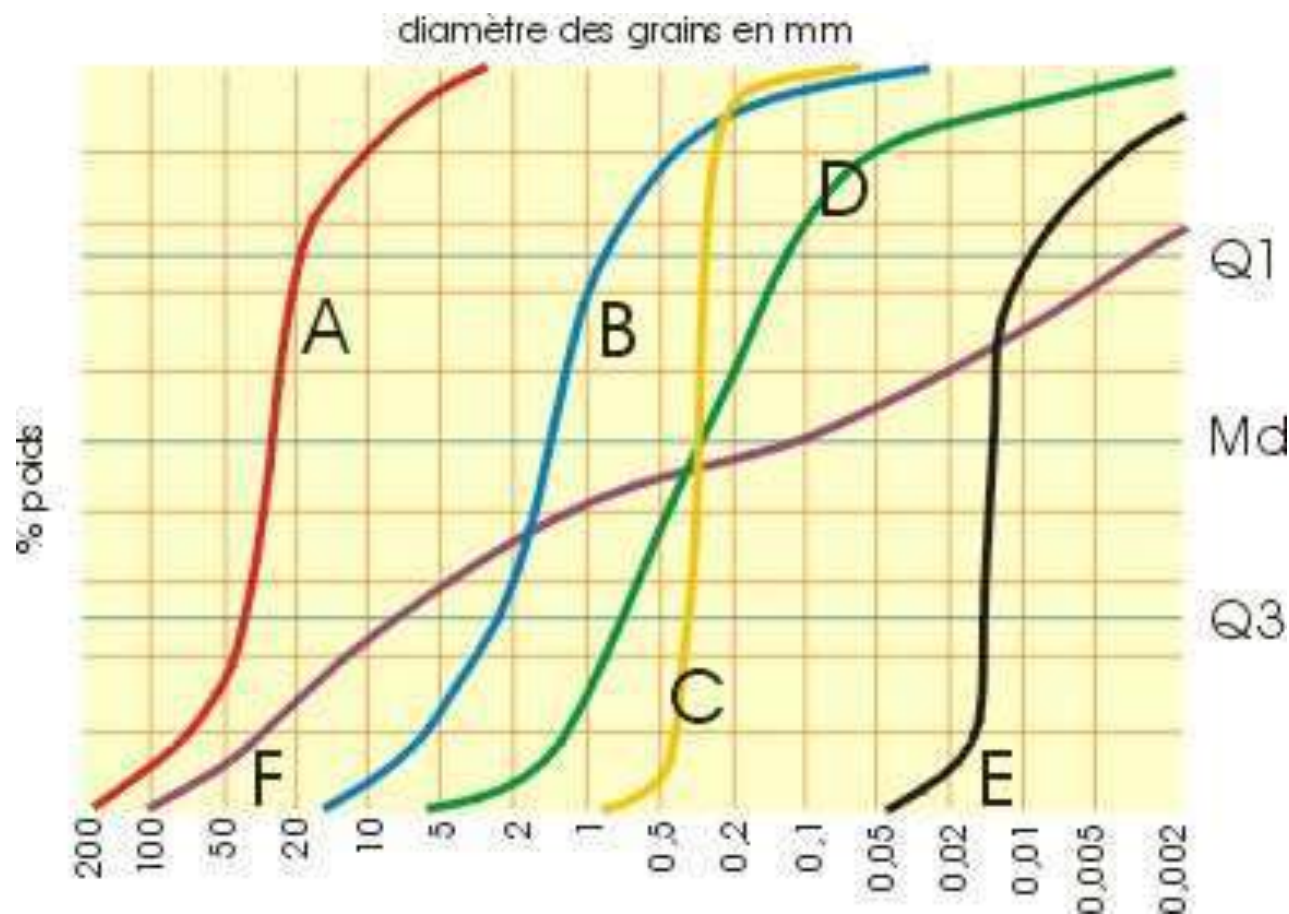


Mise en évidence d'environnement de dépôts différents à partir des stocks granulométriques



Courbes granulométriques cumulatives, à ordonnées de probabilité pour :
A. un sable fluviatile; B. un sable marin littoral (d'après Visser, *in* Friedman et Sanders, 1978).

Exemples de courbes granulométriques cumulatives de quelques sédiments



A: gravier fluviatile; B: gravier fluviatile 2; C: sable marin côtier; D: sable fluviatile; E: loess; F: argile à blocs.

La **médiane** (*median*) = taille égale à 50% de la masse cumulée des grains

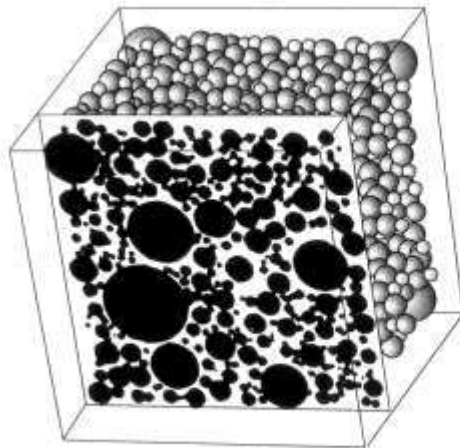
Le **Grain moyen** ou **moyenne** (*Mean*) (Folk 1974):

$$\mu_z = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})/3 \quad \text{ou} \quad (q_{25} + q_{75})/2$$

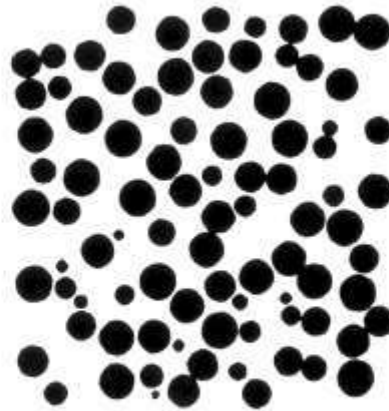
Classement (*sorting*):

$\phi_i = (\phi_{84} - \phi_{16})/4 + (\phi_{95} - \phi_5)/6.6$	$0 < \phi_i < 0.35$	très bien classé
	$0.35 < \phi_i < 0.50$	bien classé
	$0.50 < \phi_i < 0.71$	assez bien classé
	$0.71 < \phi_i < 1.00$	moyennement classé
	$1.00 < \phi_i < 2.00$	médiocrement classé
	$2.00 < \phi_i < 4.00$	très mal classé

Comparaisons visuelles 2D ou 3D du classement en LM (Jerram, 2001)

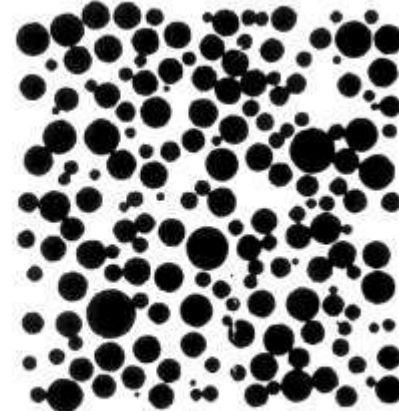


3-D dataset



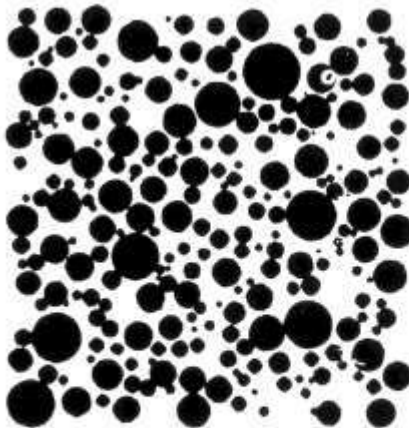
Very well sorted

$\phi = 0.0$



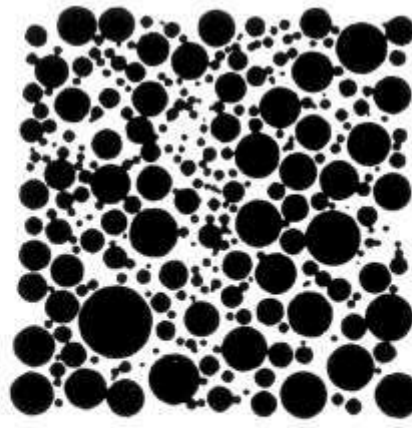
Well sorted

$\phi = 0.36$



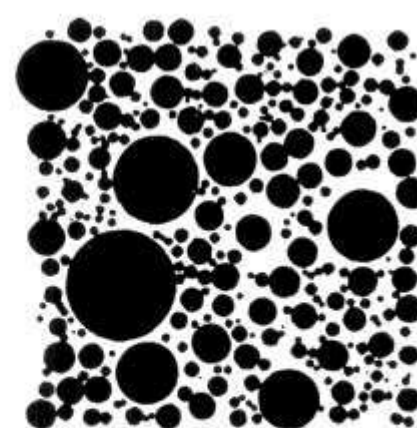
Moderately well sorted

$\phi = 0.67$



Moderately sorted

$\phi = 0.74$



Poorly sorted

$\phi = 1.15$

La **médiane (*median*)** = taille égale à 50% de la masse cumulée des grains

Le **Grain moyen** ou **moyenne (*Mean*)** (Folk 1974):

$$\mu_z = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})/3 \quad \text{ou} \quad (q_{25} + q_{75})/2$$

Classement (*sorting*):

	$0 < \phi_i < 0.35$	très bien classé
	$0.35 < \phi_i < 0.50$	bien classé
$\phi_i = (\phi_{84} - \phi_{16})/4 + (\phi_{95} - \phi_5)/6.6$	$0.50 < \phi_i < 0.71$	assez bien classé
	$0.71 < \phi_i < 1.00$	moyennement classé
	$1.00 < \phi_i < 2.00$	médiocrement classé
	$2.00 < \phi_i < 4.00$	très mal classé

L'Asymétrie ou coefficient de dissymétrie (*skewness*) :

$$ski = \frac{(\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{(\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

+ 1 > ski > +0.1 asymétrie vers les petites tailles (forte si >0.3)

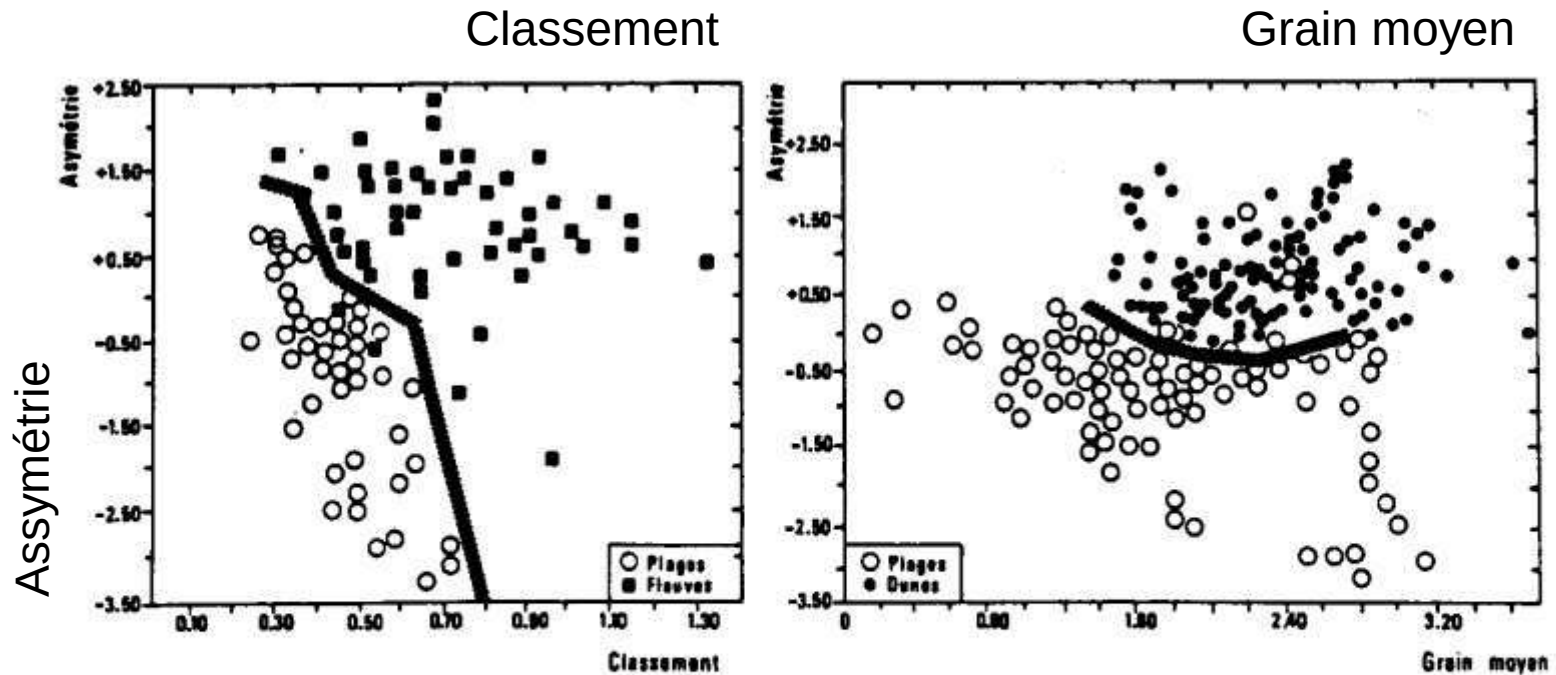
entre 0.1 et -0.1 symétrie de l'échantillon

-0.1 > ski > -1 asymétrie vers les grandes tailles (forte si >0.3)

Le coefficient d'acuité (K *kurtosis*) :

$$(\phi_{95} - \phi_5) / 2.44(\phi_{75} - \phi_{25})$$

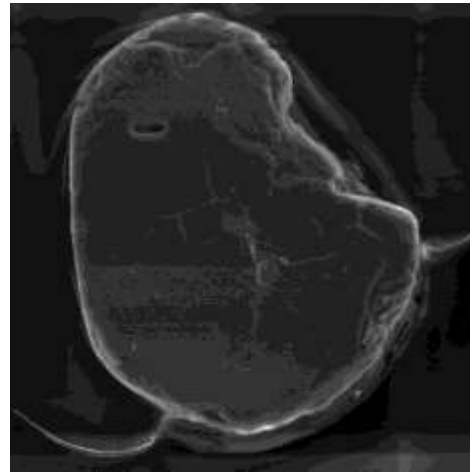
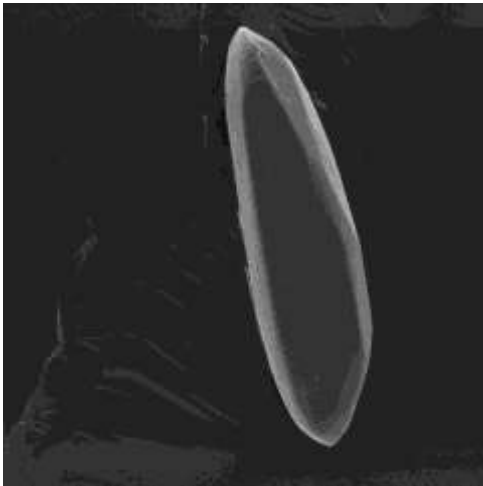
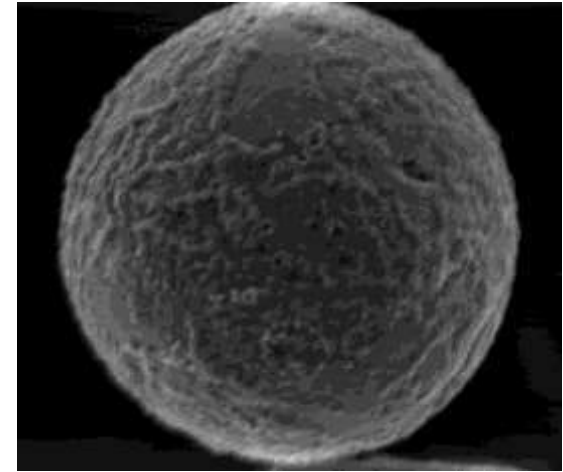
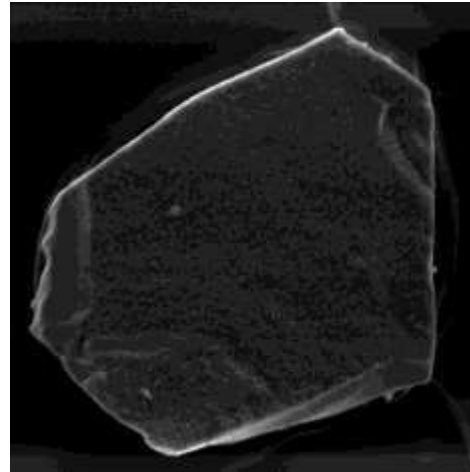
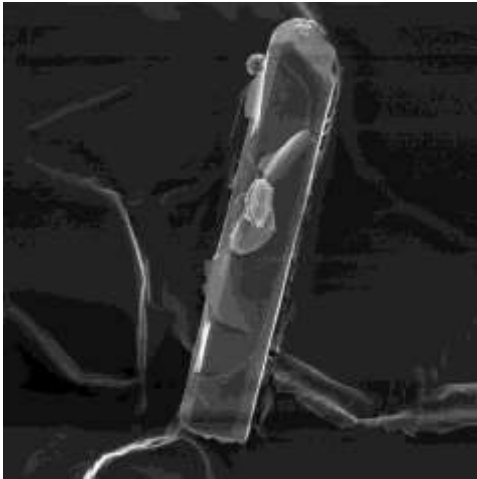
Utilisation des différents paramètres de distribution
pour l'interprétation des environnements de dépôts: plage, dune, fleuve



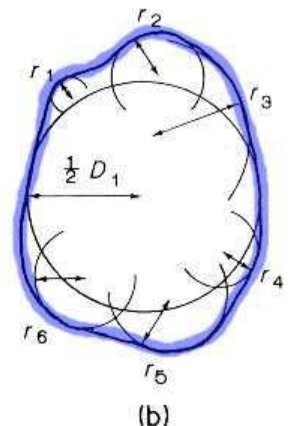
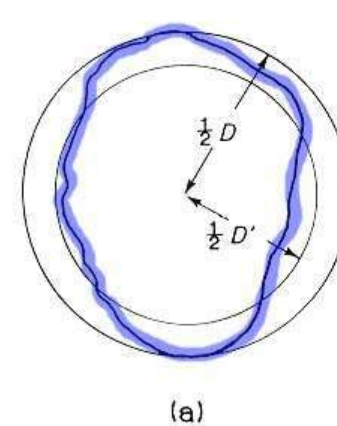
Relations entre les paramètres de distribution granulométrique de sédiments de plages, de dunes et de chenaux de fleuves (unités ϕ) (d'après Friedman, 1961; J. Sed. Petr. 31: 514).

Formes

émoussé

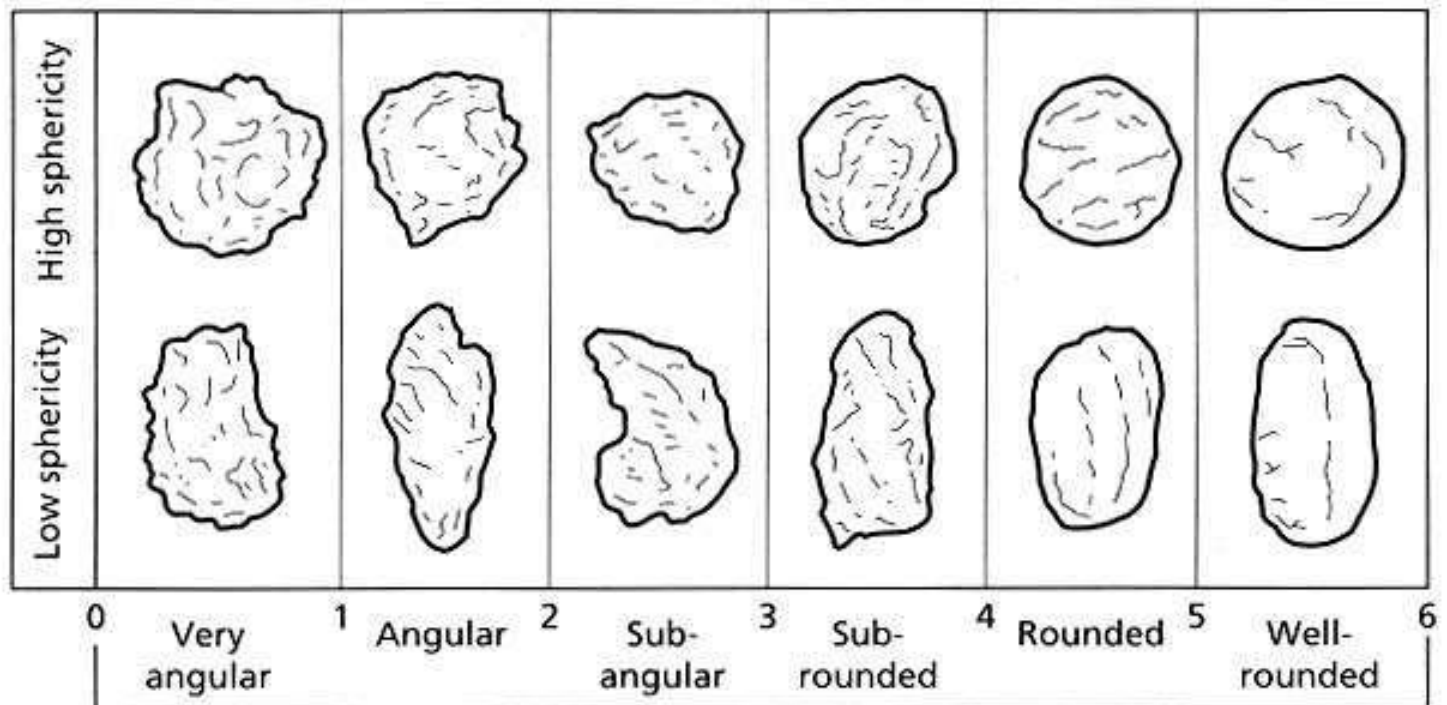
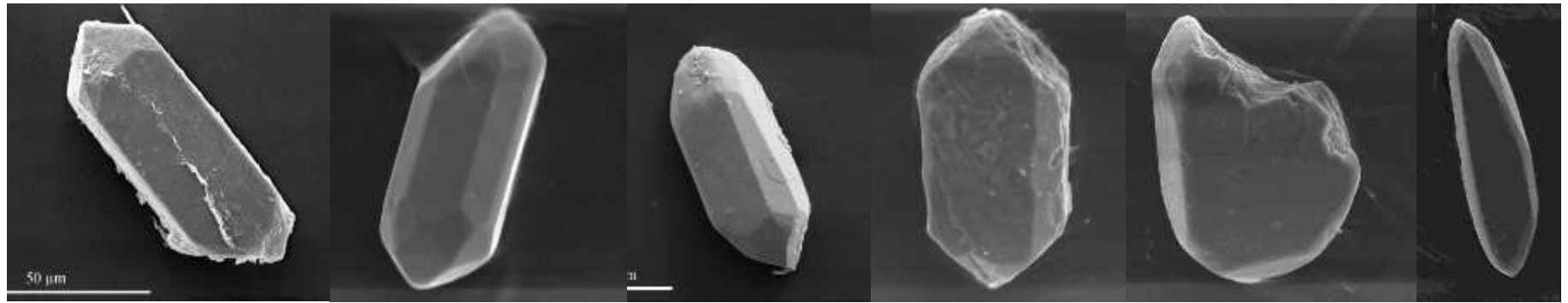


Indice de sphéricité



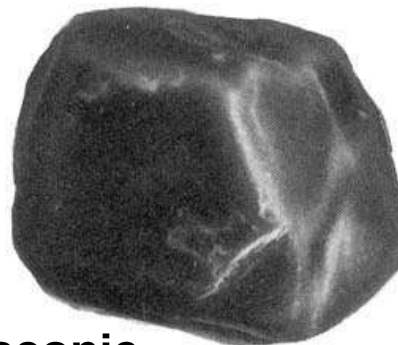
Indice d'émoussé

Morphométrie



Grains non usés (NU)

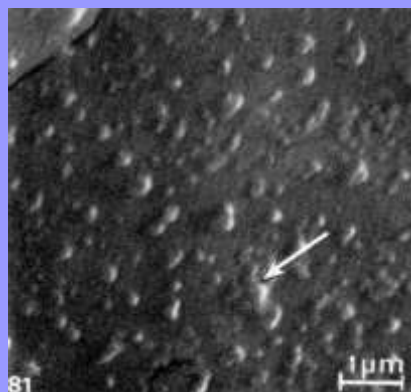
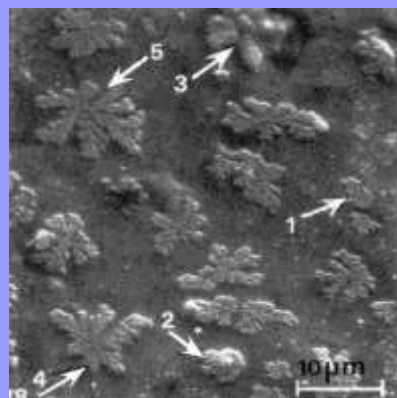
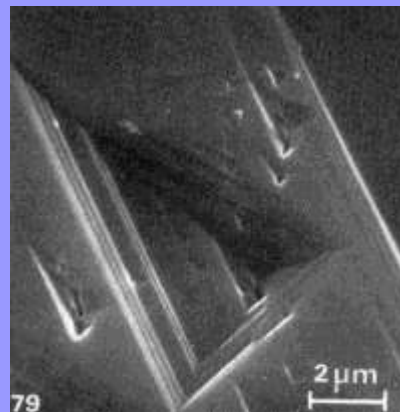
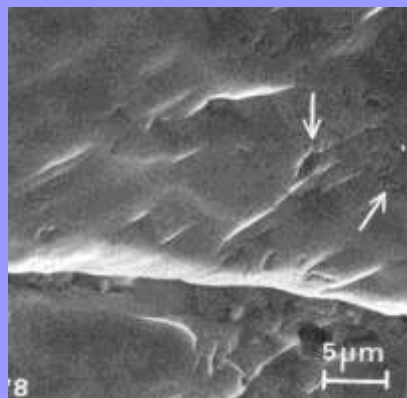
Grain émoussé luisant (EL)



Morphoscopie

Grains rond mat (RM)

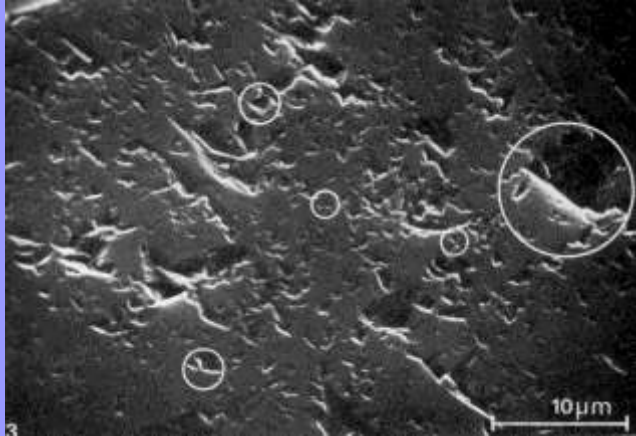
Figures de dissolution



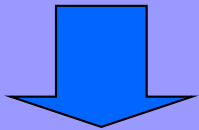
Précipitation de silice

Exoscopie

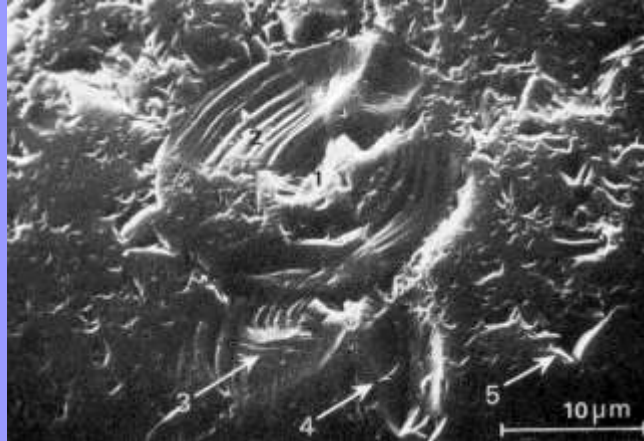
EXOSCOPIE : traces d'actions mécaniques



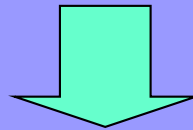
Traces en « V »



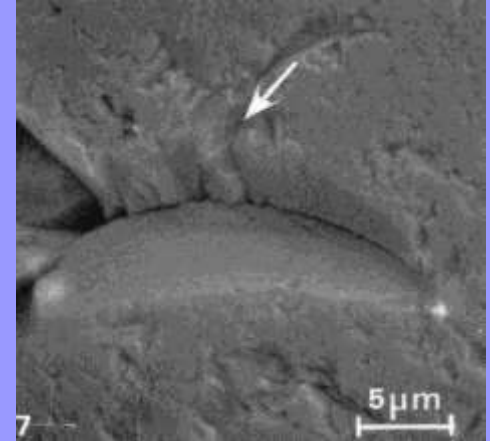
MILIEU MARIN



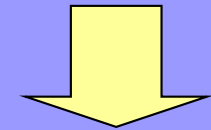
Traces de broyage et cisaillement



ORIGINE GLACIAIRE



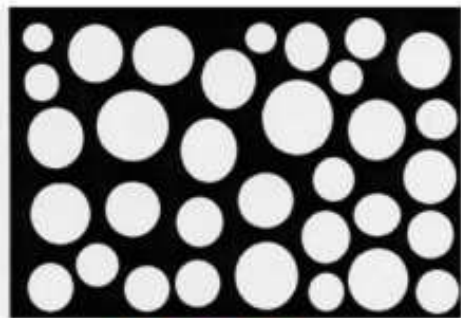
Croissant de choc



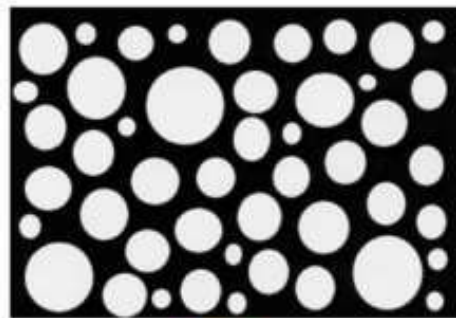
ORIGINE EOLIENNE

1.3 – Fabrique texturale

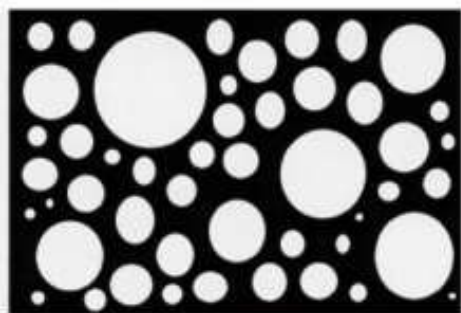
classement



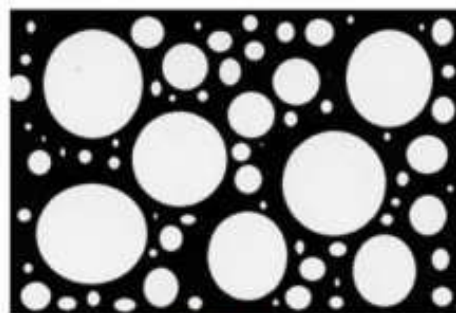
très bon



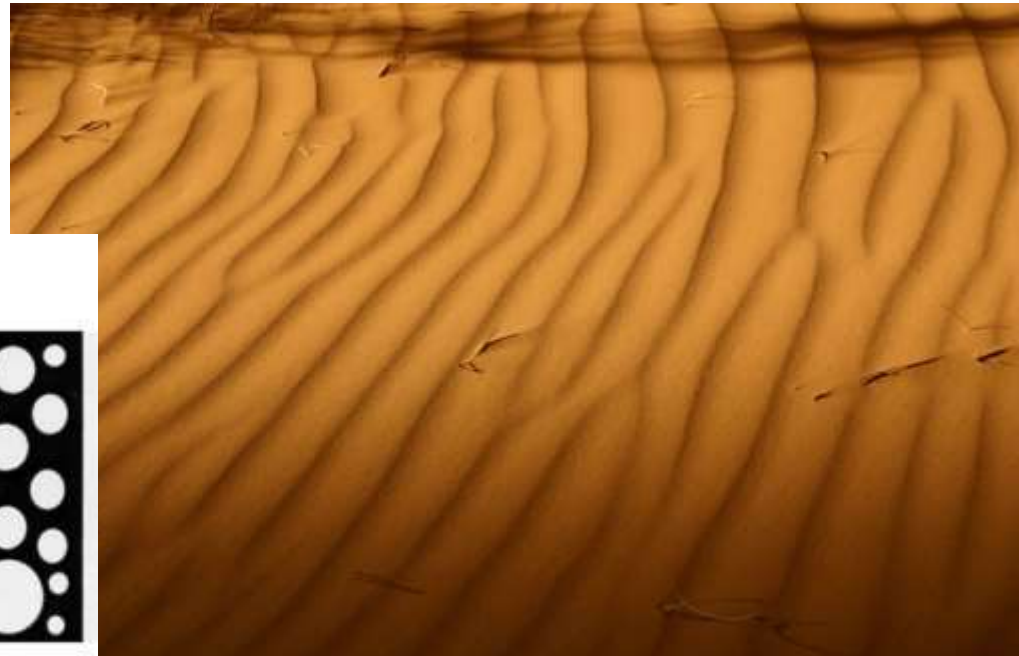
bon



modéré



faible





Grés à litage plan

Fabrique sédimentaire (mécanique) :

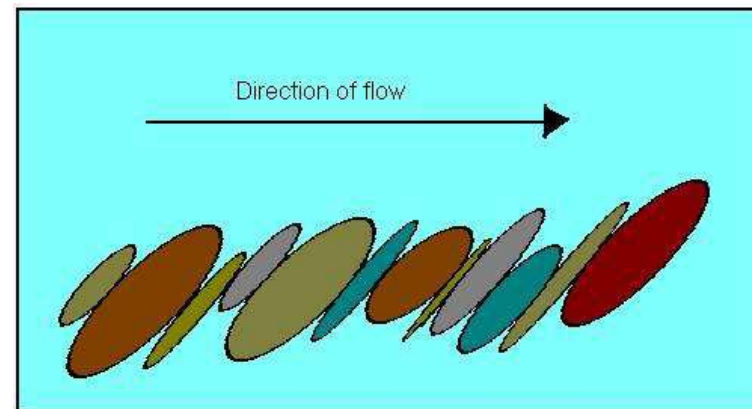
Ex : figures sédimentaires



Stratifications planes sur une plage Actuel,
Santa Cruz, Californie, USA

Fabrique sédimentaire :

Ex : imbrication de galets = analyse des paléocourants

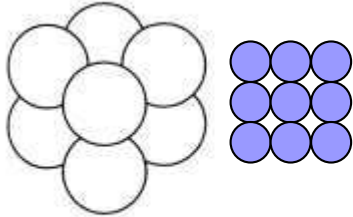


La fabrique d'origine biologique : la bioturbation

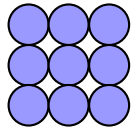




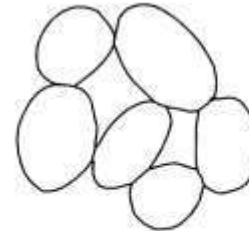
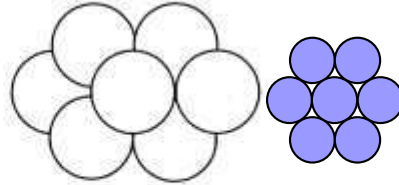
Fabrique texturale liée à la disposition des grains



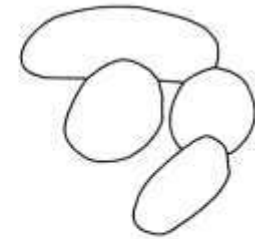
Assemblage cubique
(porosité max 48%)



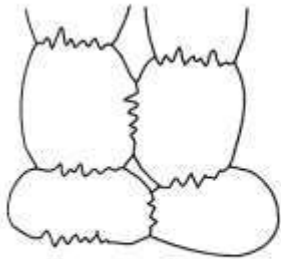
Assemblage rhomboédrique
(porosité max 26%)



Contact par point



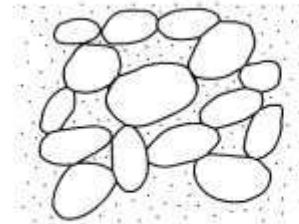
Contact concavo-convex
(grains impressionnés,
interpénétration)



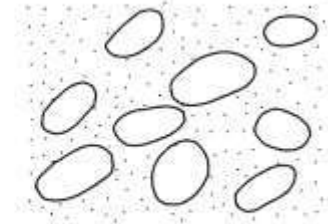
Contact par suture
(diagenèse)



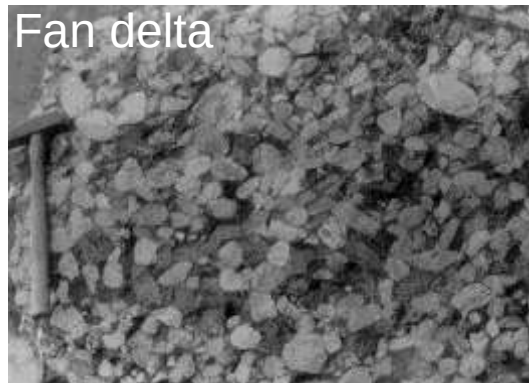
Orientation des grains



Fabrique à support
par grains



Fabrique à support
par matrice

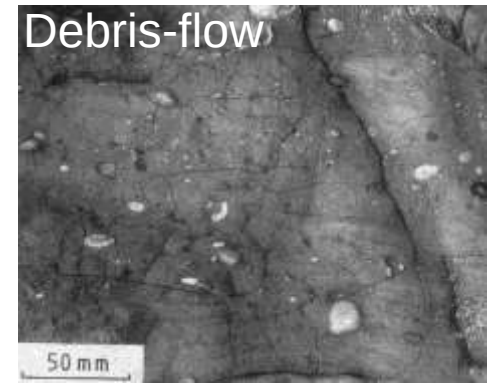


Fan delta

orthoconglomérat



paraconglomérat

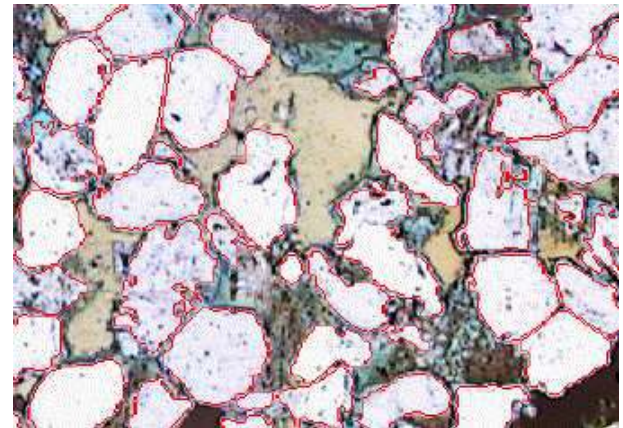


Debris-flow

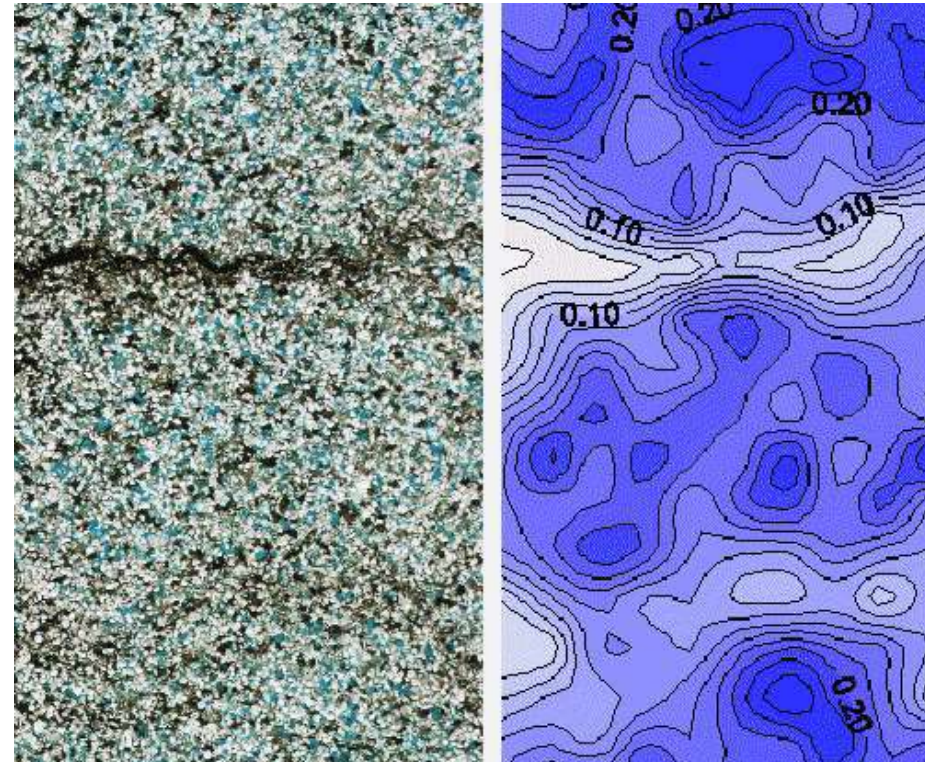
50 mm



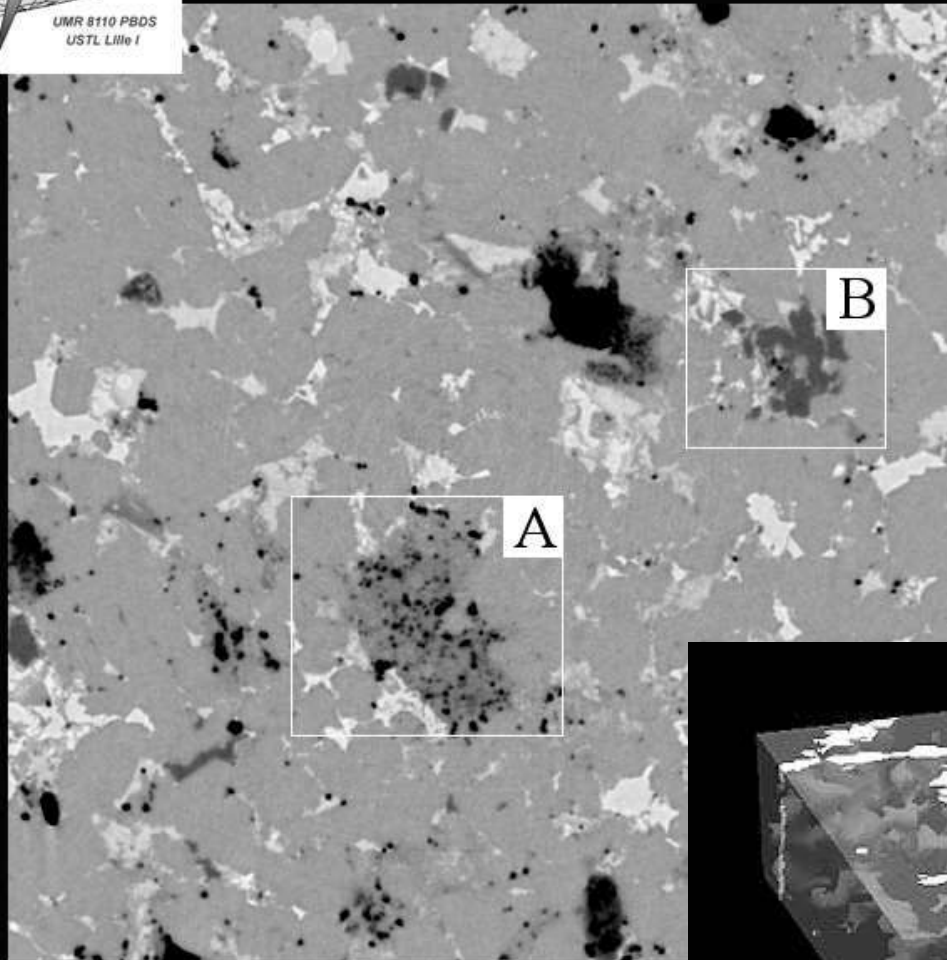
Contourage de grains



Coloration, analyse d'image, porosité



Imagerie par microtomographie

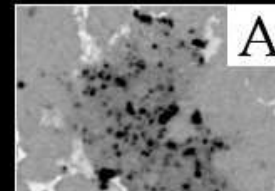


Légende

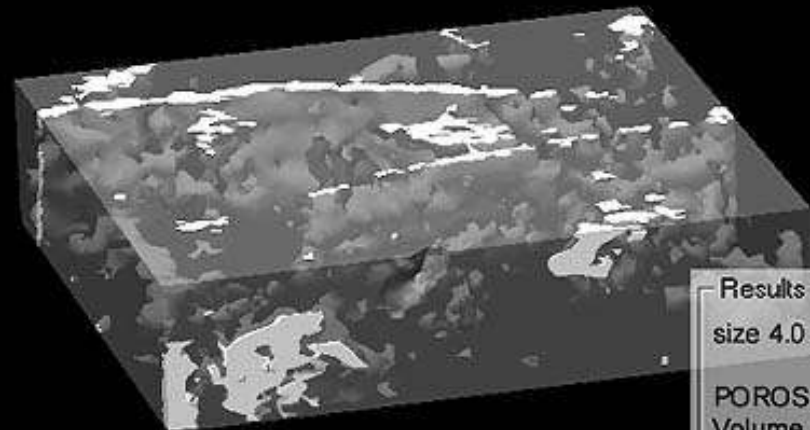
600 μ m

+ Atténuation (RX)

- Vides ou argiles
- Grains de quartz ou feldspath
- Ciment calcitique
- Pyrite ou autres oxydes



Groupe de grains de pyrite



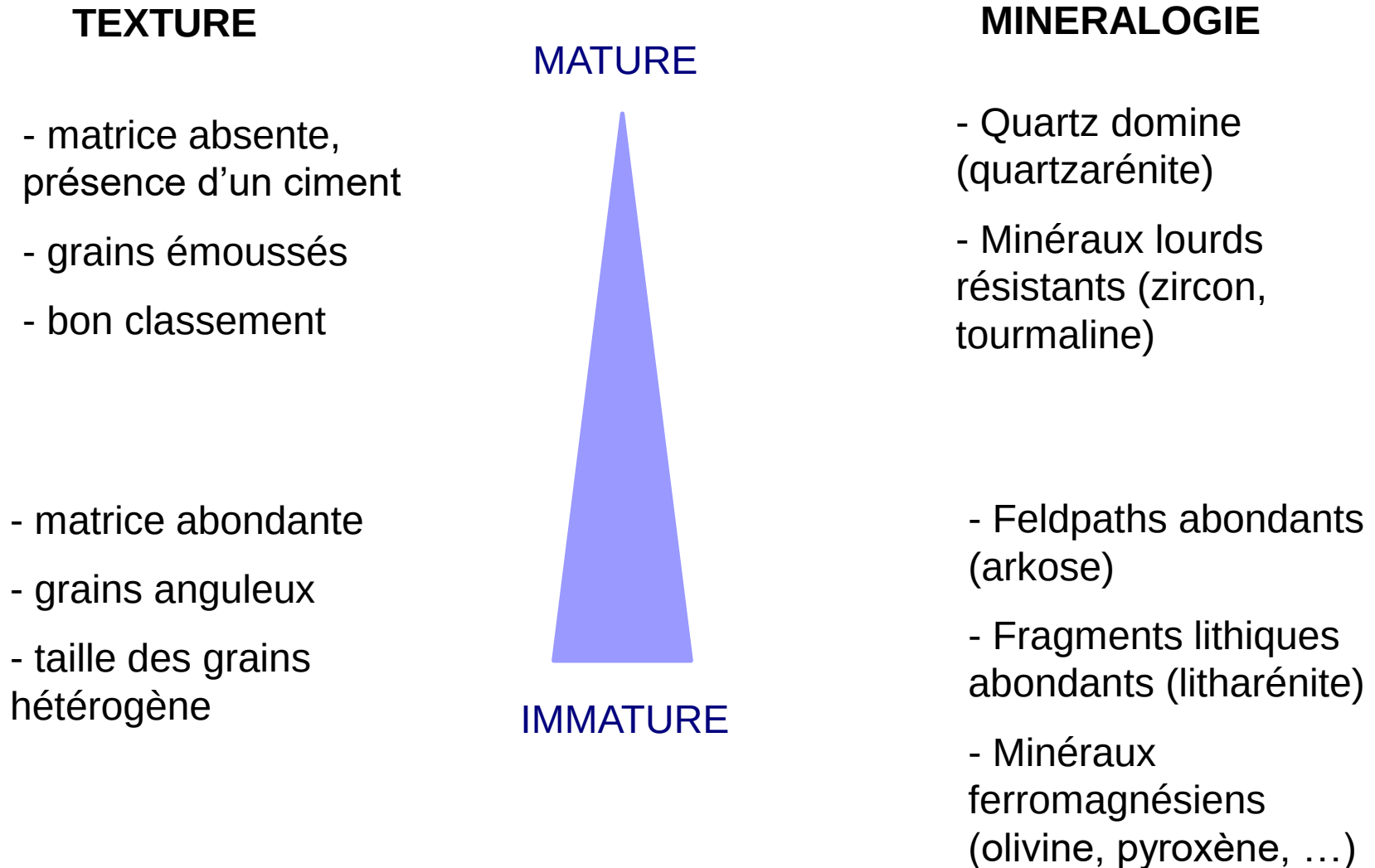
Results 3D

size 4.0 x 3.0 x 1.0 mm

POROSITY:
Volume Fraction: 2.8%

WHITE:
Volume Fraction: 10.8%

La maturité d'une roche détritique



Quartz + zircon + tourmaline

chert + silex ...

muscovite

microcline

orthoclase

plagioclase

hornblende + biotite

pyroxène

olivine

Verres volcaniques

+

RESISTANCE

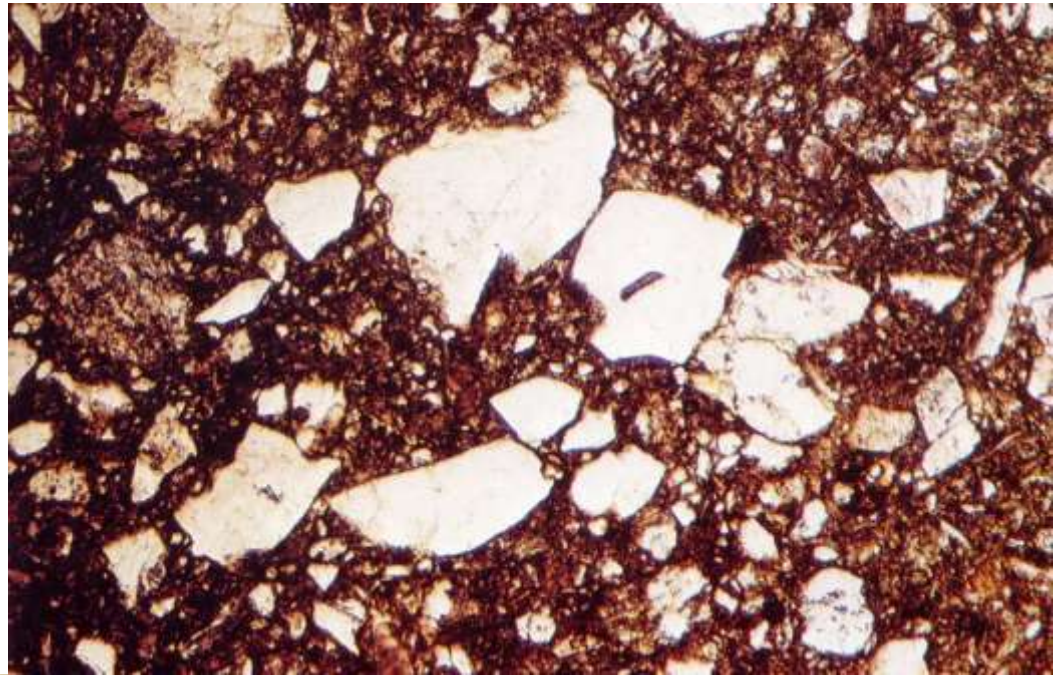
-

Phases minérales stables
et résistante à l'altération
chimique et mécanique

Phases minérales instables
facilement altérables
chimiquement et
mécaniquement

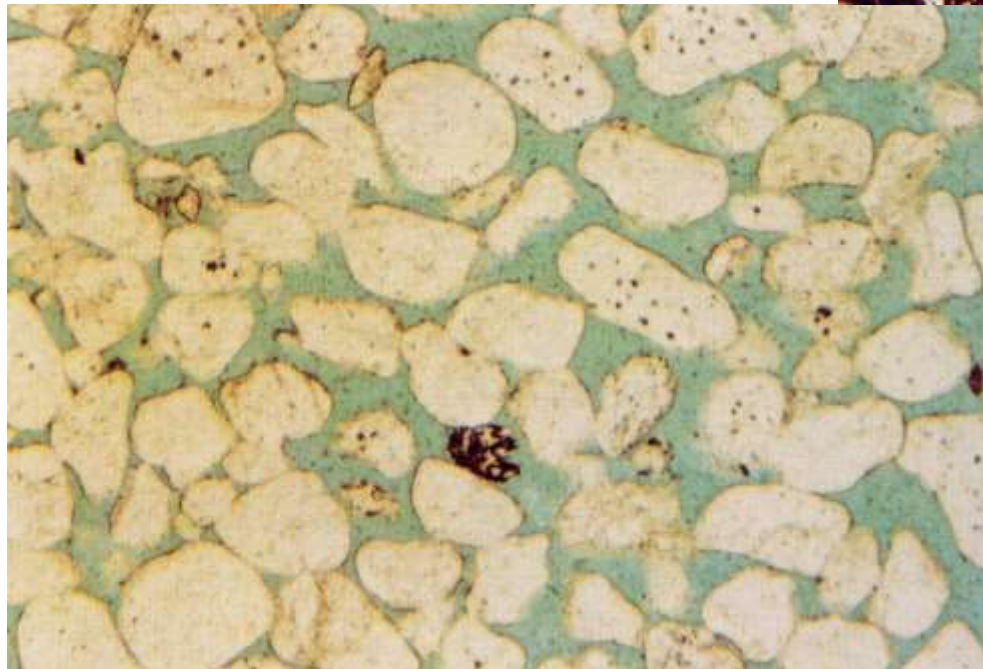
Roche immature
(phyllarénite, Pennsylvanien,
Allemagne)

- > 5% matrice argileuse
- mauvais classement
- grains anguleux



Quartzarénite supermature
(Jurassic, Utah)

- <5% matrice
- très bon classement
- degré émoussé important

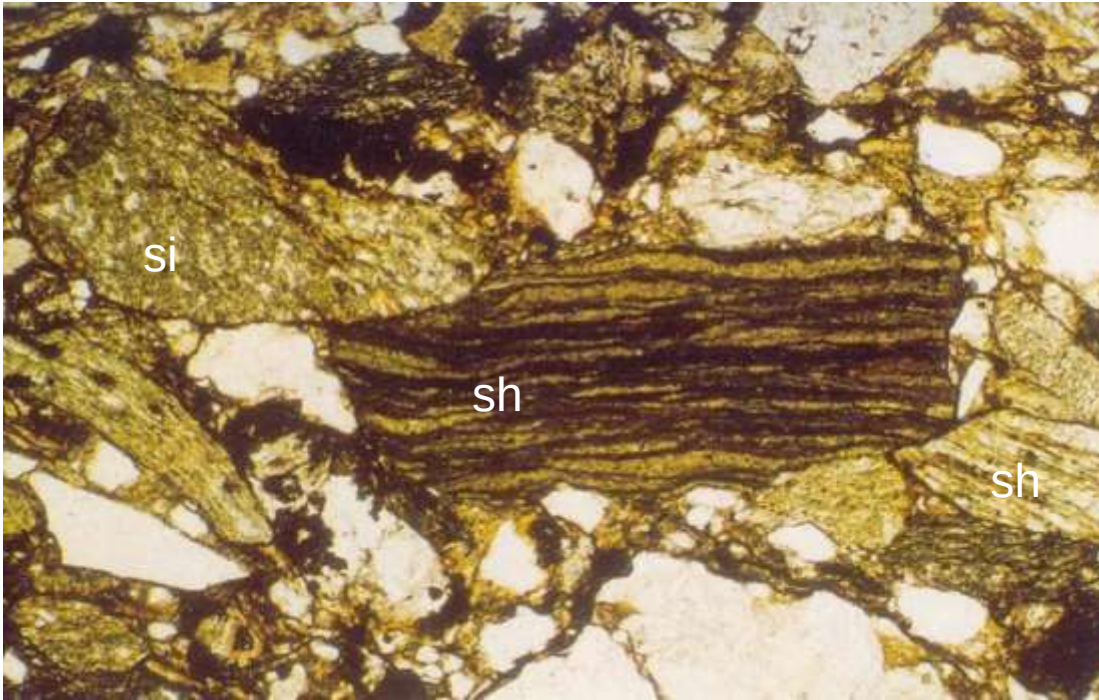


1.5 – Nature des grains et des ciments

Fragments lithiques

1) Origine sédimentaire

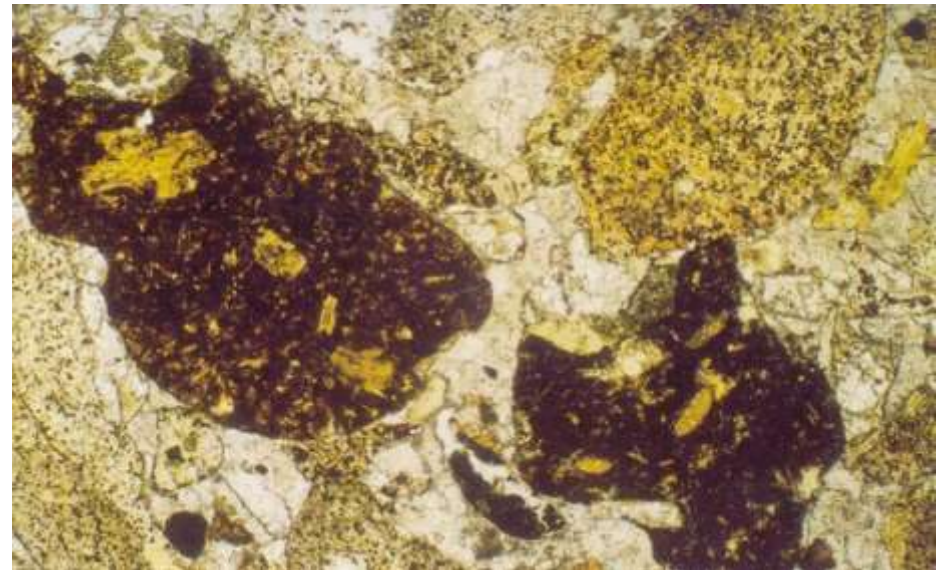
Sable fluviatile, Carbonifère, Espagne



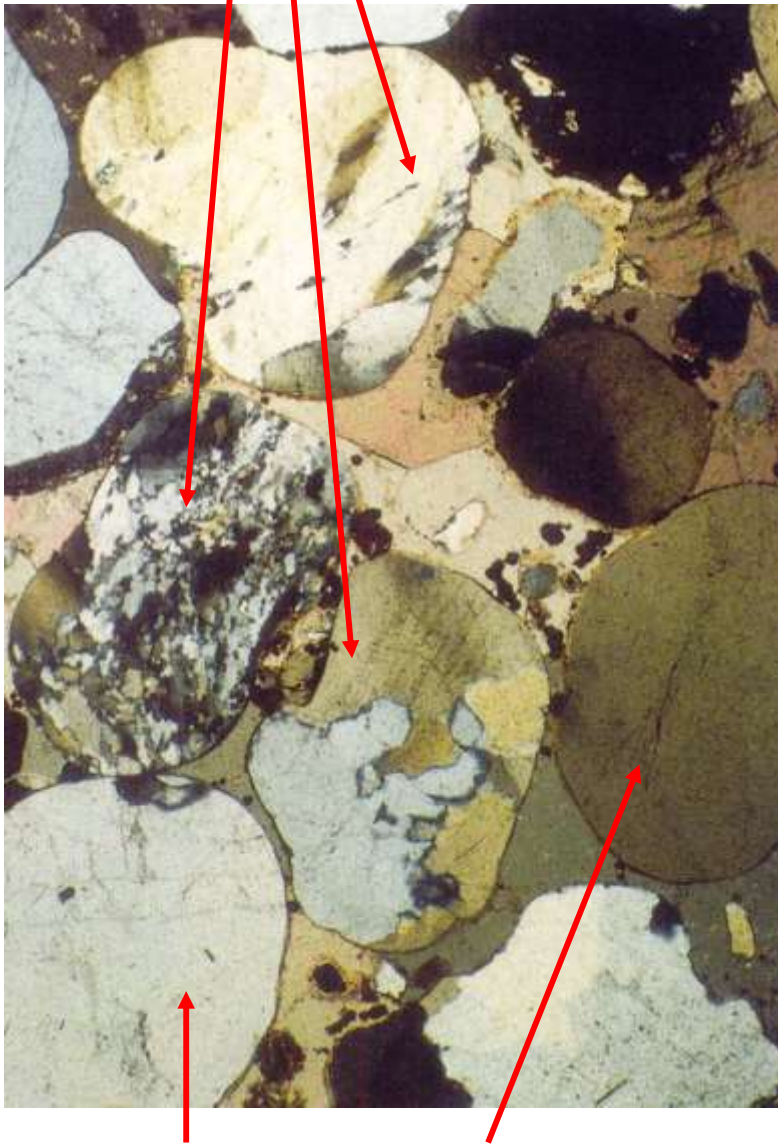
2) Origine volcanique

Fragments lithiques de roches mafiques (plagioclases)

Sable triasique, Dolomites

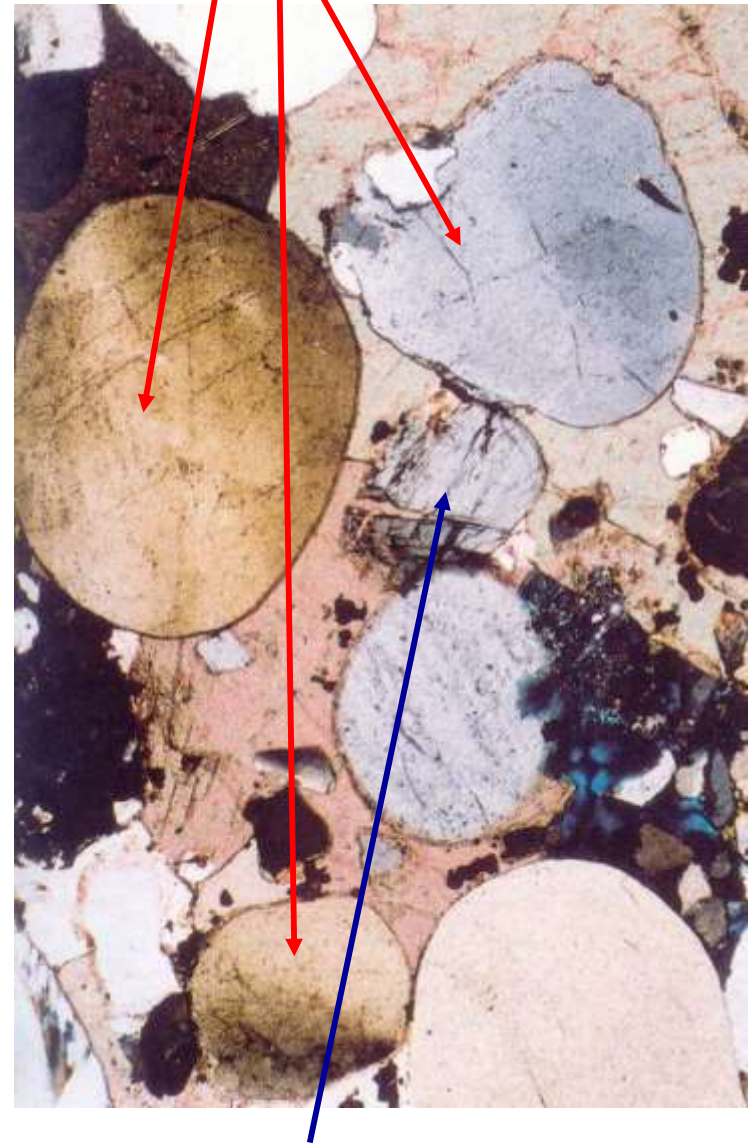


Quartz polycrystallins (Qp)



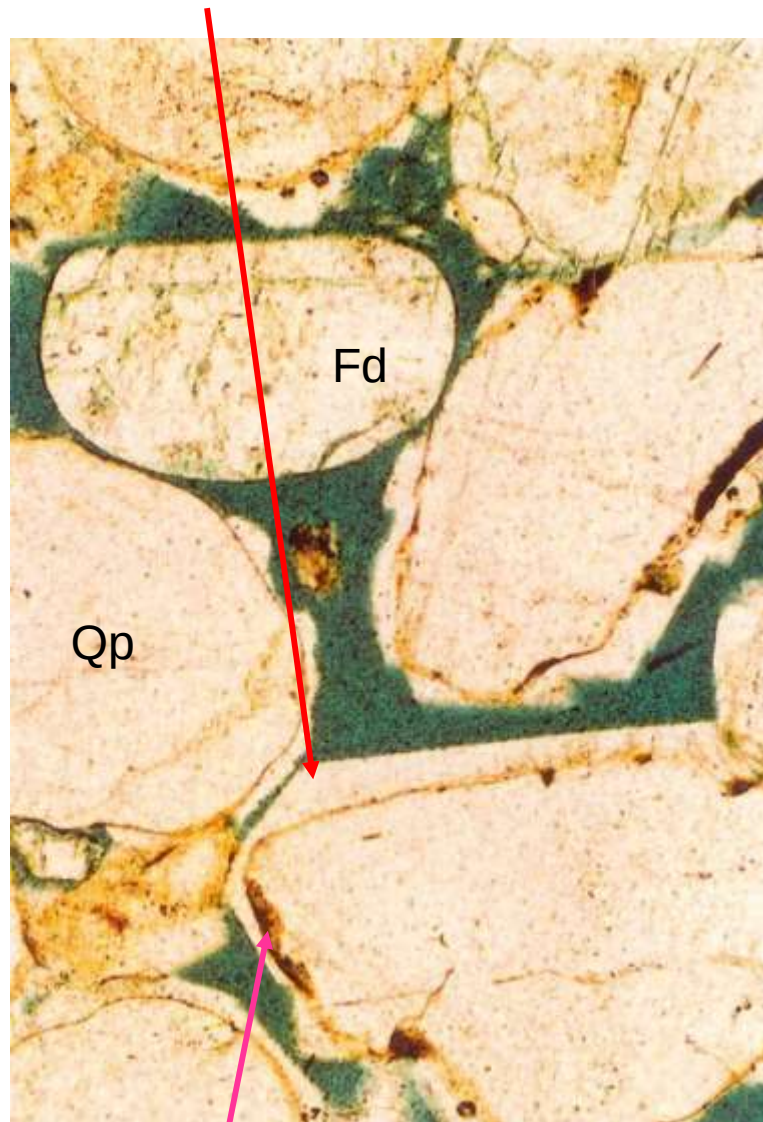
Quartz monocrystallin ext. Unique (Qm EU)

Quartz ext. Roulante (Qm ER)

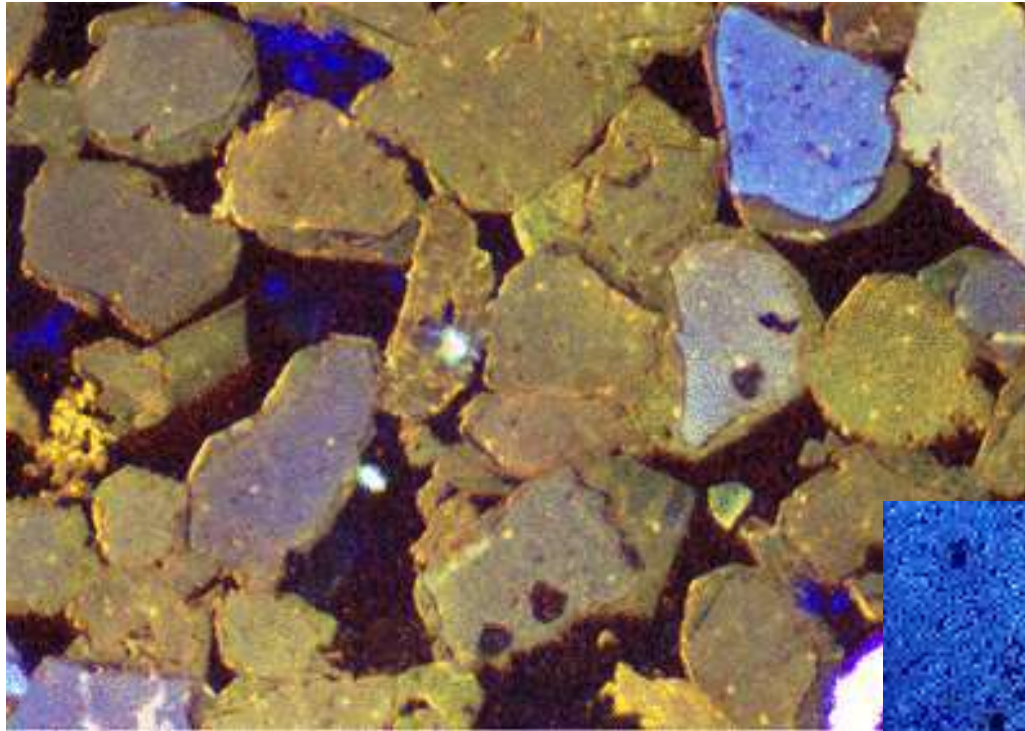


Feldspath (Fd)

Surcroissance de quartz sur des grains de quartz



Liseré d'hématite

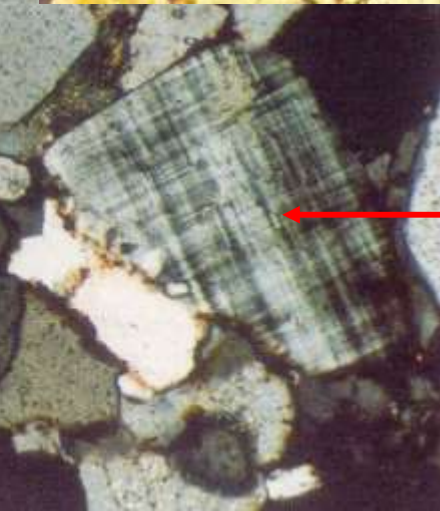
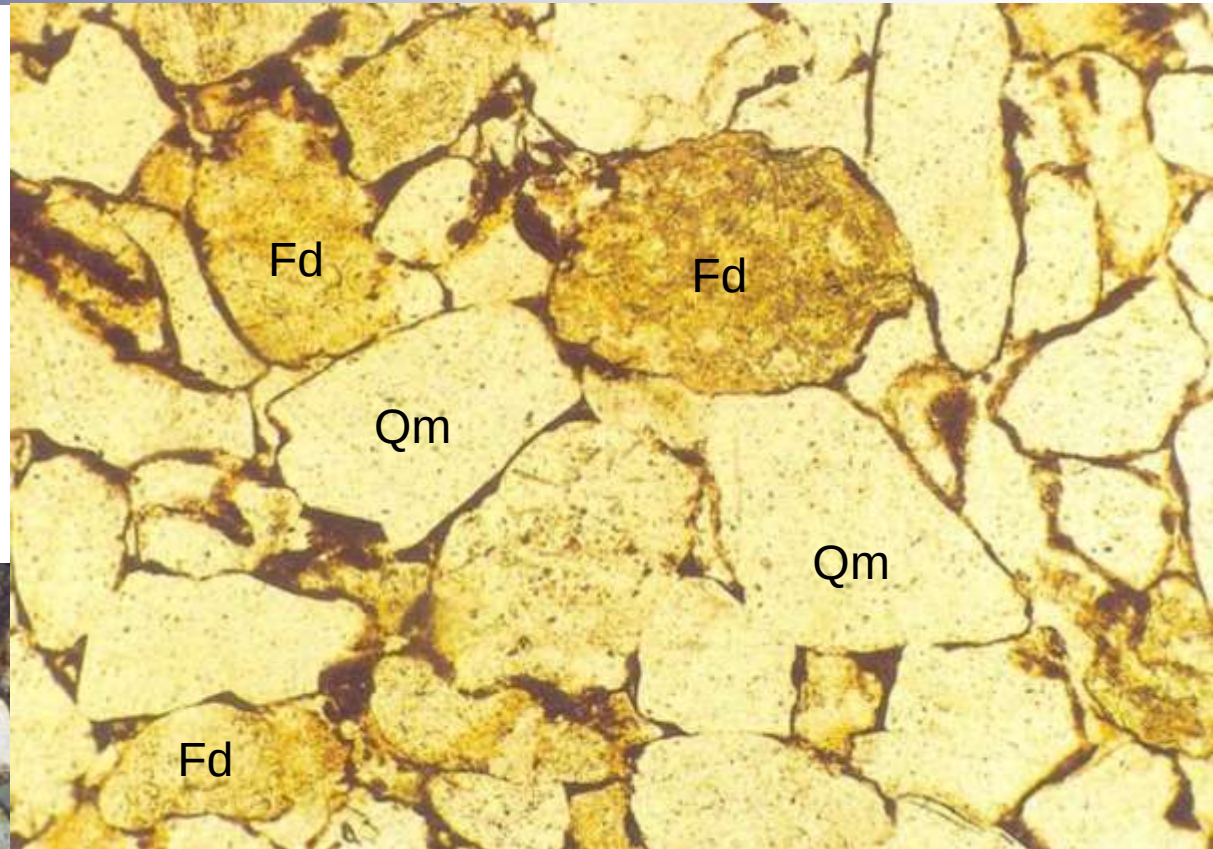
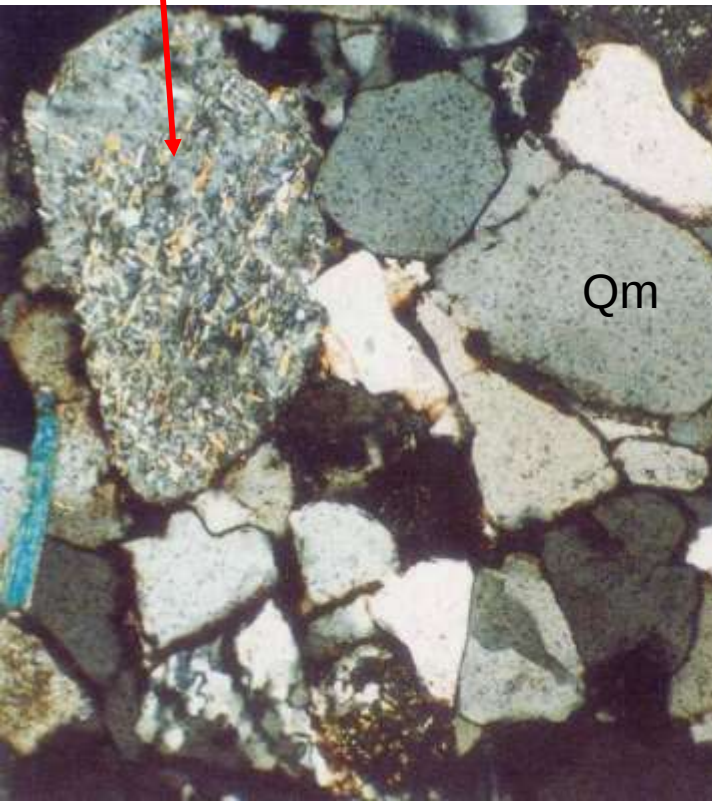


Observation des zones de
croissance des quartz par
cathodoluminescence



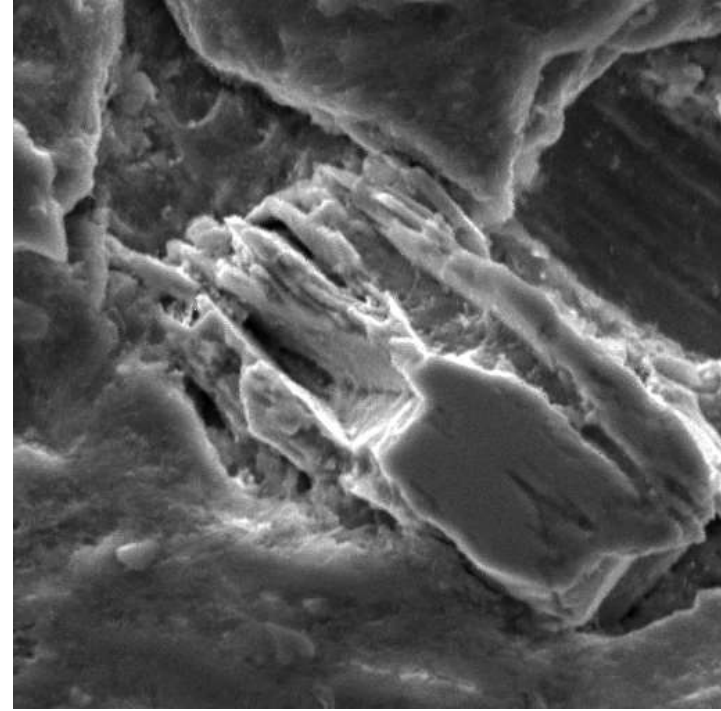
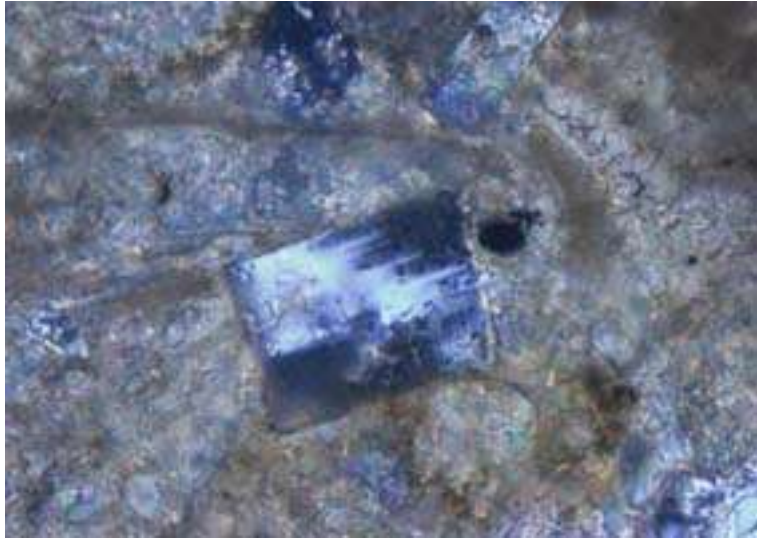
Feldspaths

Feuillets de damourite

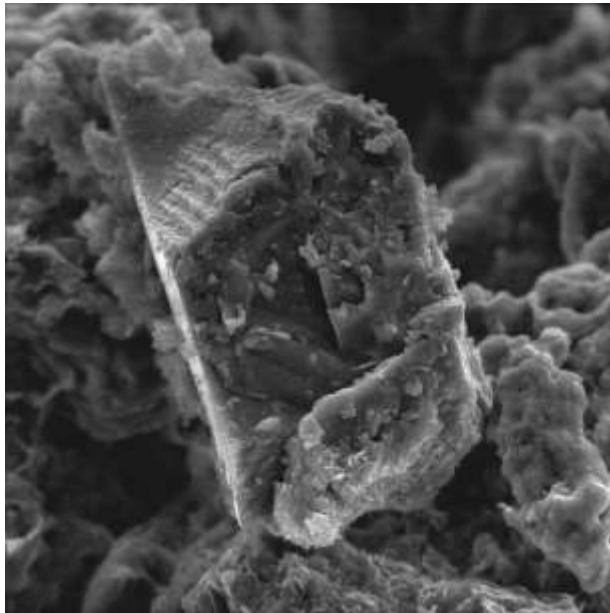


Microcline

Néoformation plagioclase dans carbonates



Dissolution feldspath détritique

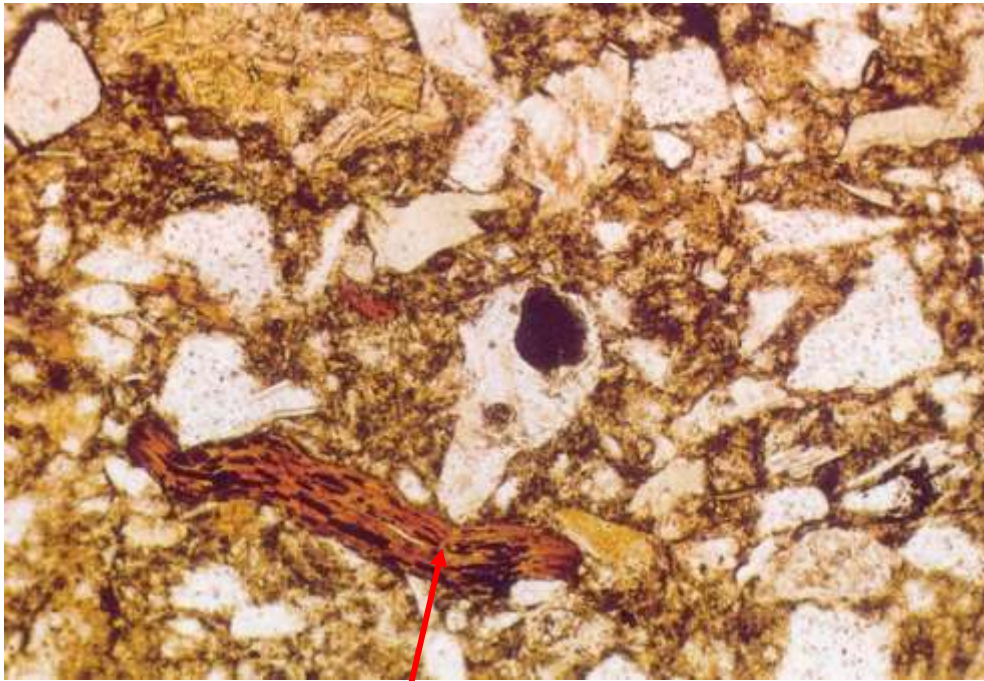


Feldspaths

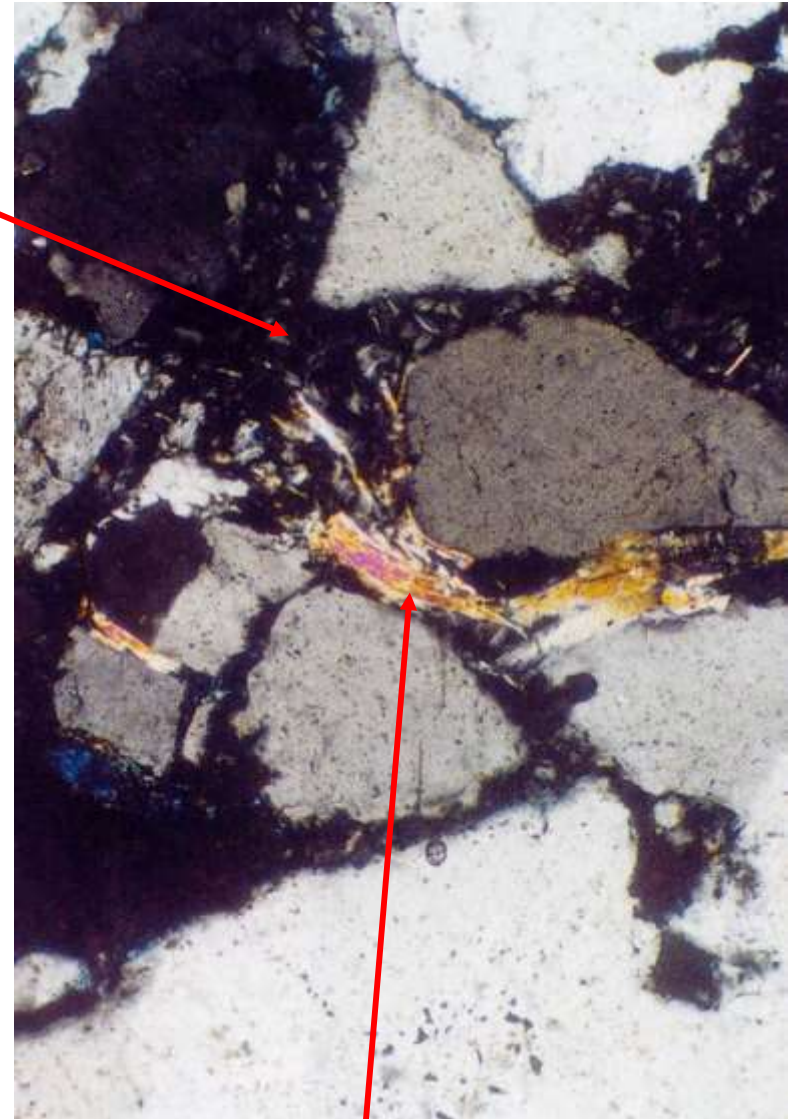
Feldspath automorphe cassé volcanique

Phyllites

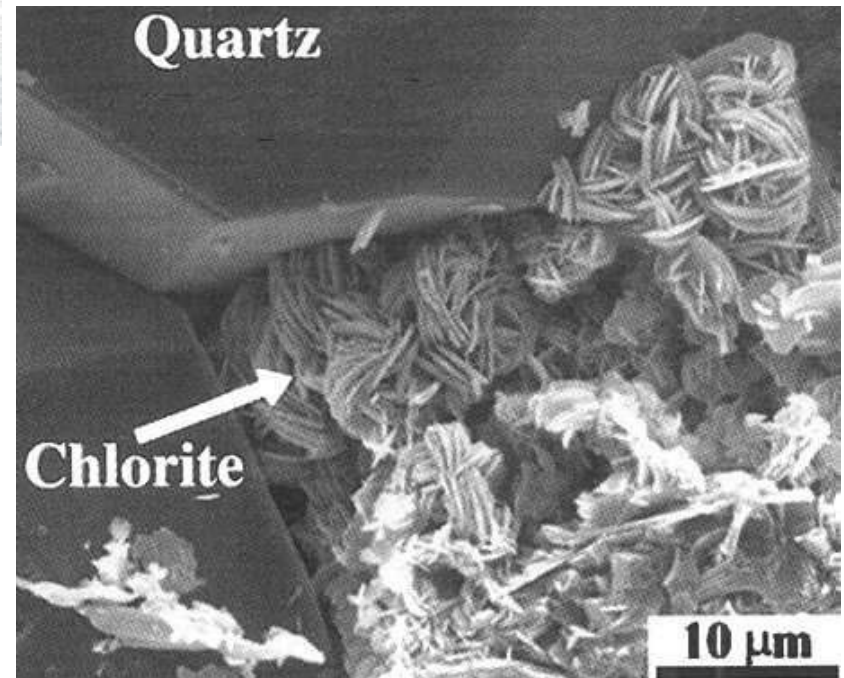
Kaolinite

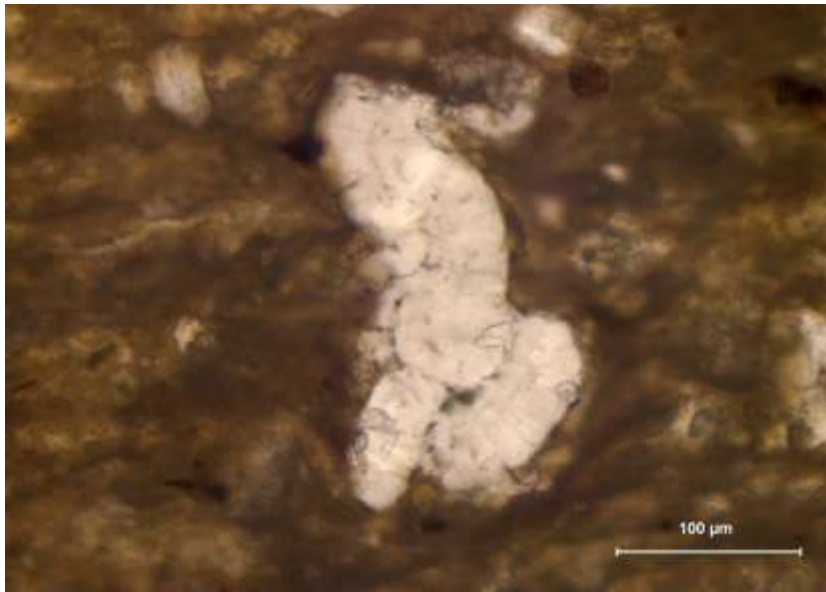


Biotite poinçonnée (compaction)

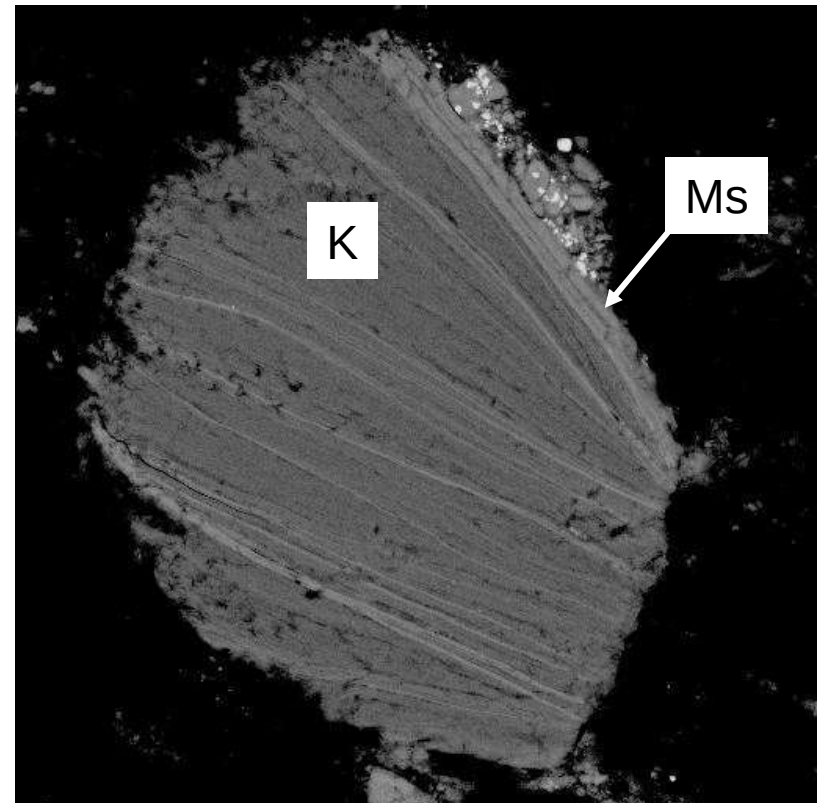


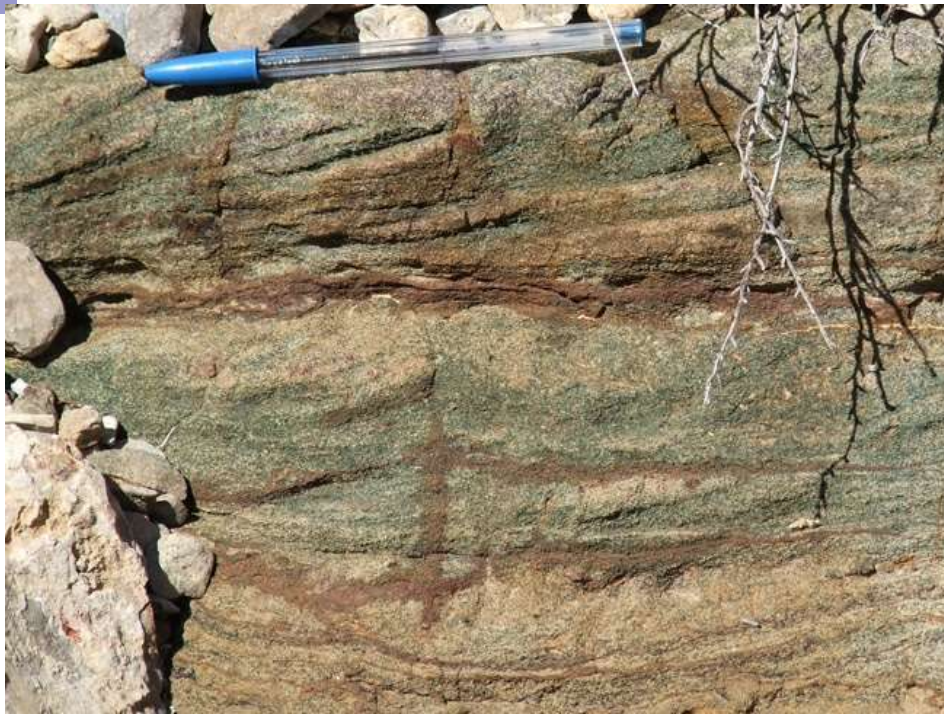
Muscovite



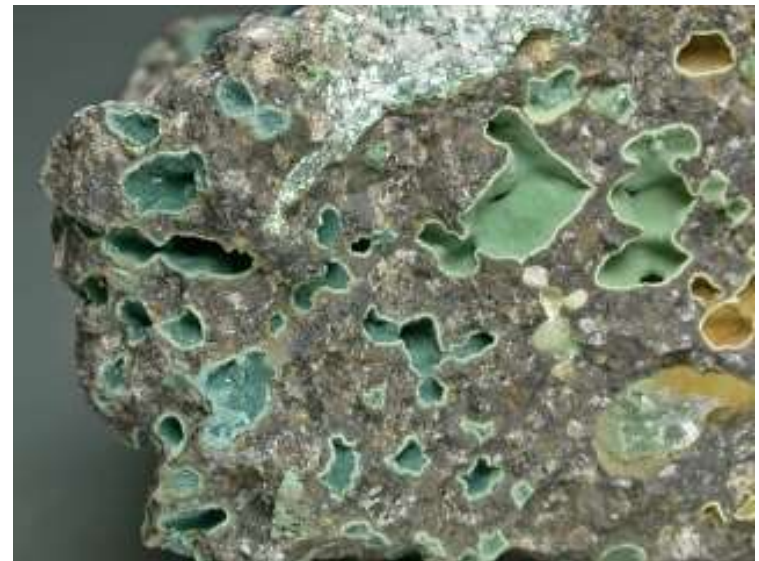
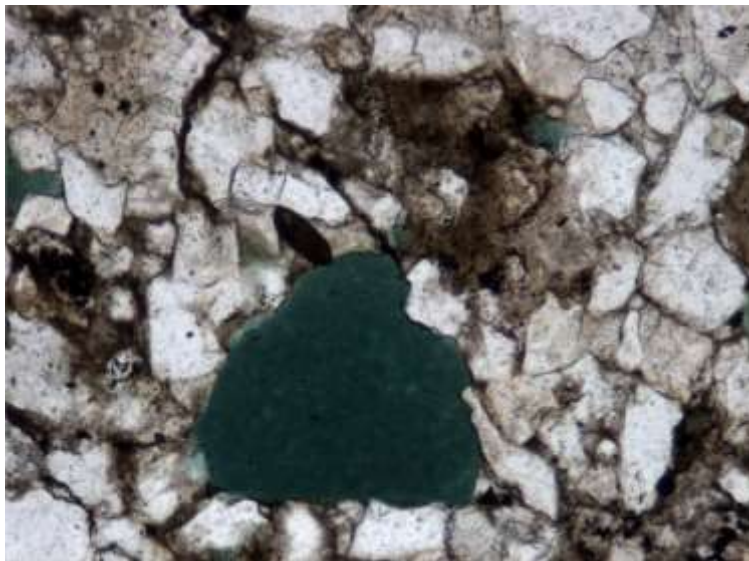


Kaolinite vermiculaire
&
Leverri rite





Phyllites ferrifères



A close-up photograph of a rock face showing distinct horizontal sedimentary layers. The rock is light brown/tan with darker, greyish-blue horizontal bands. A small red coin is placed on the lower right for scale.



sphène



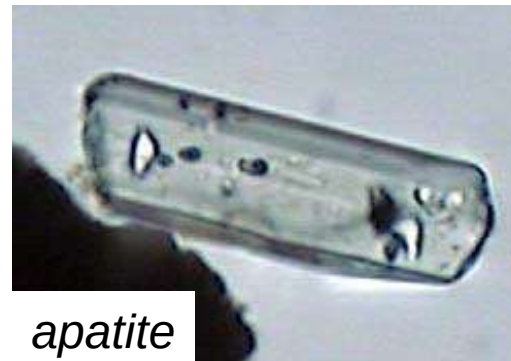
amphibole



zircon



zircon



apatite

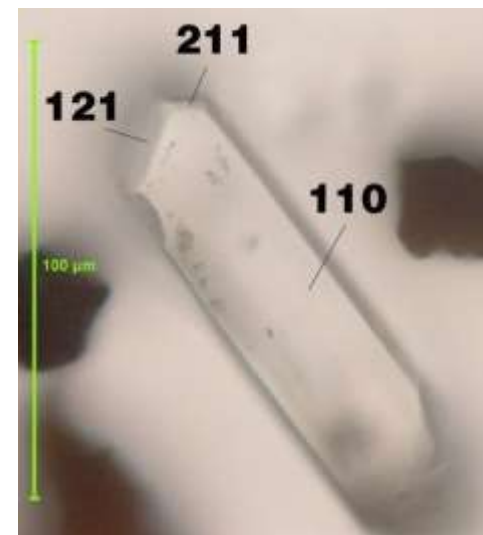


tourmaline

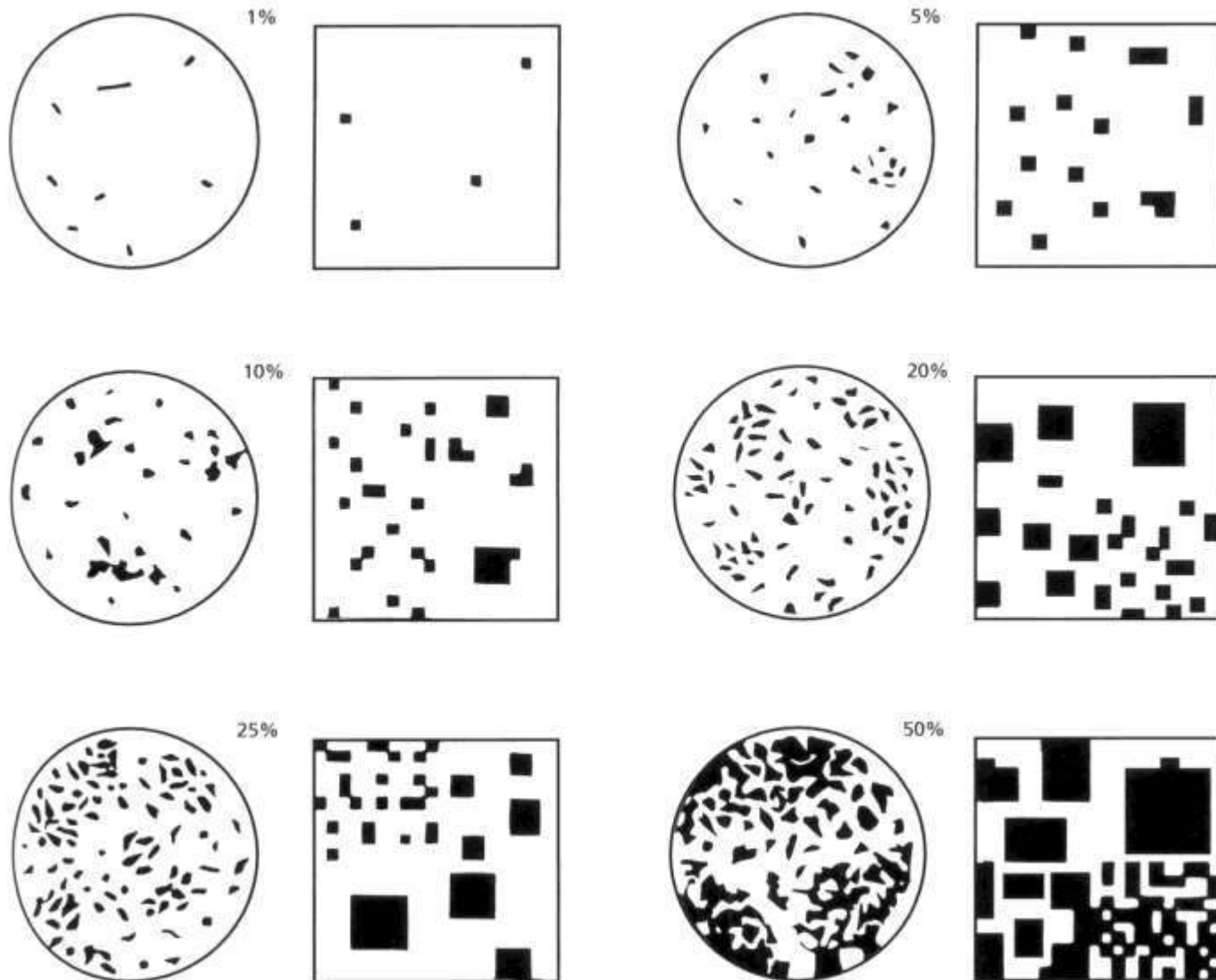
+ stable —————> - stable

Rutile → tourmaline → zircon → grenat → apatite → staurodite → épidote,
→ amphibole → andalousite → sphène → pyroxène → silimanite → olivine

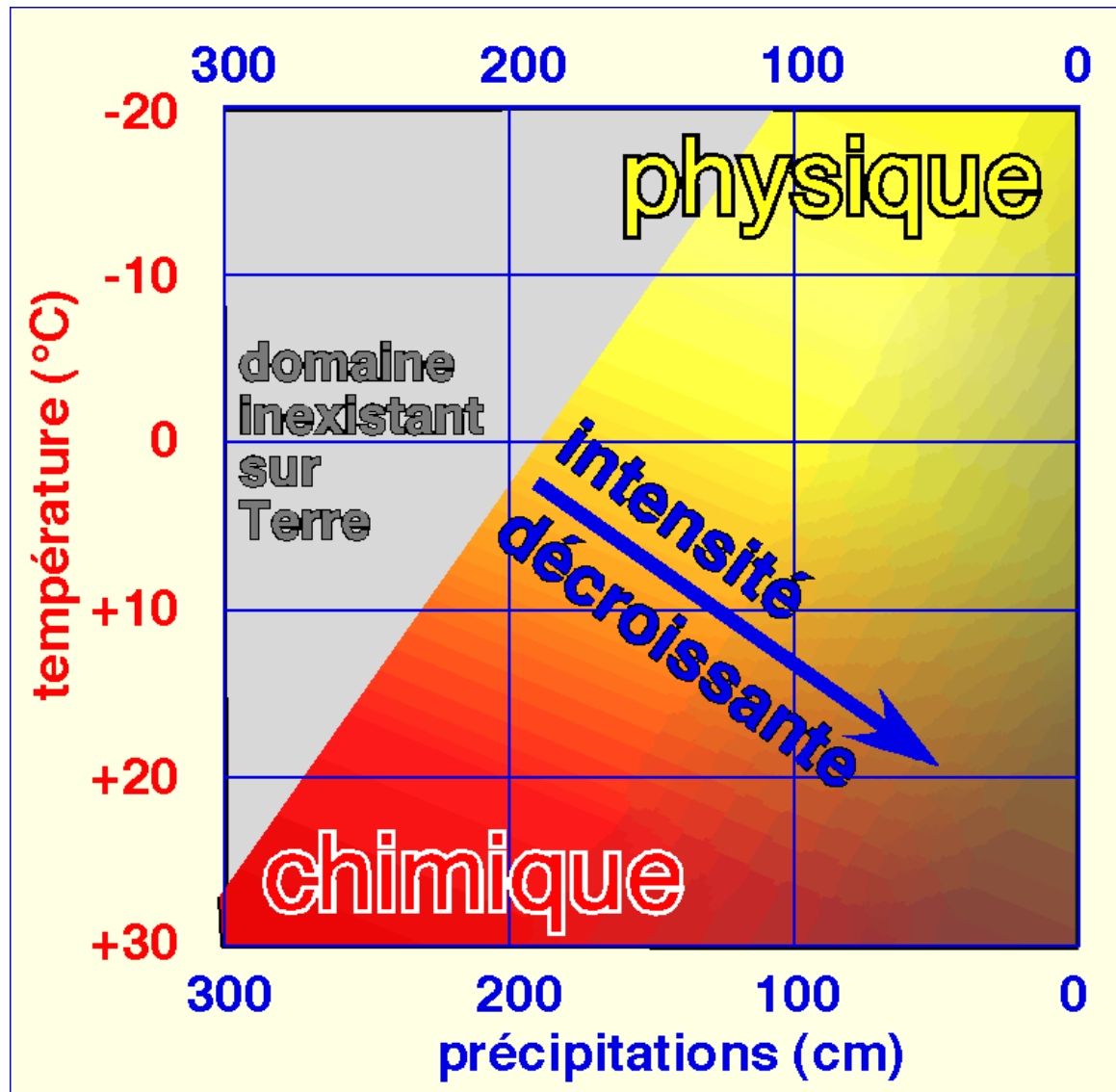
Typologie des zircons (Pupin)

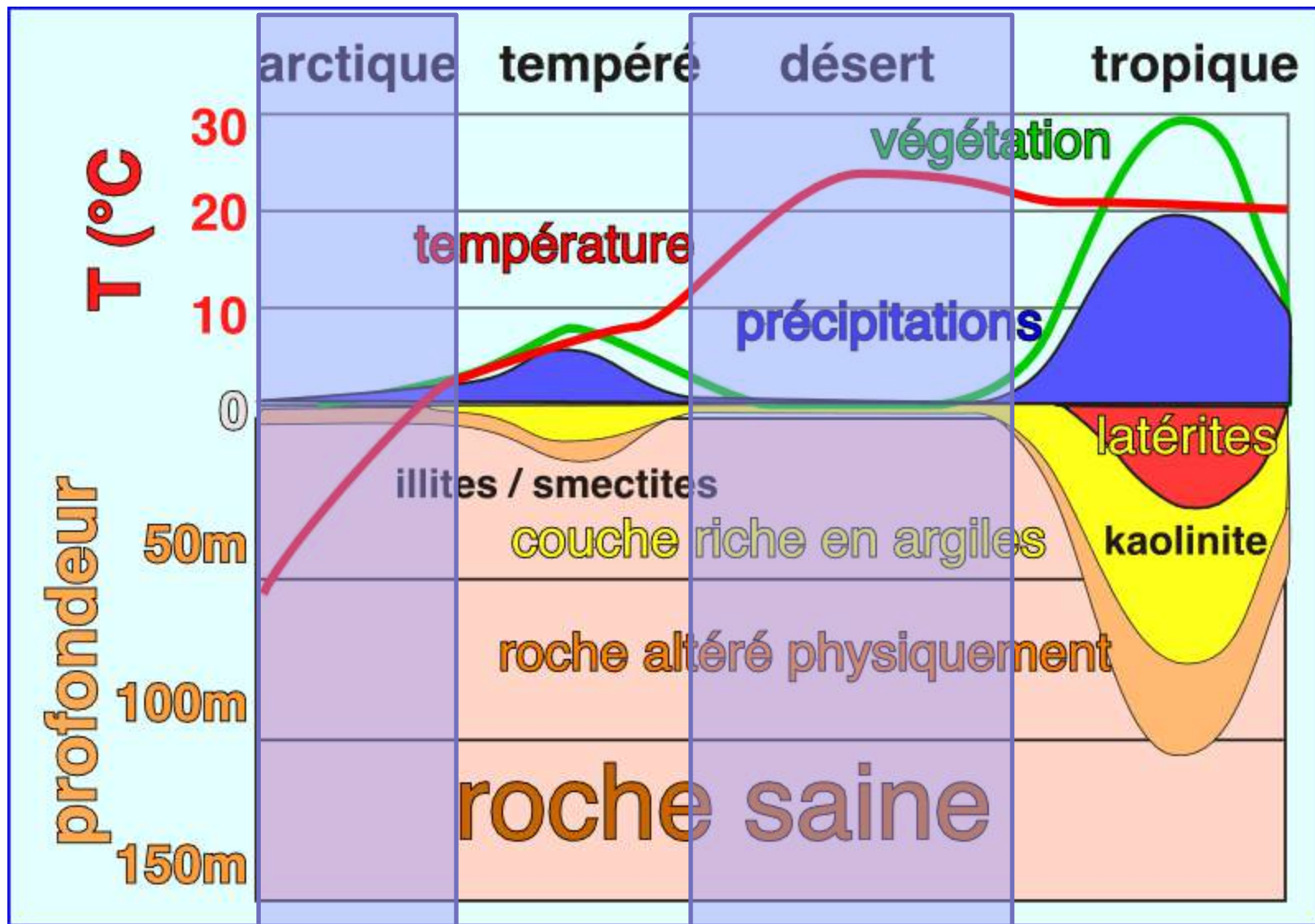


Chartes conventionnelles d'estimation du % d'un élément donné en LM

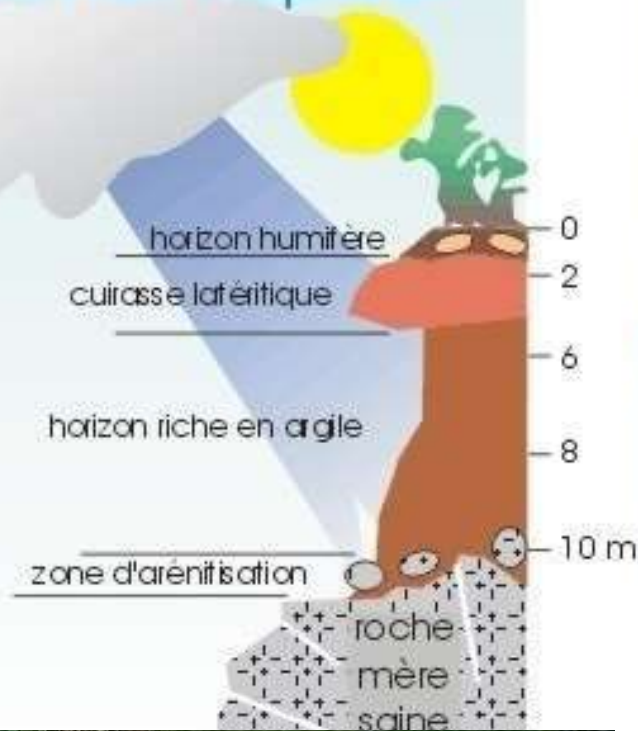


Rôle capital du climat

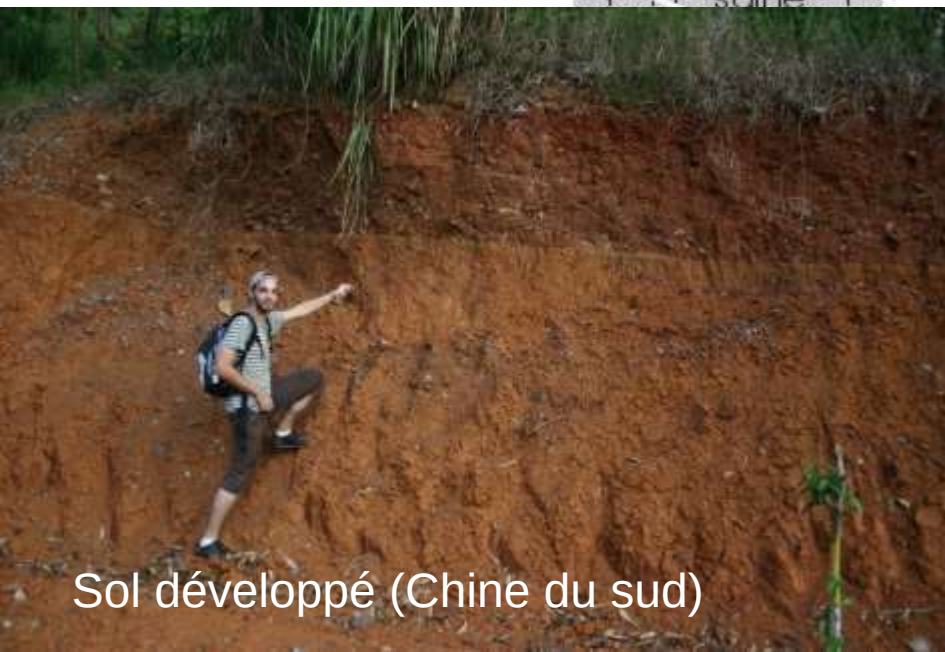




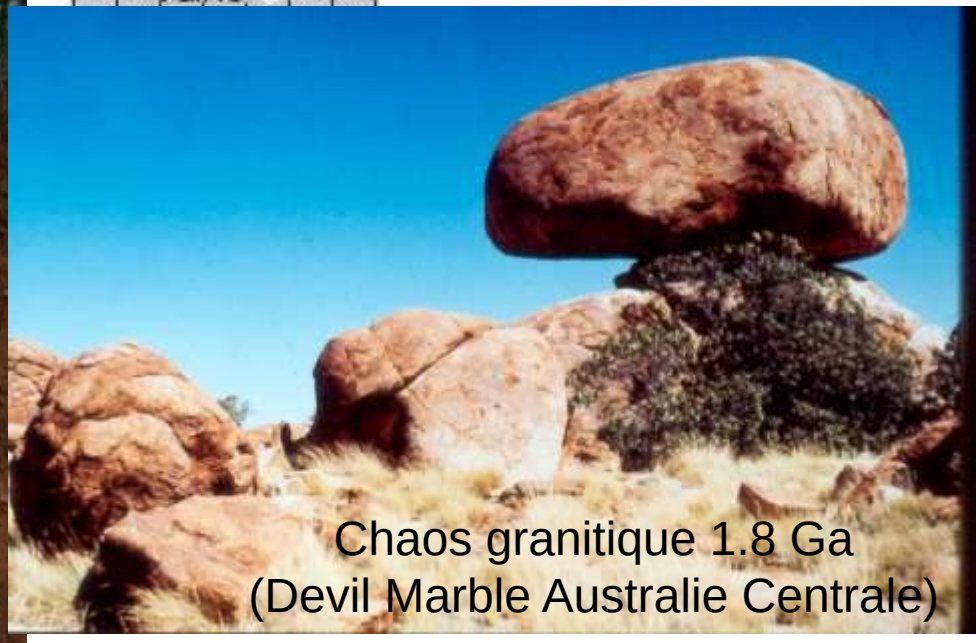
climat tropical



climat tempéré



Sol développé (Chine du sud)



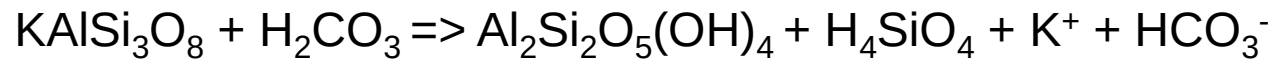
Chaos granitique 1.8 Ga
(Devil Marble Australie Centrale)

Altération mécanique



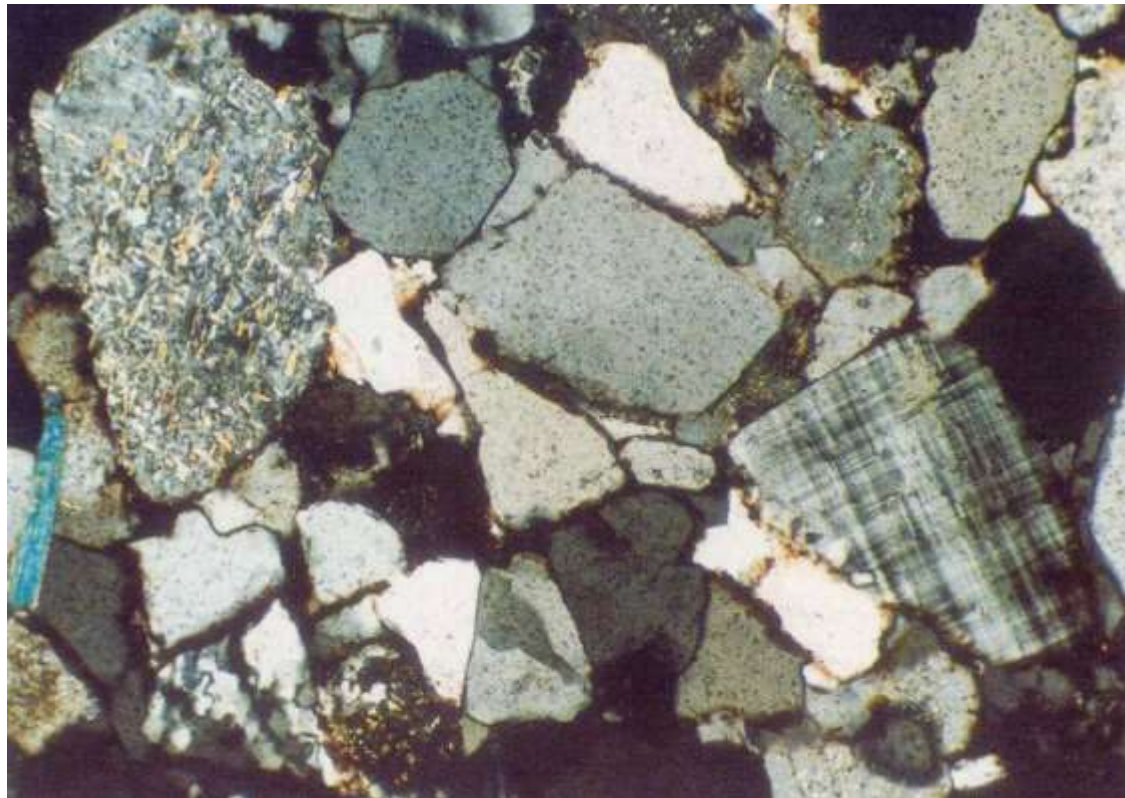


Les silicates sont soumis à l'hydrolyse :

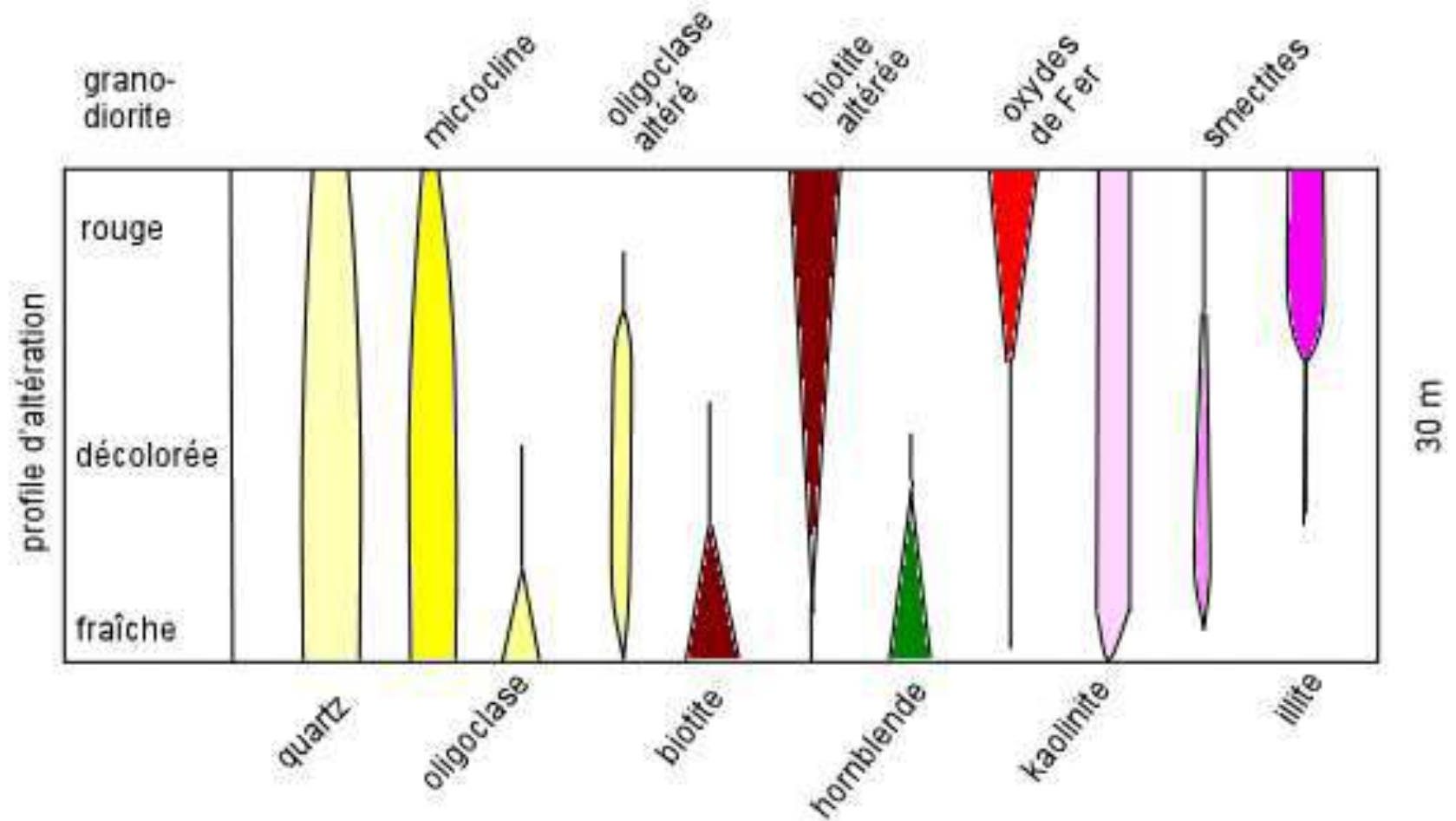


(K-feldspath)

(kaolinite)



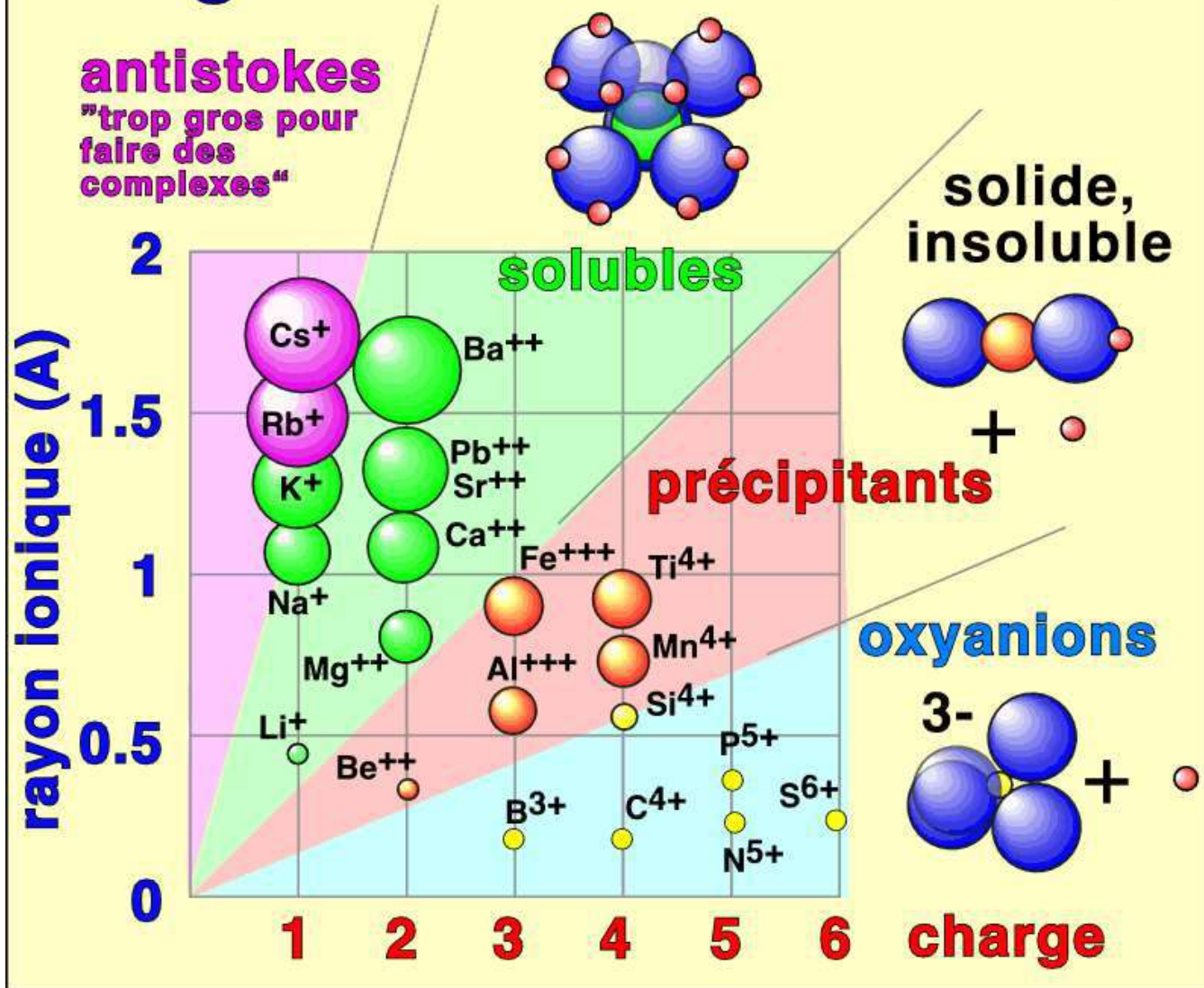
Altération chimique des roches mères



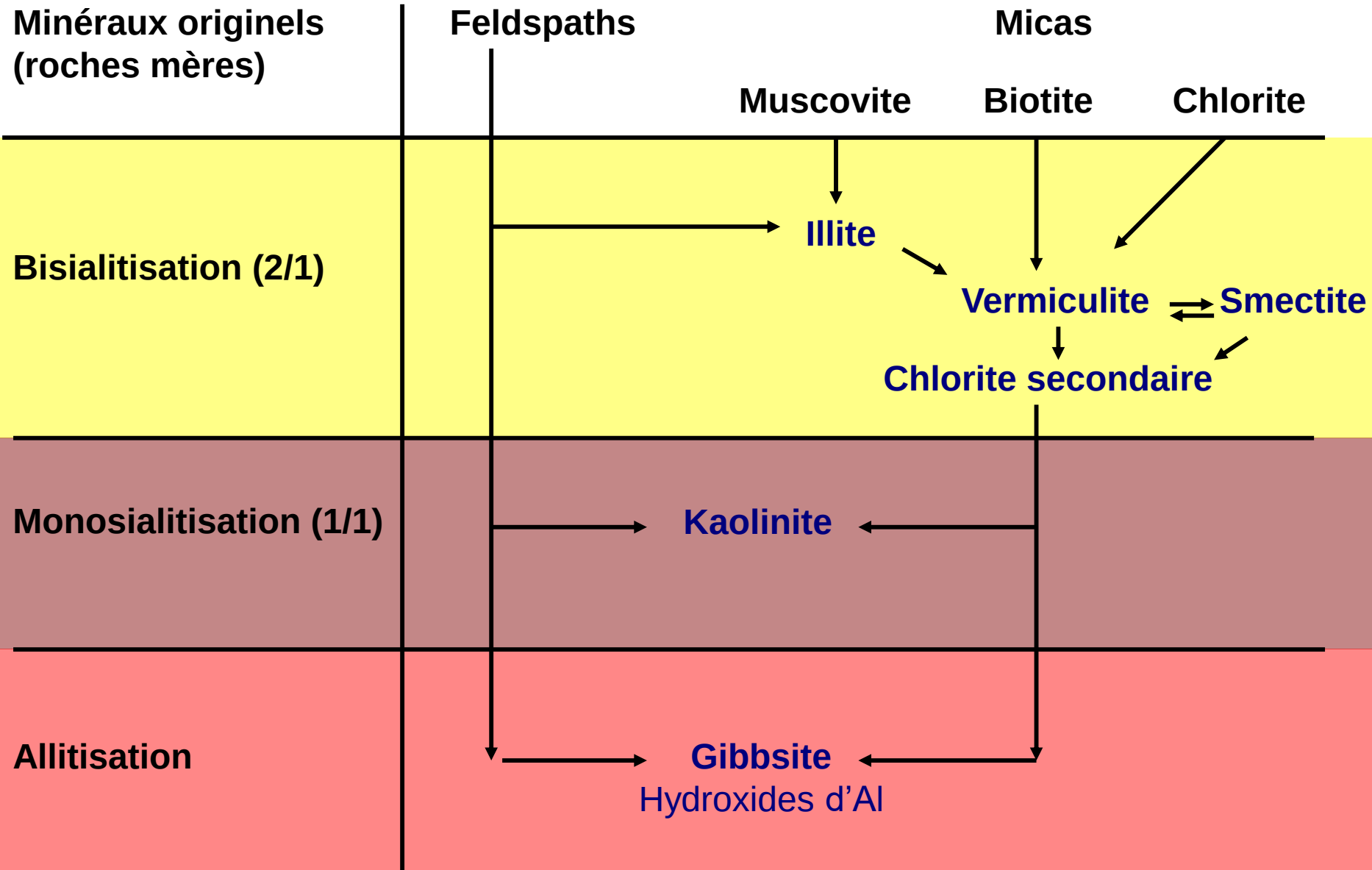
Les roches sont soumises à l'oxydo-réduction: $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$



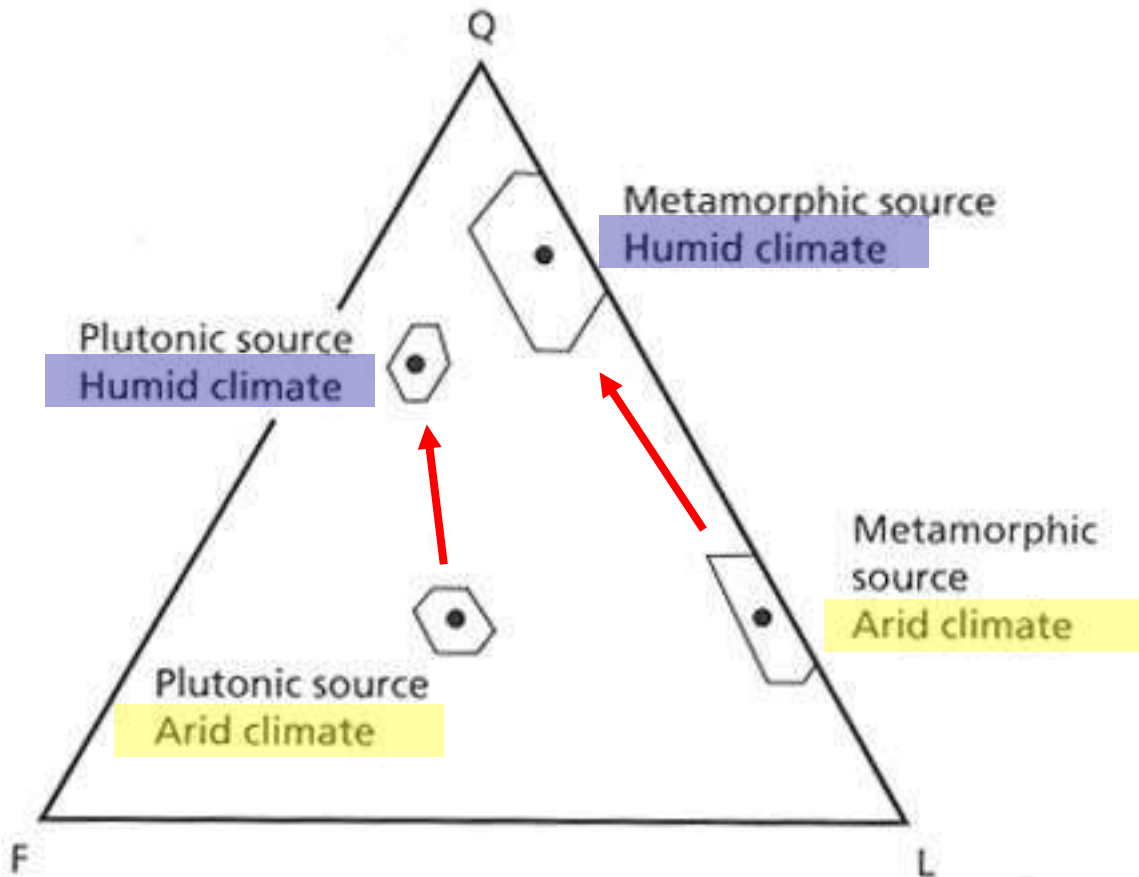
Diagramme de Goldschmidt



Altération variable selon le climat (+relief et substrat)



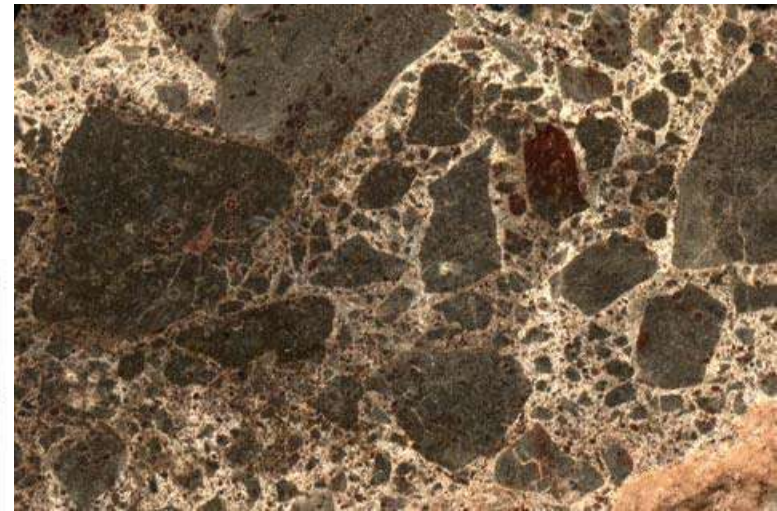
Influence du climat sur l'altération de roches plutoniques et métamorphiques



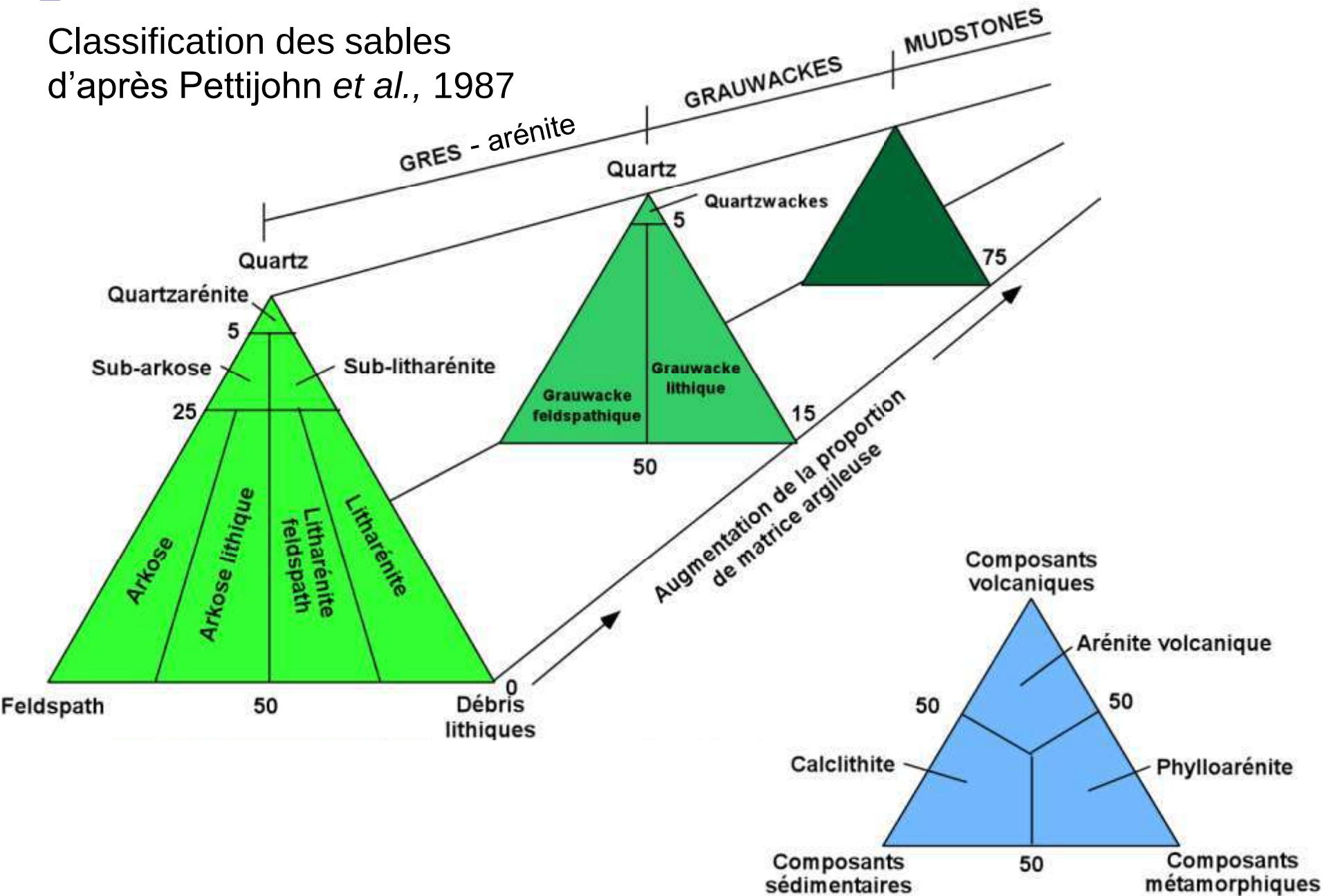
Evolution vers un pôle
quartzeux donc plus
mature minéralogiquement
en augmentant l'humidité

Classification des conglomérats

<i>taille</i> (size)	<i>arrondi</i> (roundness)	<i>composition</i>
CONGLOMERAT	brèche	monogénique 
		polygénique 
	conglomérat	monogénique 
		polygénique 
	poudingue	monogénique 
		polygénique 



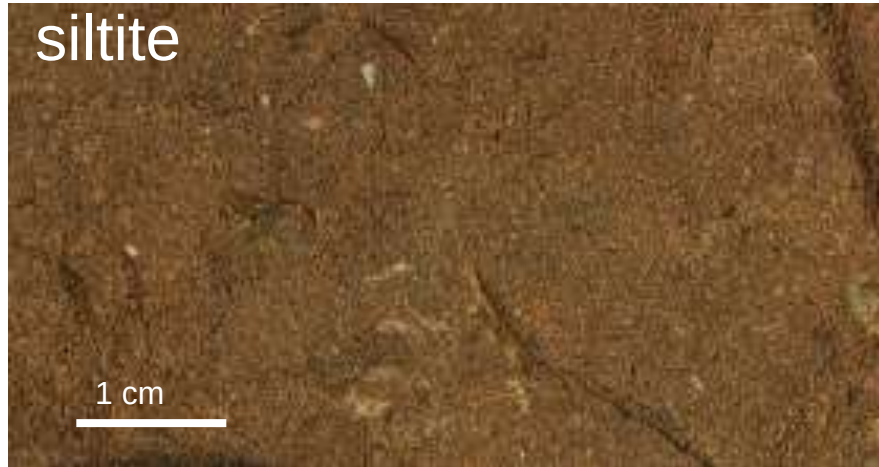
Classification des sables d'après Pettijohn *et al.*, 1987



Classification des « mudrocks » selon Lundegard & Samuels (1980)

sédiments meubles	indurés	faible métamorphisme	métamorph. plus élevé
silt (>1/256 mm)	siltite		quartzite
2/3 silt----- -----	-----	-----	-----
mud	NON LAMINAIRE: mudstone, <i>siltite argileuse?</i> LAMINAIRE et FISSILE (// à S ₀): mudshale, <i>siltite argileuse?</i>	CLIVAGE: slate, <i>schiste silto-argileux</i>	argillite (pas de clivage) CLIVAGE: schist, <i>ardoise, phyllade</i>
1/3 silt----- -----	-----	-----	-----
clay (<i>argile</i>)	NON LAMINAIRE: claystone, <i>argilite?</i> LAMINAIRE et FISSILE (// à S ₀): clayshale	CLIVAGE: slate, <i>schiste argileux</i>	argillite (pas de clivage) CLIVAGE: schist, <i>ardoise, phyllade</i>

siltite



marne



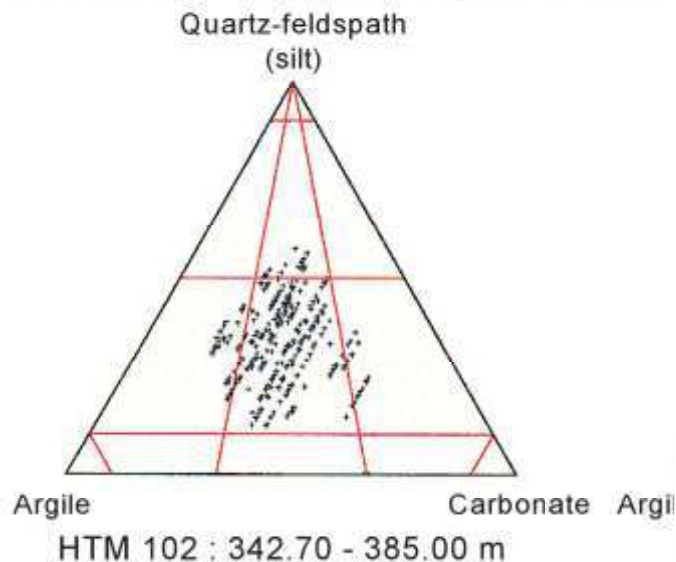
shale



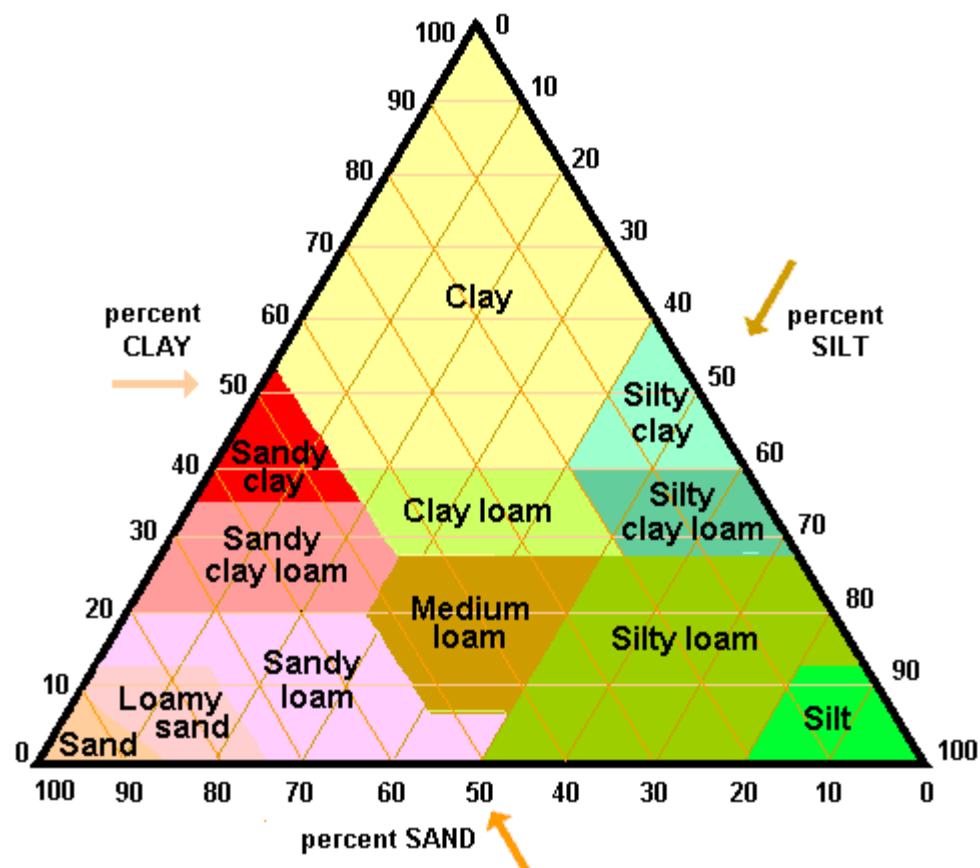
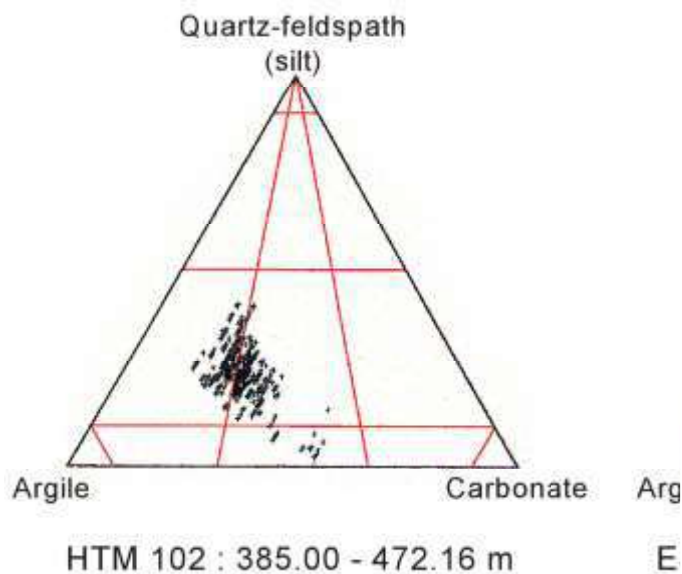
argilite



Alternances à siltites carbonatées



Argilites silto-carbonatées



2 – Pétrographie des rudites et arénites



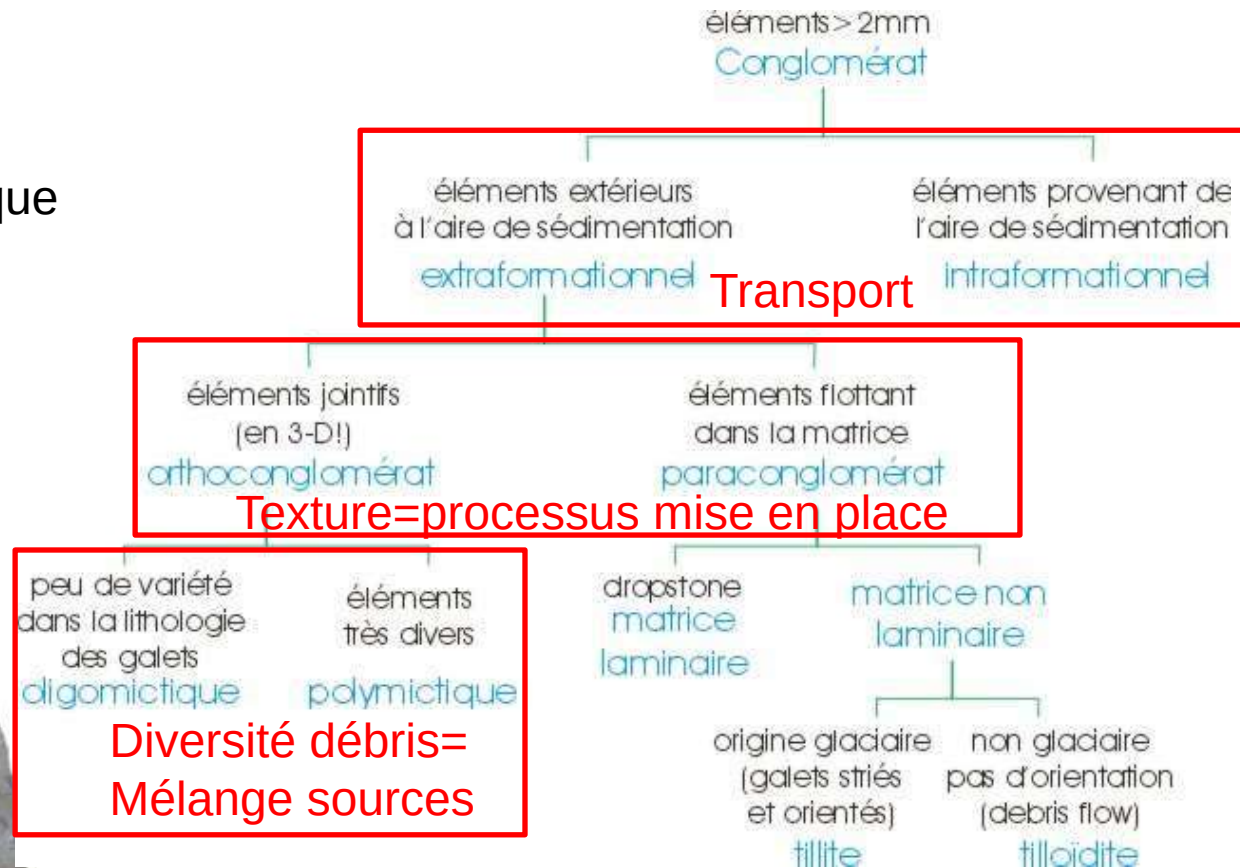
2.1 – Conglomérats et brèches

Classification des conglomérats et brèches d'après Prothero & Schwab (1996).

Orthoconglomérat oligogénique



Paraconglomérat à matrice non
laminaire = tillite





Galets intraformationnels

(Plage près de la Chapelle Sainte-Anne,
Baie du Mont-Saint-Michel, France)



Orthoconglomérat
extraformationnel polygénique
(domaine alpin)



Conglomérat monogénique intraformationnel (marin peu profond)

(Jurassique moyen, Bassin de Jaisalmer, Rajasthan)

Classification des conglomérats et brèches d'après Prothero & Schwab (1996).

Orthoconglomérat oligogénique



Paraconglomérat à matrice non laminaire = tillite



Environnements glaciaires continentaux et marins



Les tillites



Classification des conglomérats et brèches d'après Prothero & Schwab (1996).

Orthoconglomérat oligogénique



Paraconglomérat à matrice non laminaire = tillite



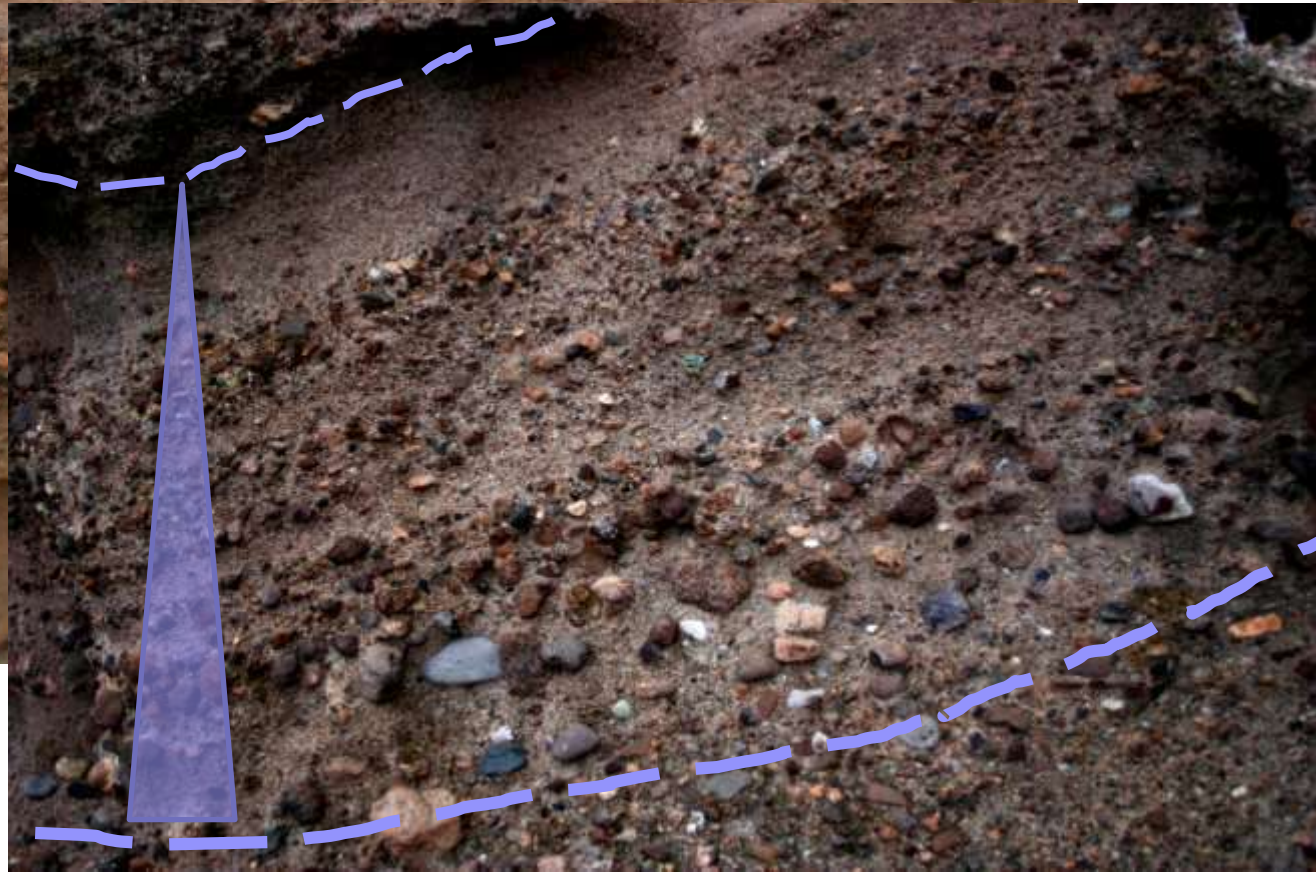
Environnements glaciaires continentaux et marins



Dropstones



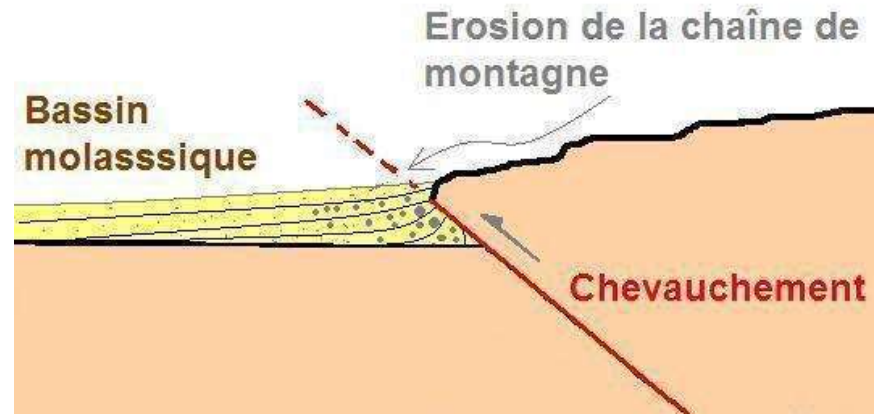
Environnements fluviatils



Conglomérat : témoin des orogénèses (bassin molassique)



Conglomérat dans le Speer, Alpes suisses



Conglomérat Mio-pliocène à Moustiers-Sainte-Marie, bassin molassique de Valensole





Brèche de cône éboulis



Brèche d'impactite



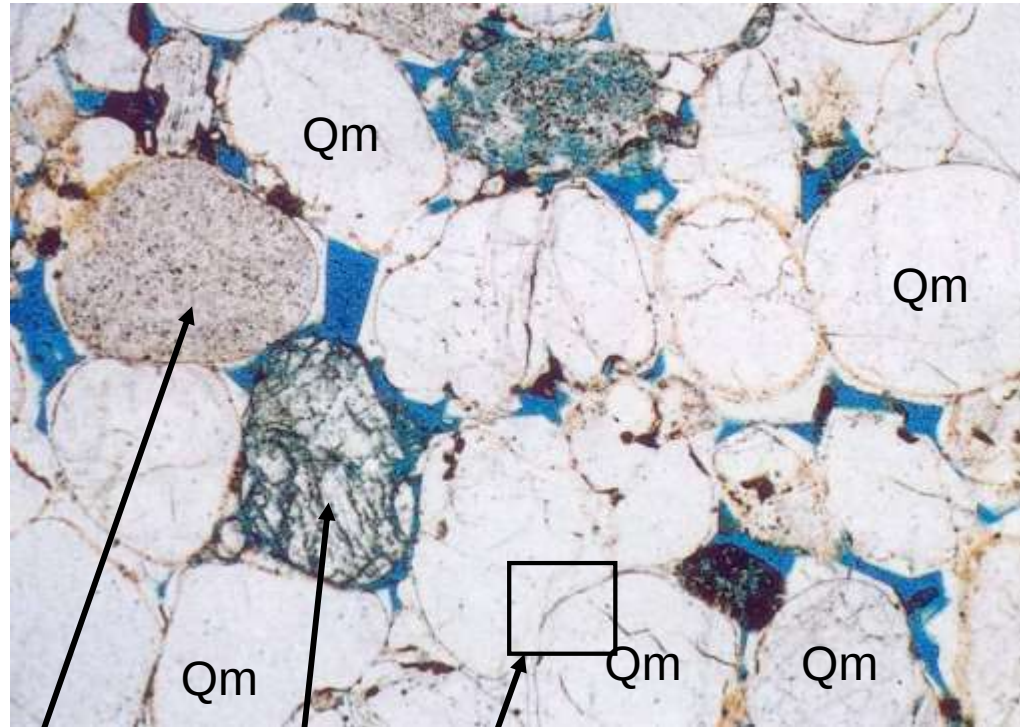
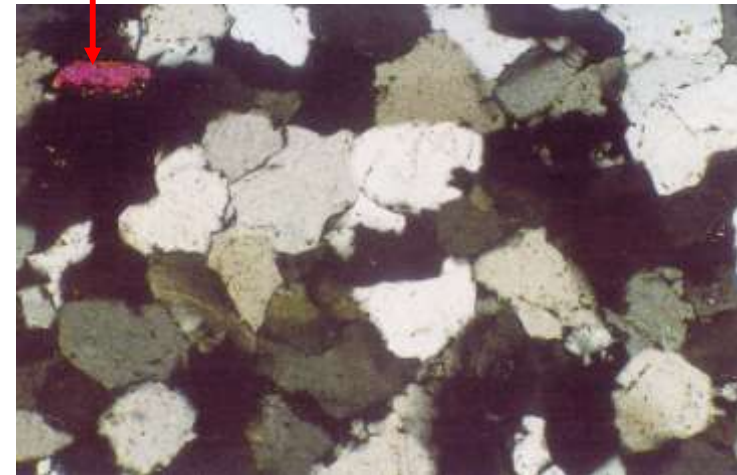
Brèche de faille

2.2 – Sables et grès

Exemple de quartzarénite

zircon

Ciment siliceux



Qm

Qm

Qm

Qm

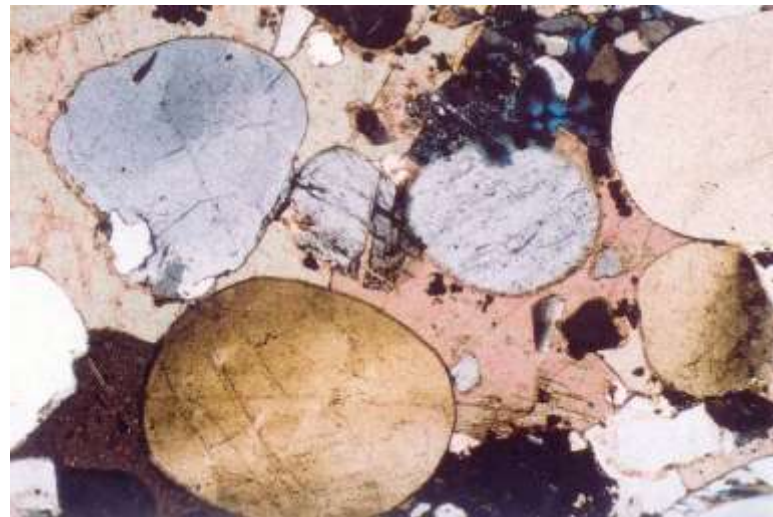
Qm

Feldspath

Pression-
dissolution

Quartz à nbx
inclusions

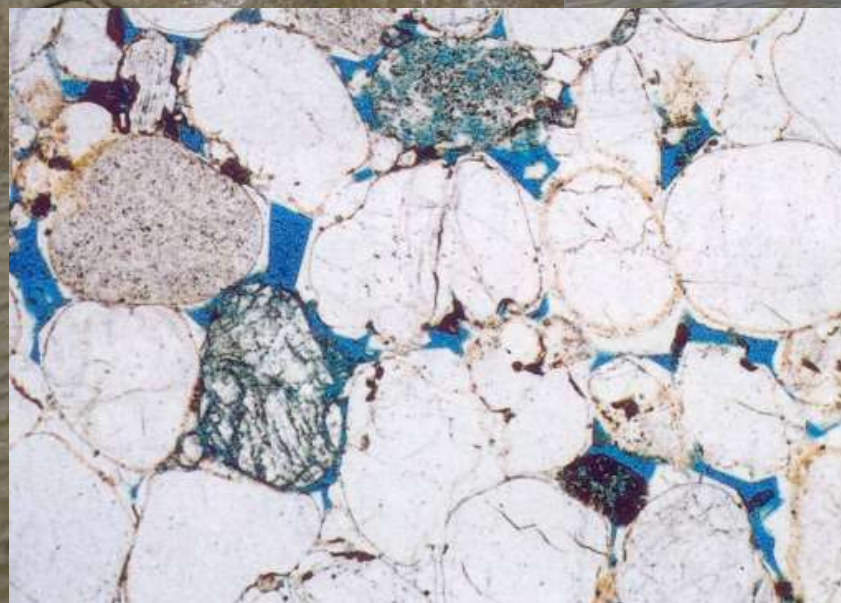
- Abondance de Qm propres
- Mx lourds fréquents
- Figures pression-dissolution



Ciment
calcitique
poecilithique

Dunes éoliennes fossiles à stratifications obliques métriques dans les grès éoliens de la Formation de Navajo, Jurassique, Page, Arizona, USA

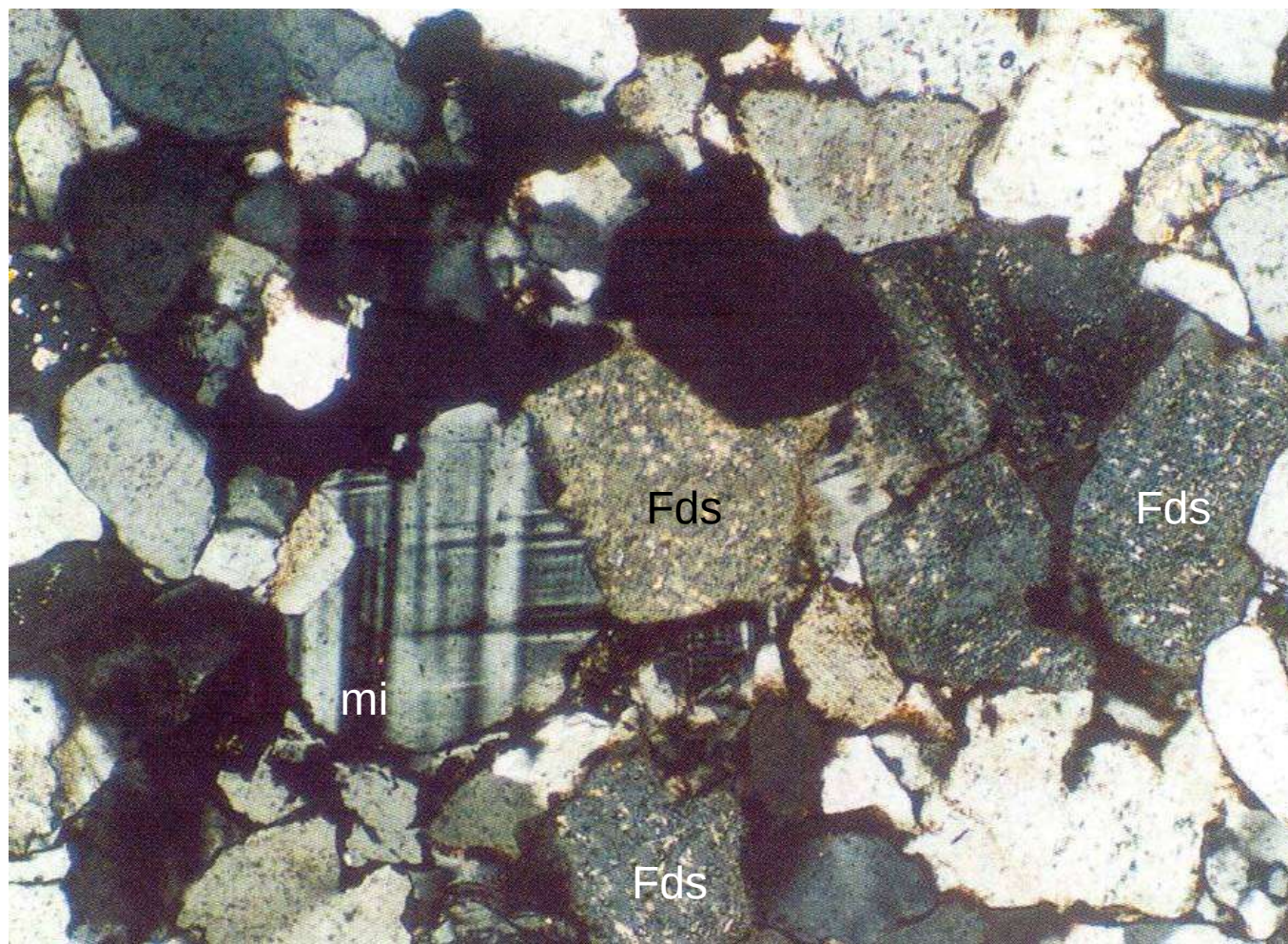






Rythmites tidales (tidalites) enregistrant les cycles semi-diurnes (marées) et semi-mensuels (lunaires) de vives-eaux

Exemple d'arkose



Sable fluviatile, Précambrien, à microcline et orthoses séricitisées (Fds)



Exemple de litharénite



Sable fluviatile, Cambrien, Espagne, effet de la compaction

Environnements lacustres

Green Lake Couplets

(00-GRN(B) 75-78.5cm)

1695AD



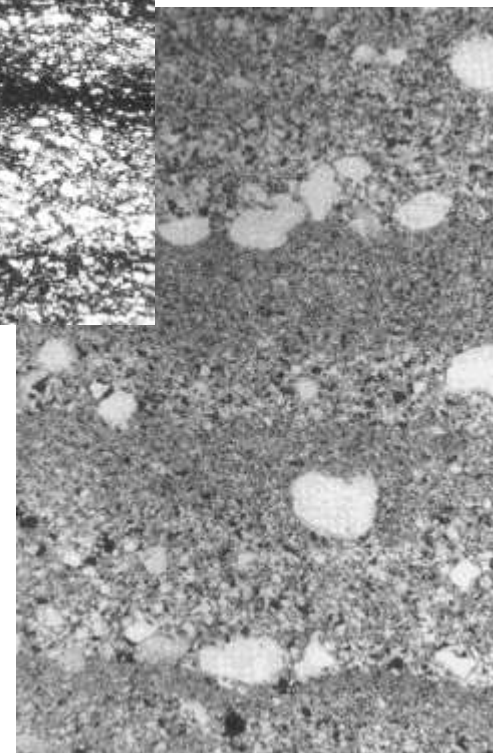
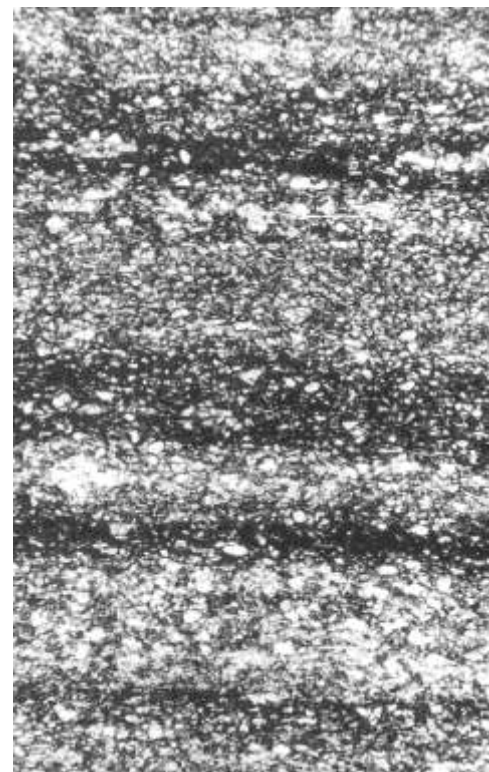
1 cm

late season

interflows

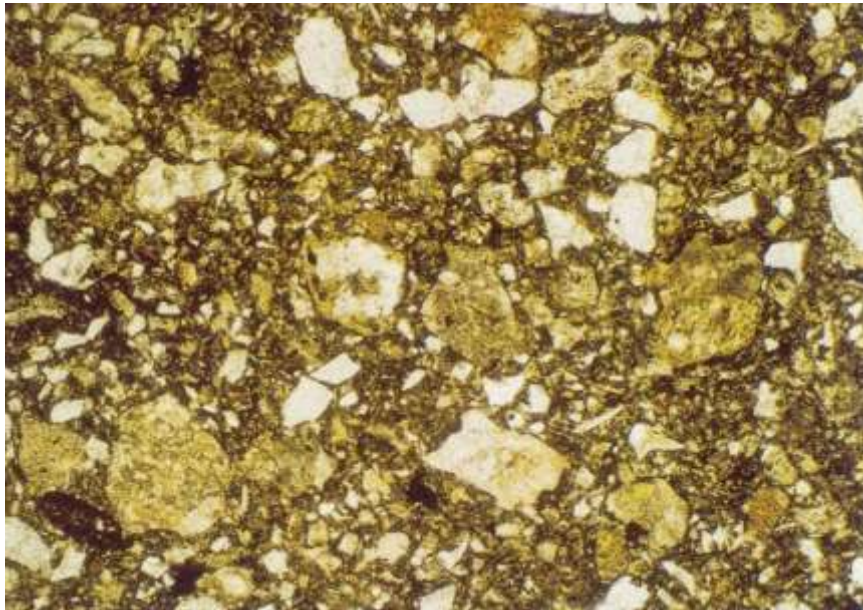
late season

1690AD

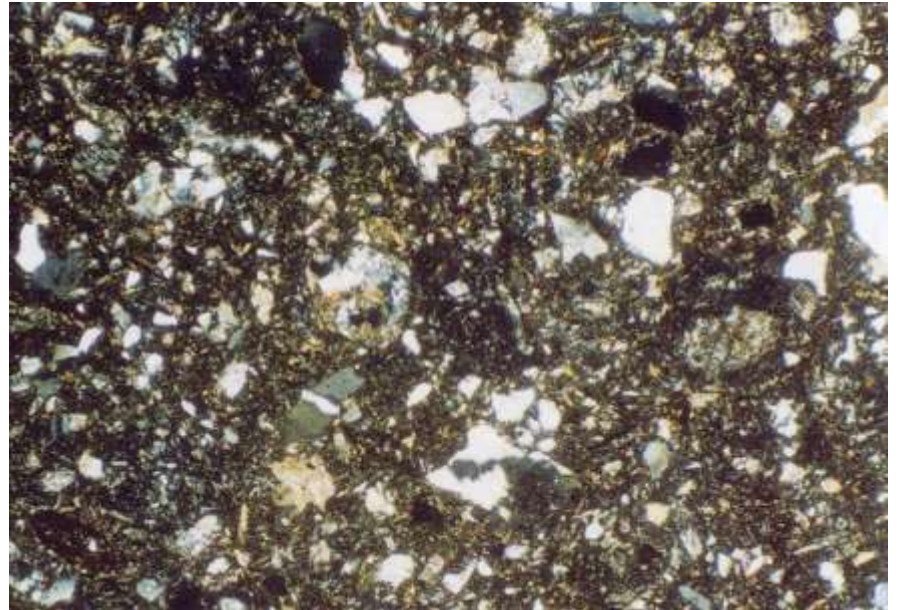


Exemple de grauwacke

LPNA



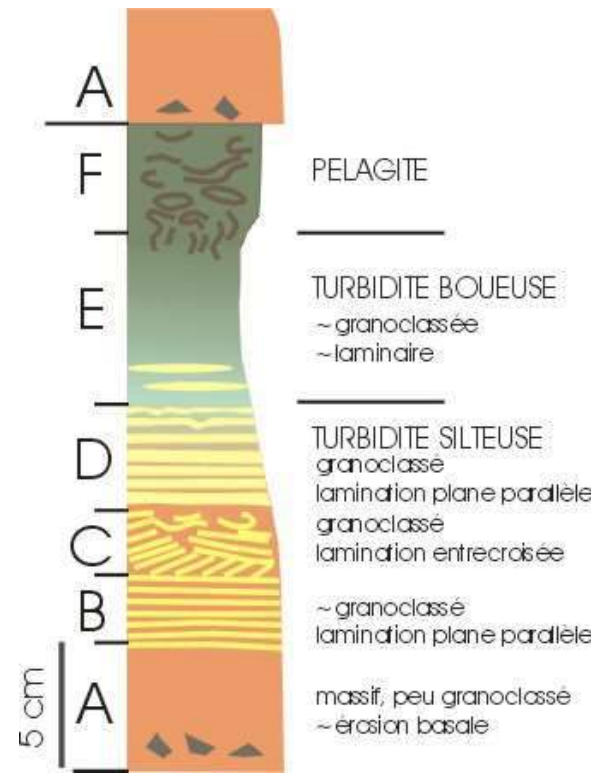
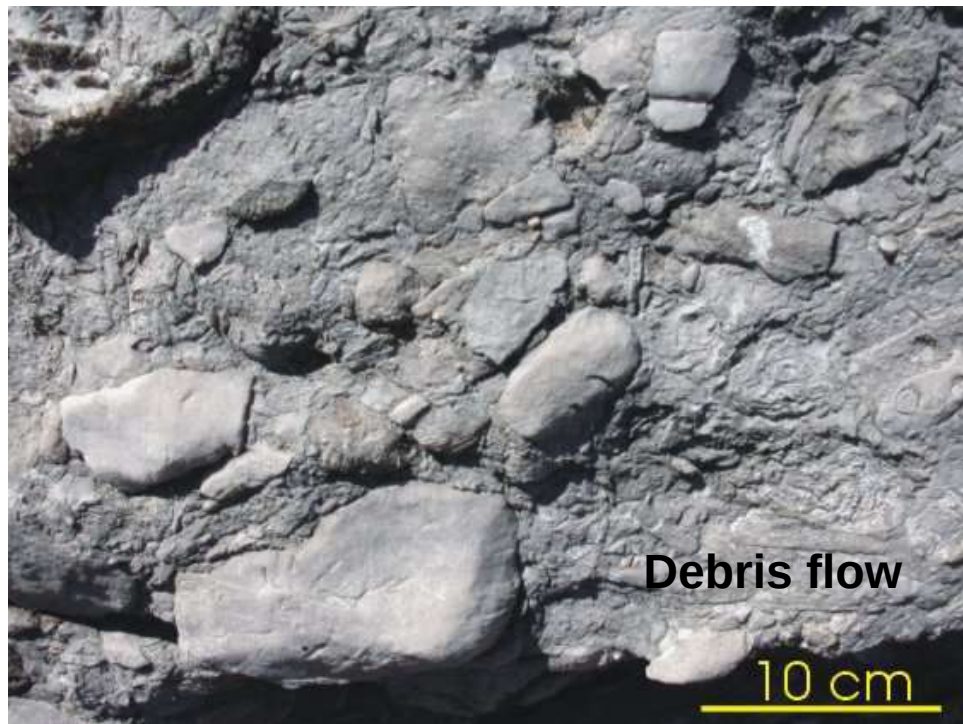
LPA



Présence de Quartz, Feldspath, fragments lithiques enrobés dans une matrice de chlorite et de quartz silteux

Turbidite silurienne d'Ecosse

Environnements associés à du gravitaire







Turbidites gréseuses



2.3 – Propriétés pétrophysiques: porosité & perméabilité

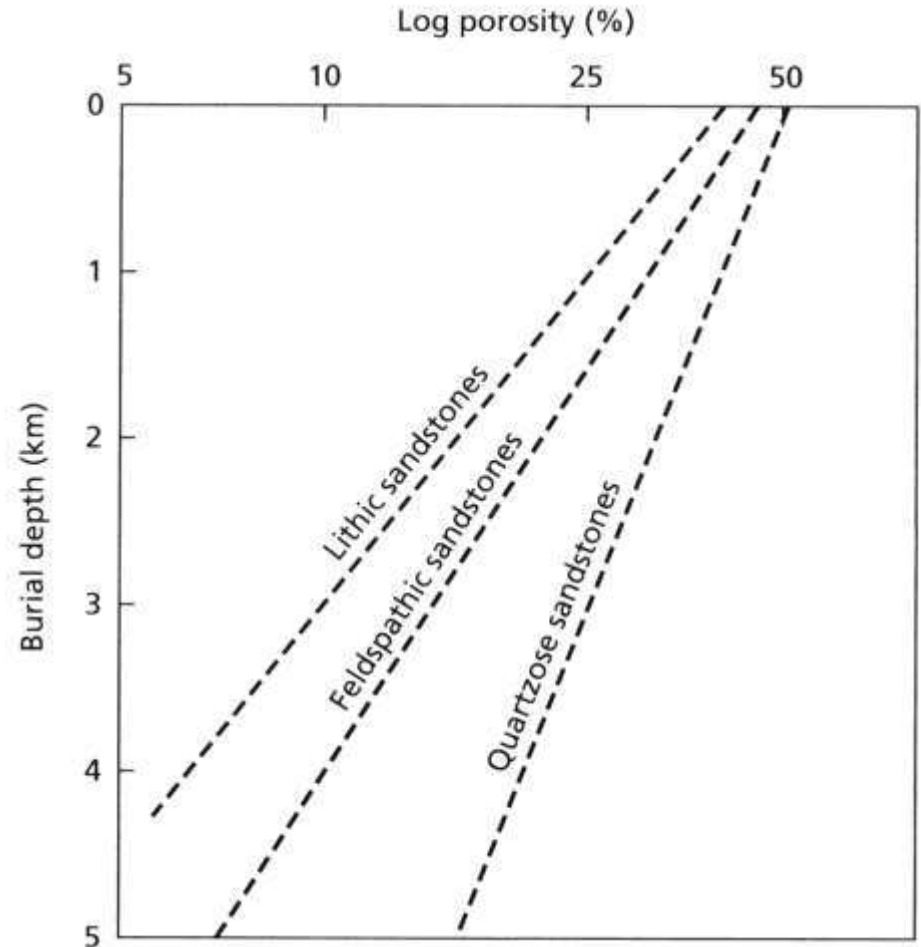
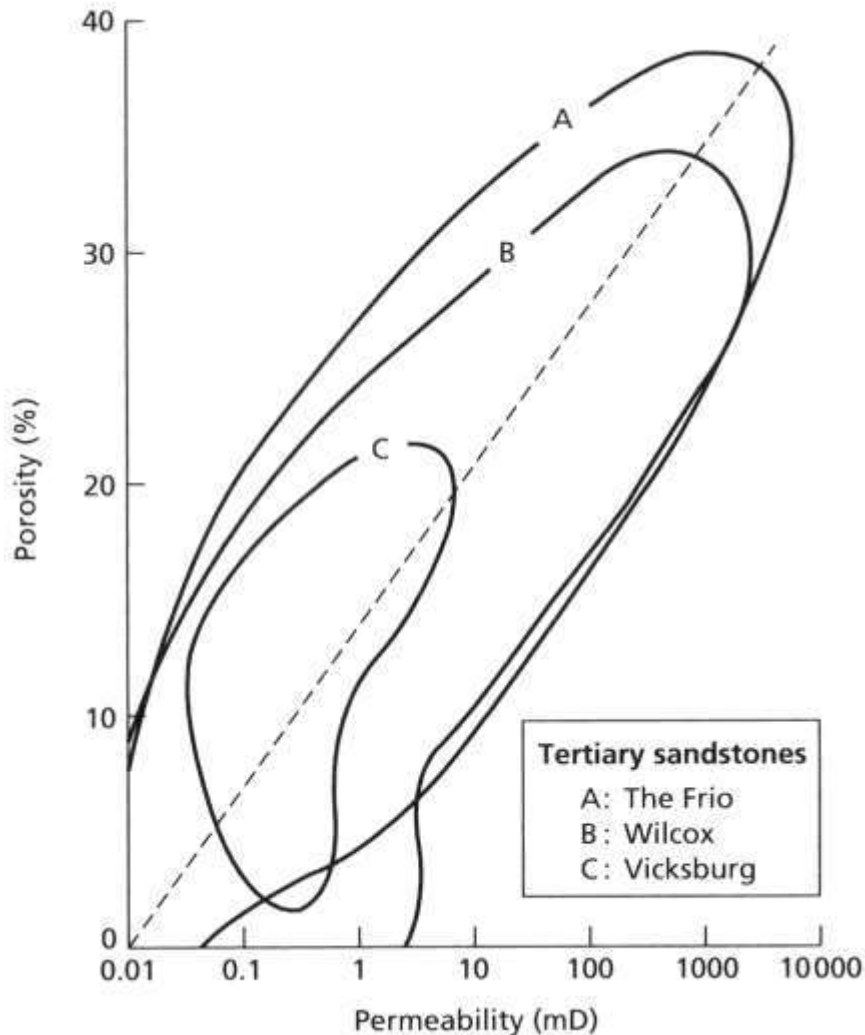
Perméabilité K :

$$Q = (K/\mu)(dp/dl)$$

avec Q : taux de circulation du fluide par unité de surface

μ : la viscosité du fluide

(dp/dl) : le gradient de pression dans la direction des circulations



Facteurs favorisant préservation de porosité

- bonne résistance grains primaires
- faible teneur en minéraux soluble ou amorphe
- précipitation précoce d'un ciment limité: ciment pelliculaire inhibant les nourrissage de quartz
- surpression par des fluides
- introduction précoce d'hydrocarbures

Facteurs favorisant réduction de porosité

- % élevé de grains ductiles
- % élevé de phases instables
- précipitation précoce d'un ciment
- faible pression hydrostatique dans les pores, augmentant les forces au contact des grains

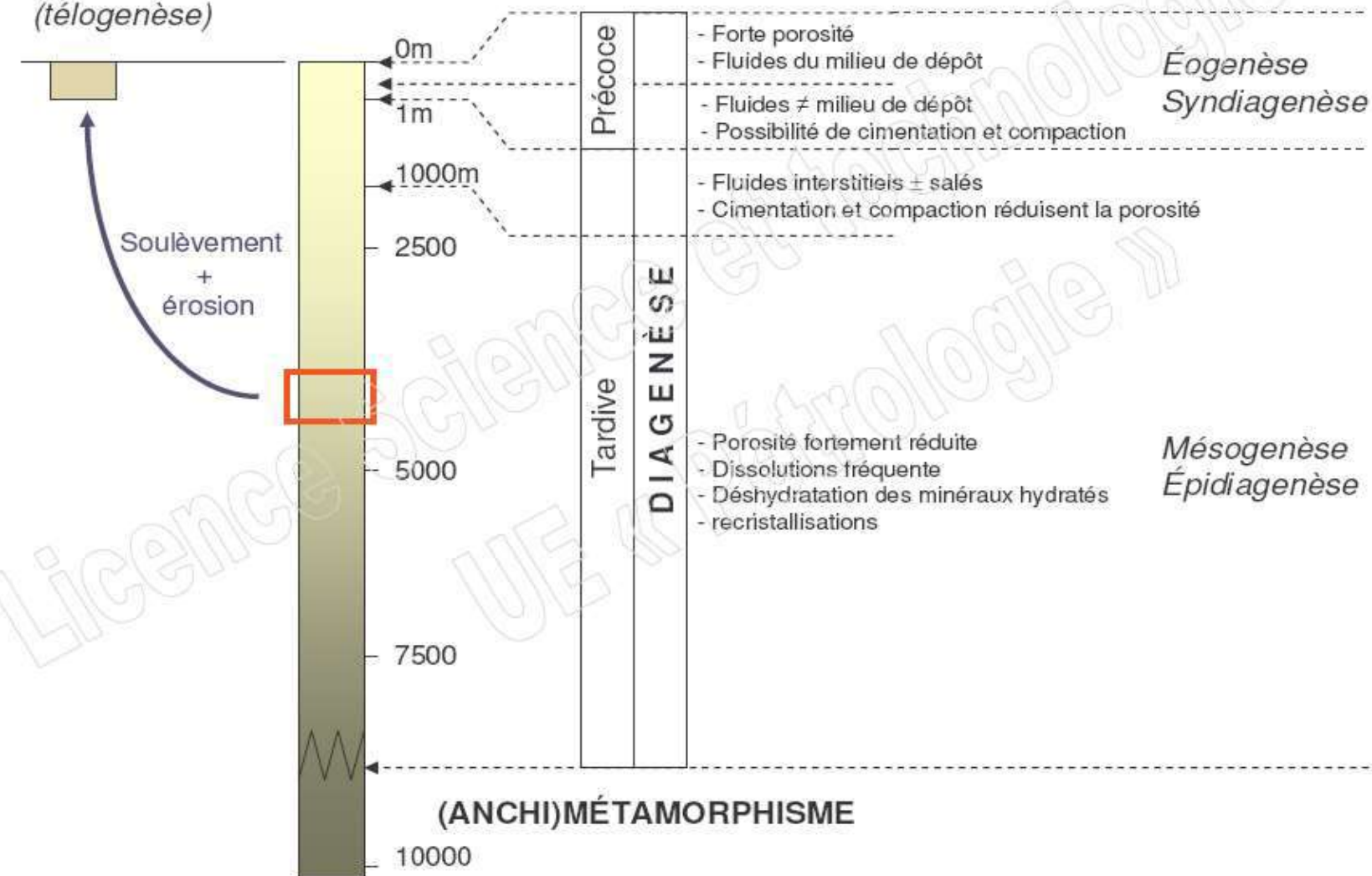
Facteurs favorisant une porosité secondaire

- départ précoce de l'eau météorique provoquant un lessivage des feldspaths et carbonates
- circulation de fluides riches en CO_2 (MO de shales voisins)
- transformation des argiles conduisant à la dissolution des feldspaths
- fracturation associée à une forte pression des fluides de porosité

2.4 – Introduction aux processus diagénétiques

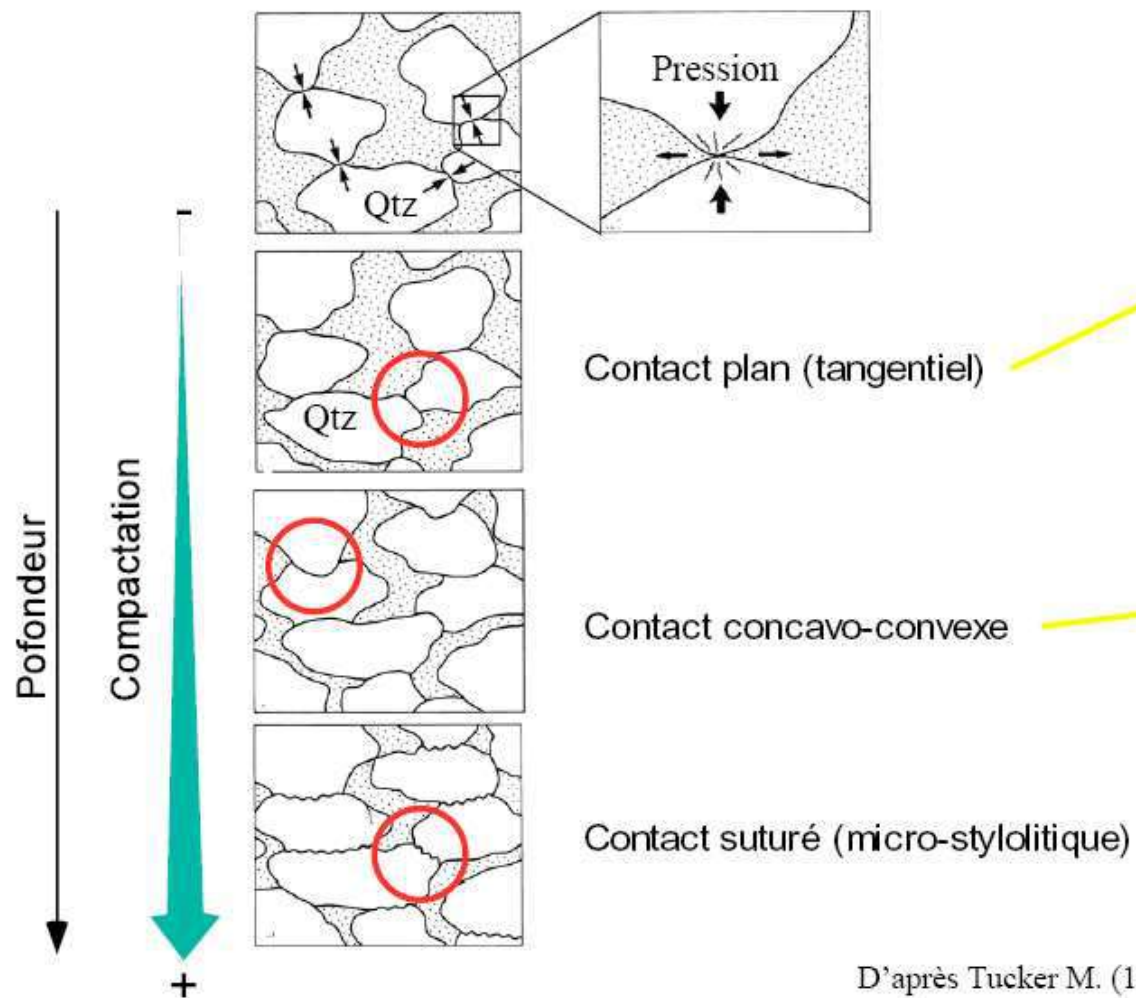


Météorisation (télogénèse)

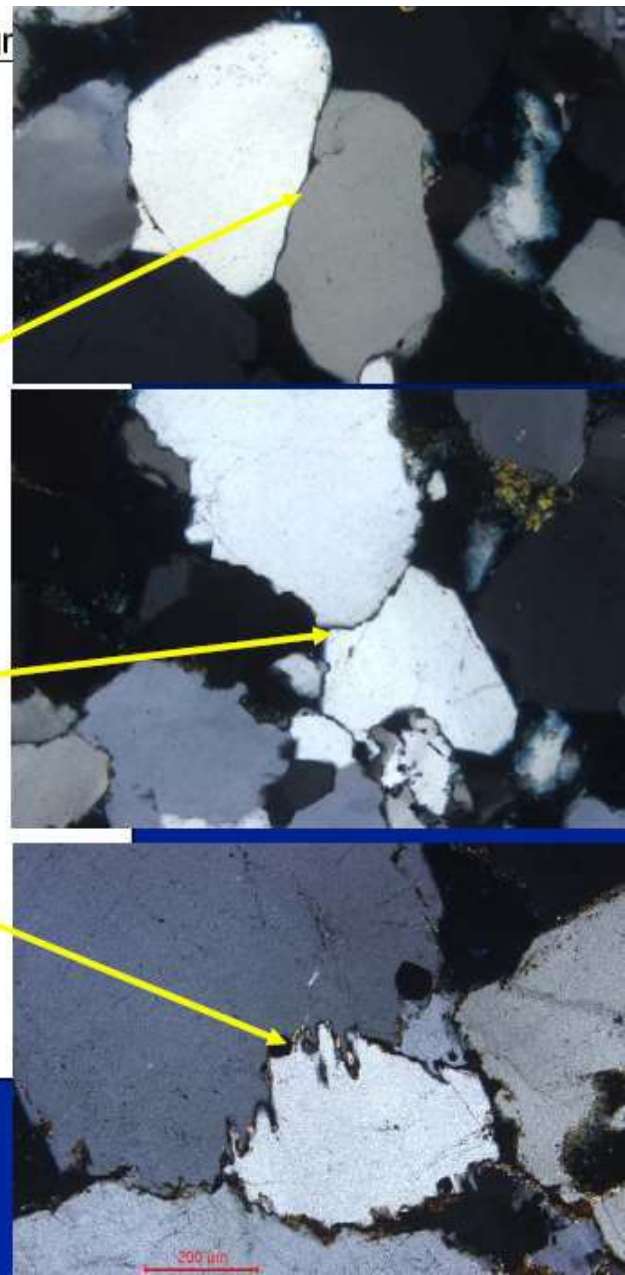


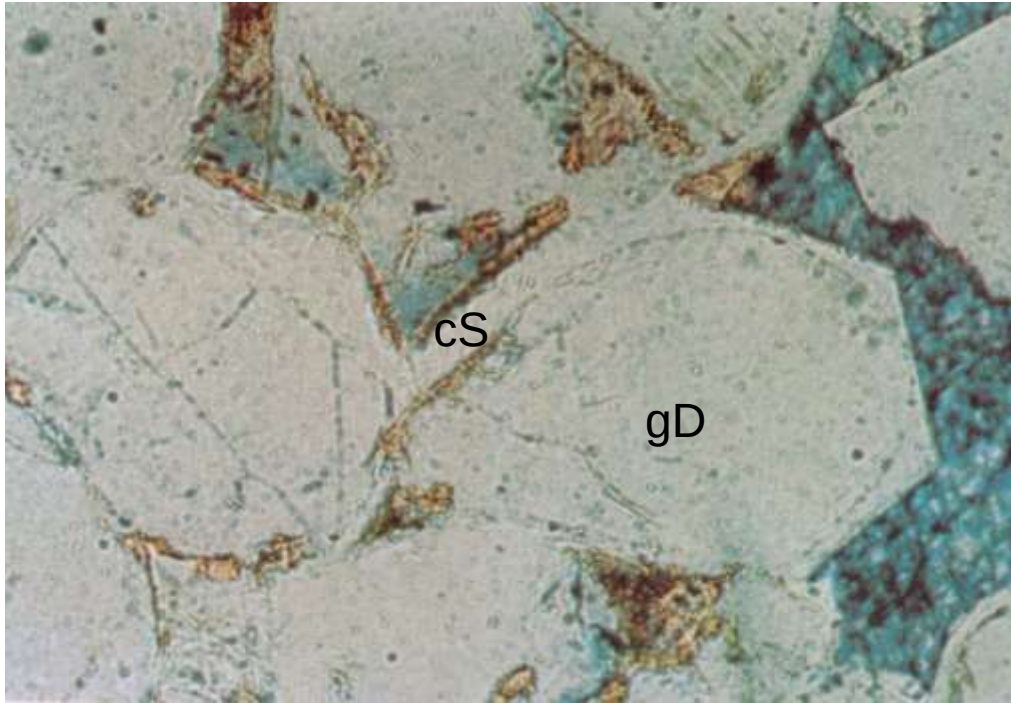
Gradient de température (1 °C/30m) et de pression (1bar/4m)

La compaction mécano-chimique : les différents types de contacts entre les gr

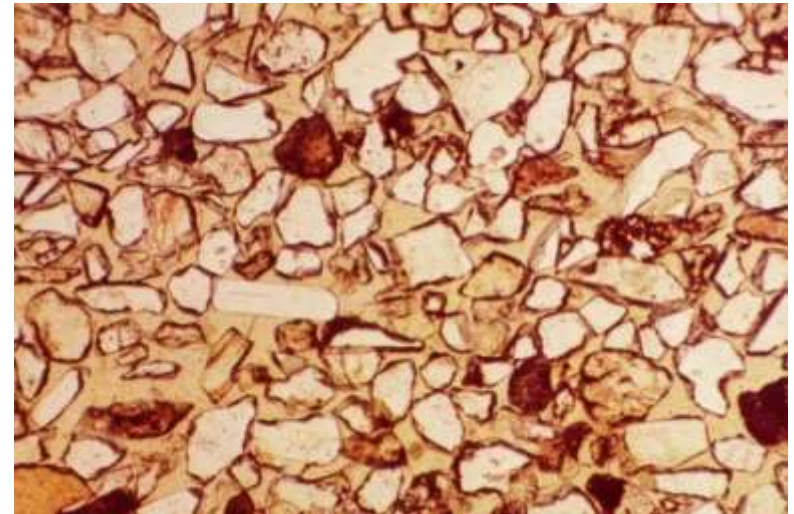


D'après Tucker M. (1988)

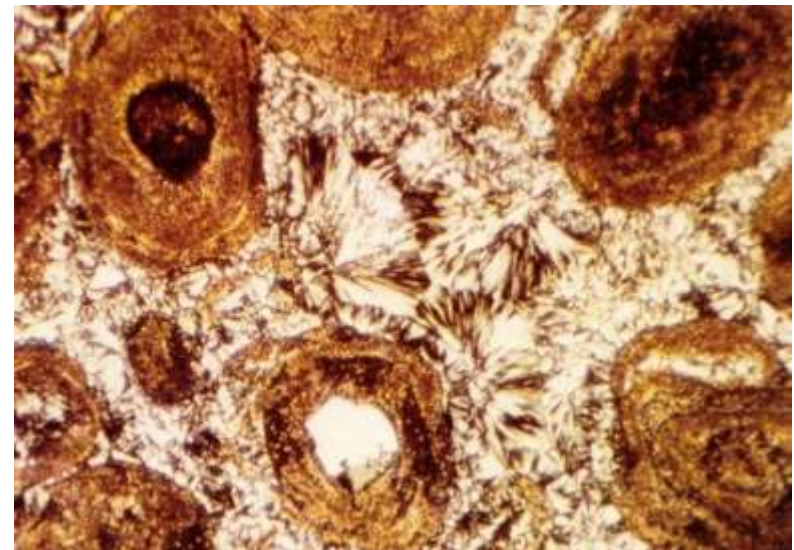
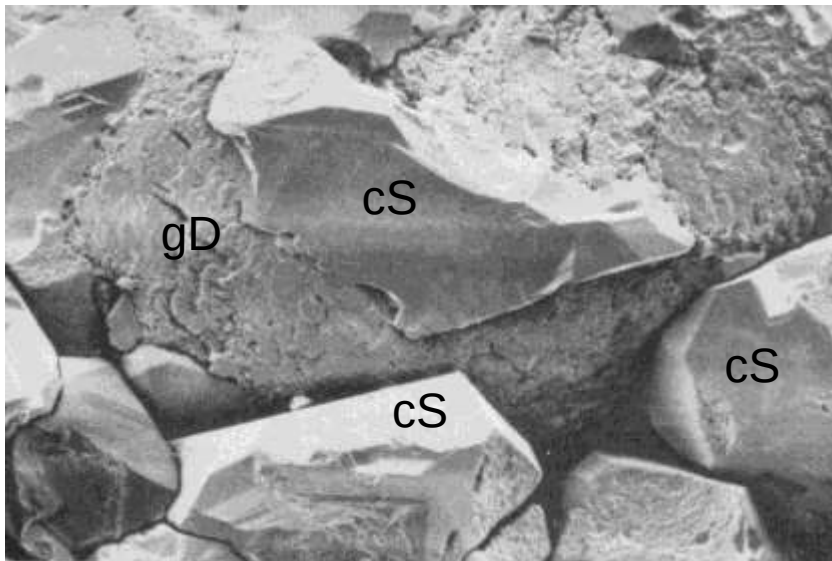




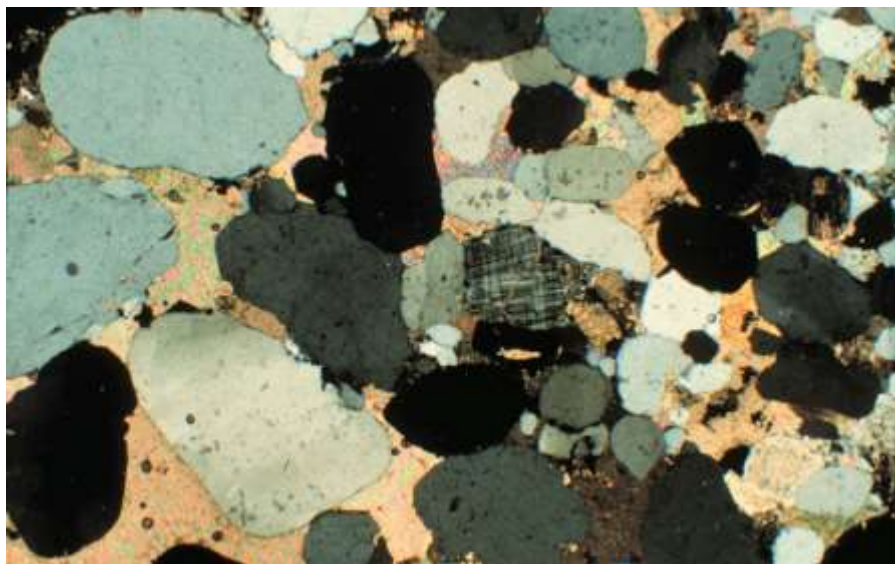
Ciment siliceux



Ciment d'opale



Ciment de calcédoine fibreuse

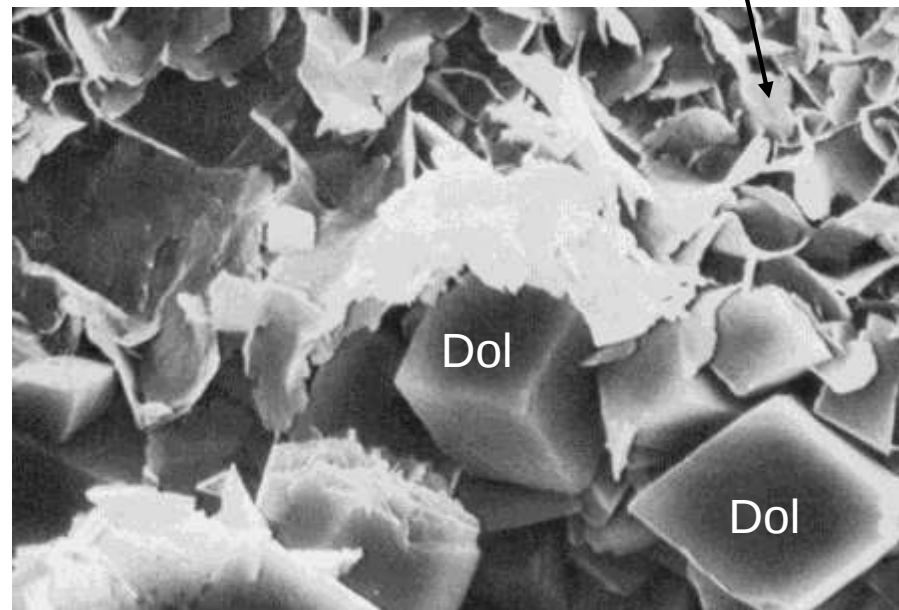
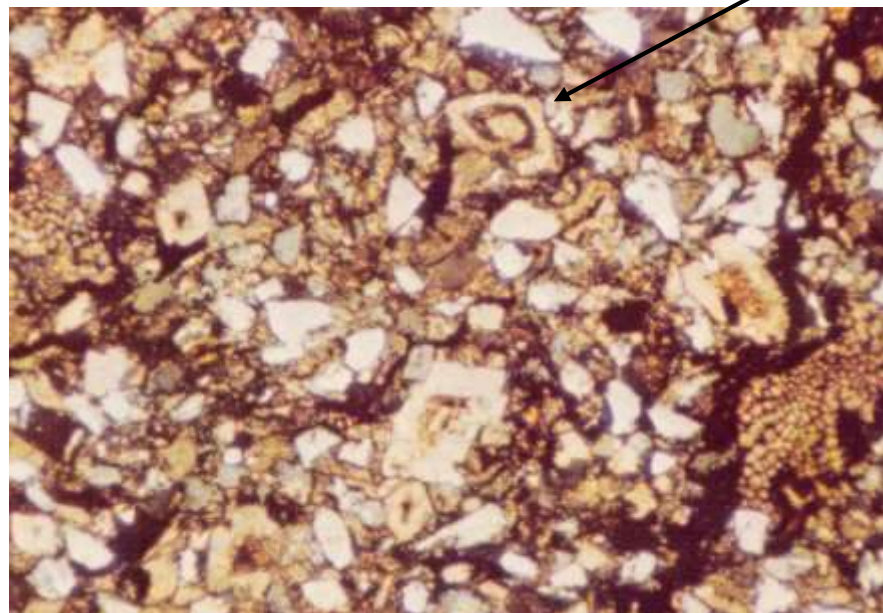


Cimentation carbonatée

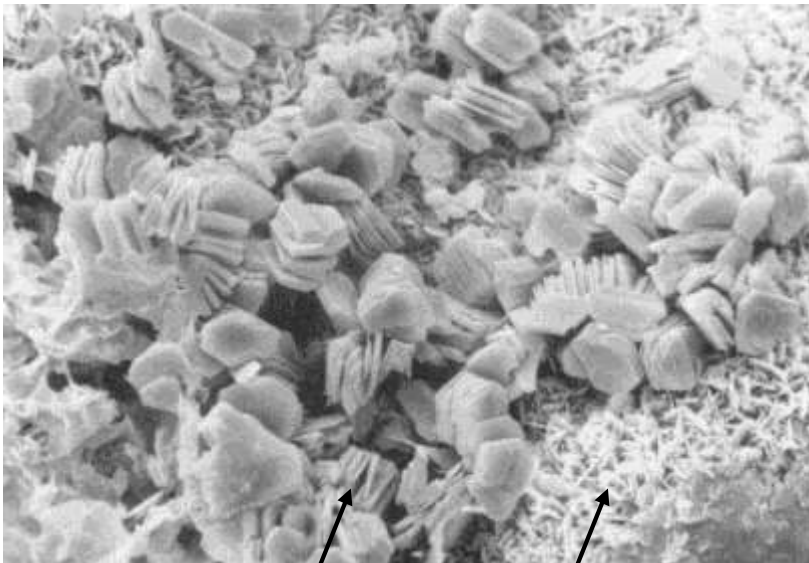
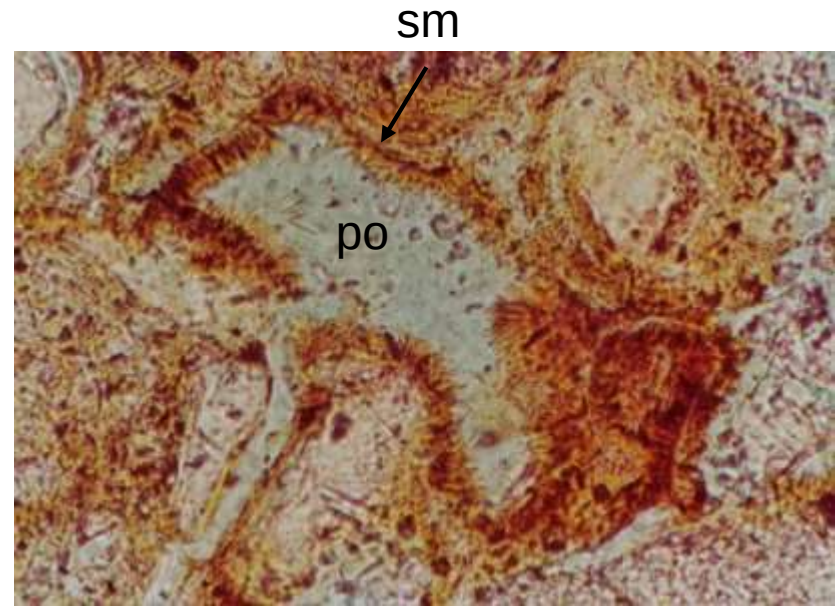
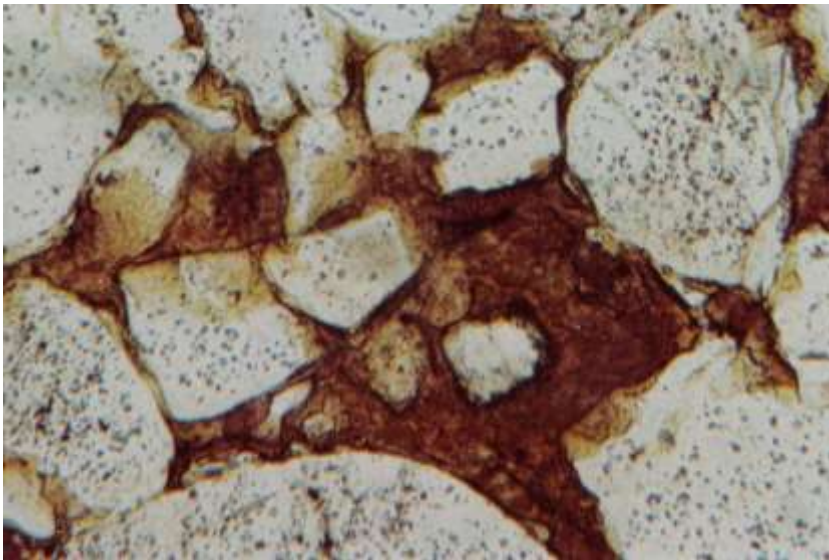
- Calcite
- Dolomite
- Ankérite
- Sidérite

Dolomite

argiles

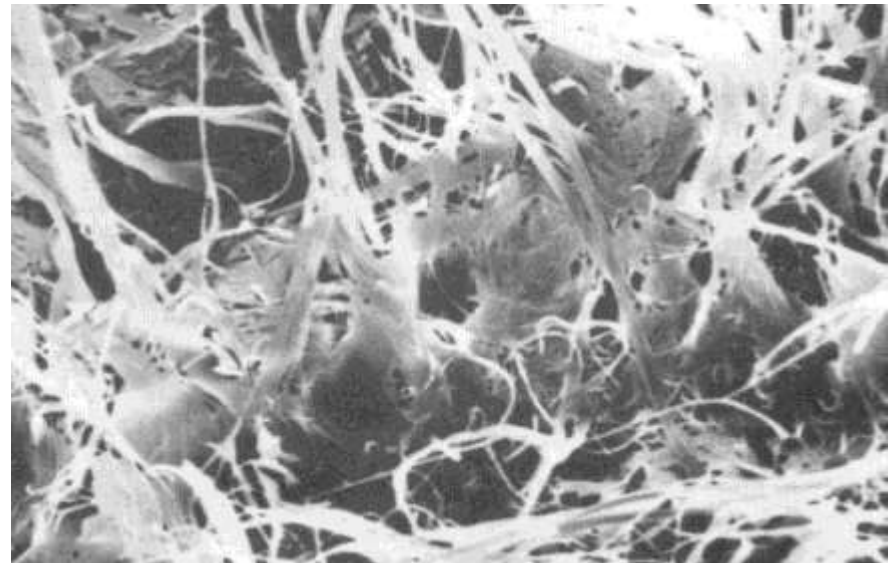


Cimentation par des néoformations d'argiles

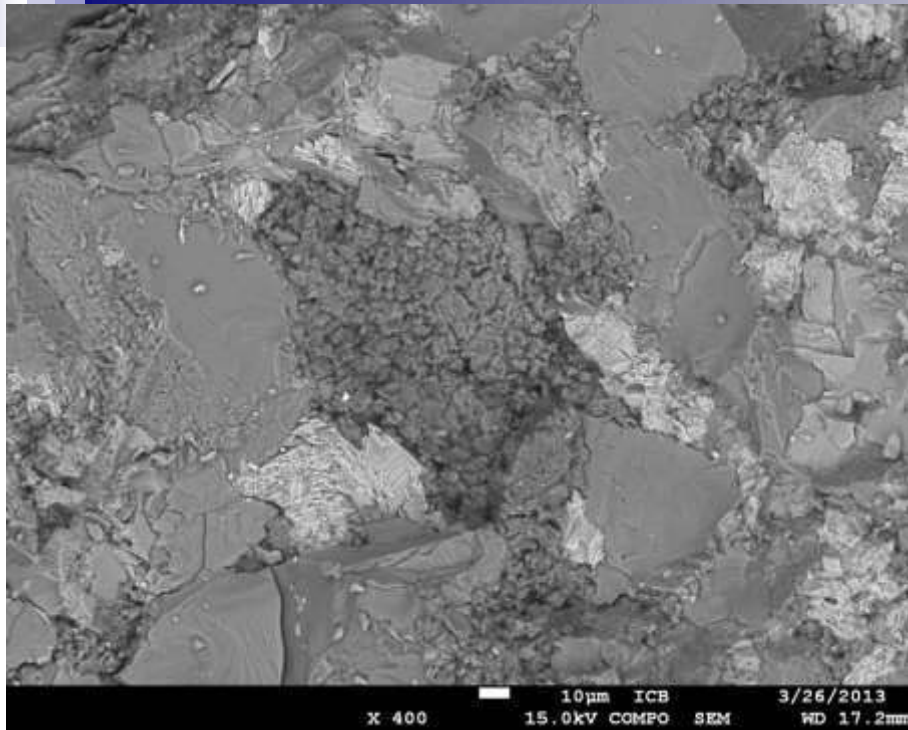


kaolinite

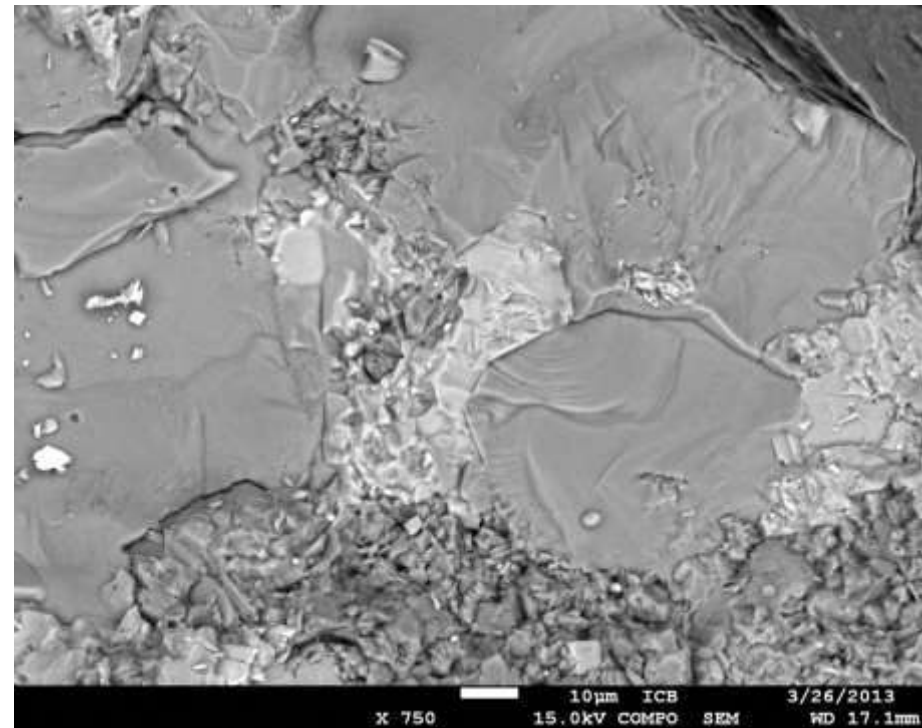
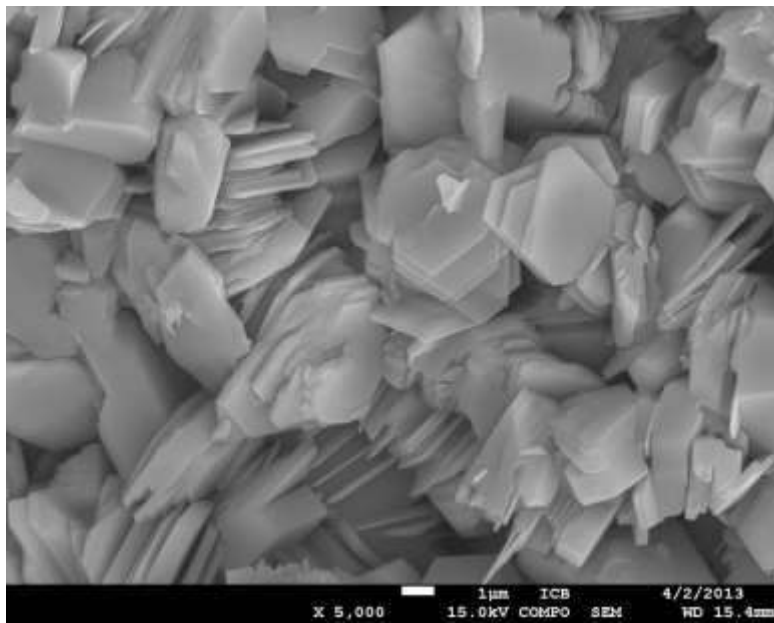
chlorite



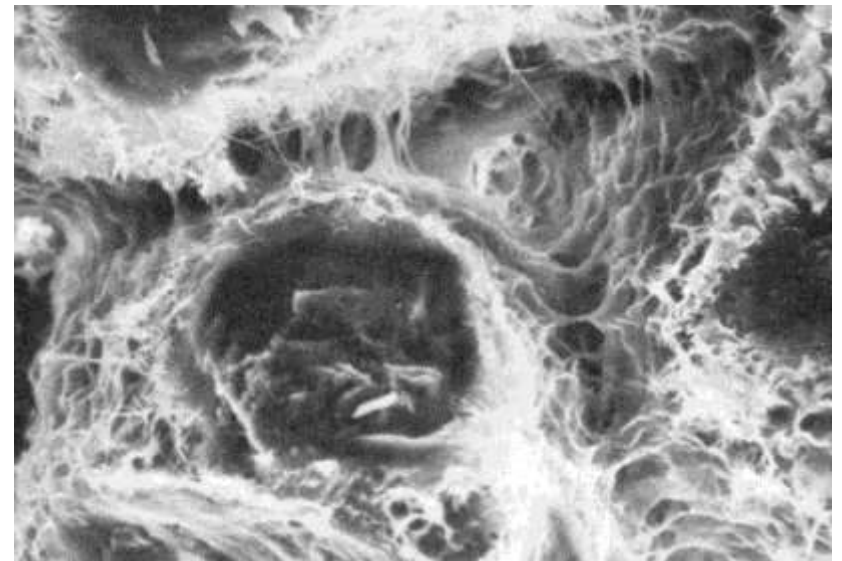
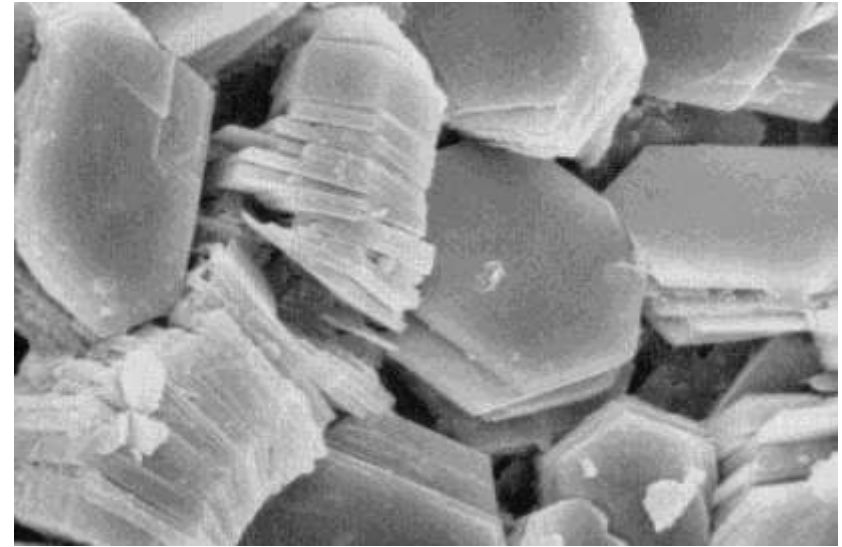
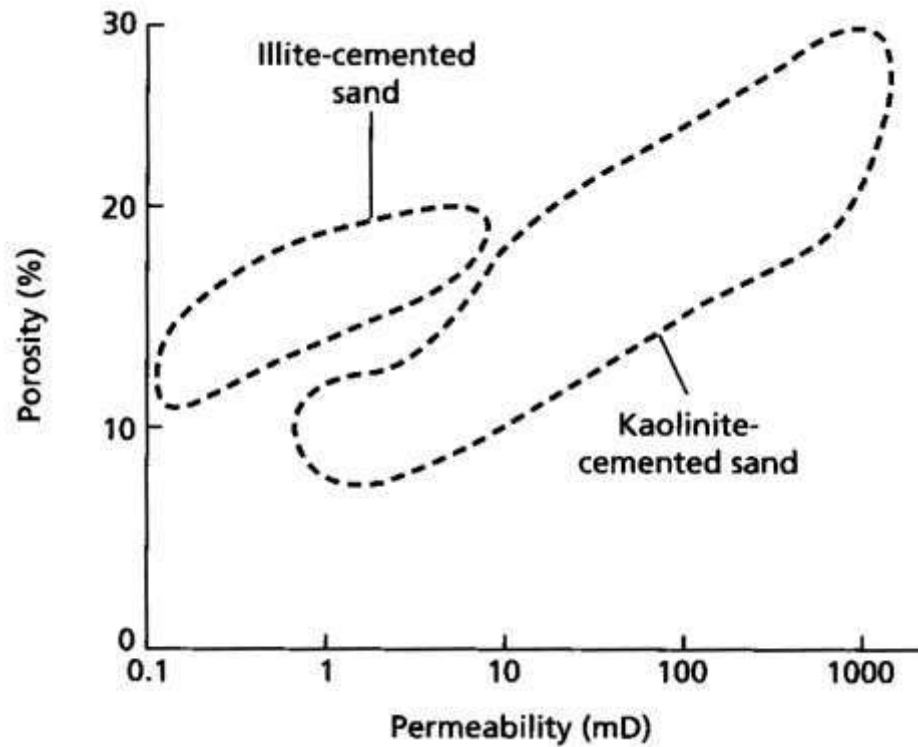
Feuillets d'illite en fibres



Exemple de poronécrose par de la kaolinite authigène dans un grès réservoir (Dévonien, Algérie)



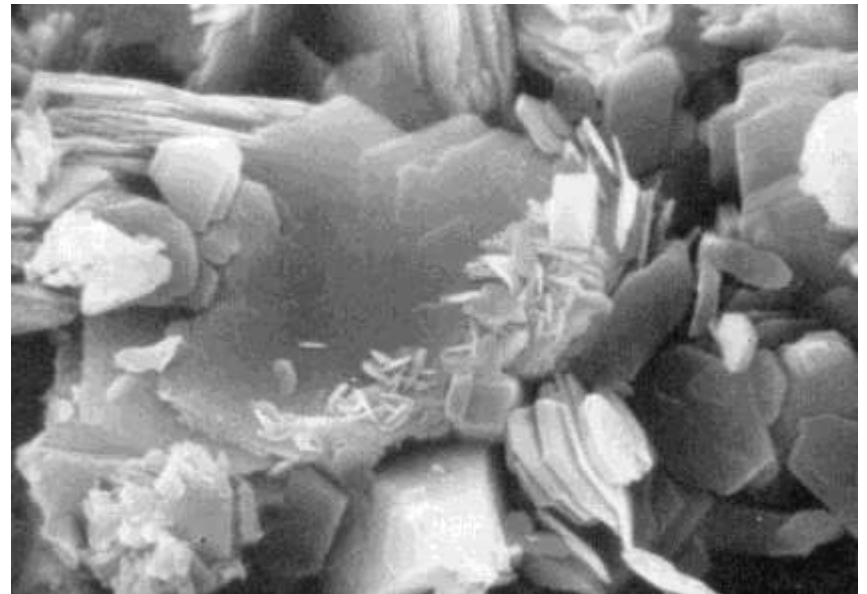
Relation porosité / néoformation argileuse



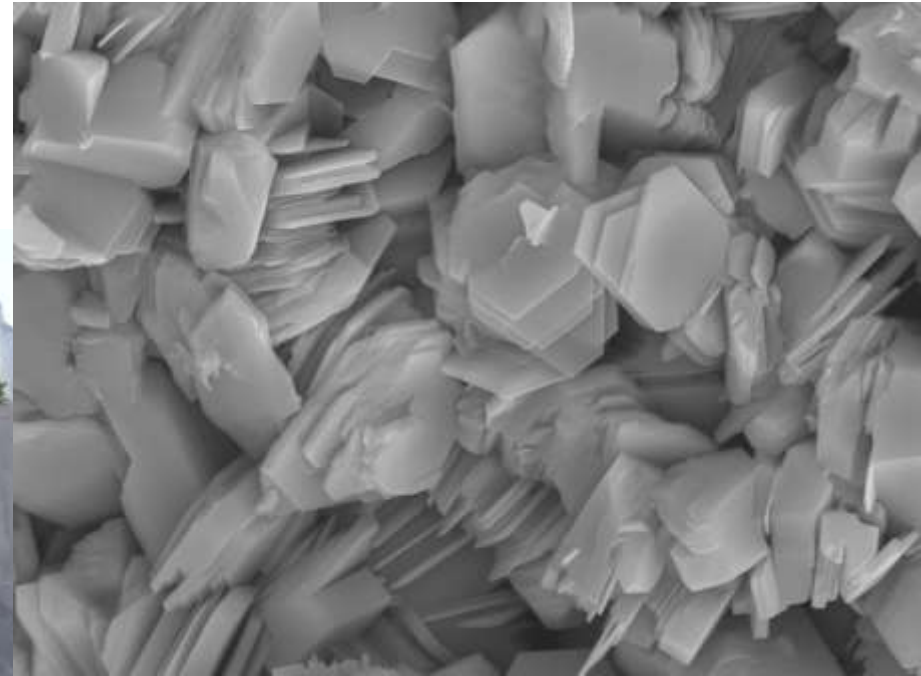
Illite néoformées retardant les circulations



Cimentation par de l'hématite



3 – Pétrographie des lutites



3.1 Diversité des environnements sédimentaires



Dépôts éolien de loess:

Environnement continentaux
périglaciaires ou désertique



Dépôts fluviatiles et lacustres : décantation (lac alpin vidangé)



Baies, estuaires, lagunes





Environnement côtiers (tidaux) :

Flaser bedding

Lenticular bedding



Environnements marins plate-forme (Jurassique moyen, France)



Environnements pélagiques – héli-pélagiques (Crétacé inférieur Allemagne)



3.2 Les textures et colorations

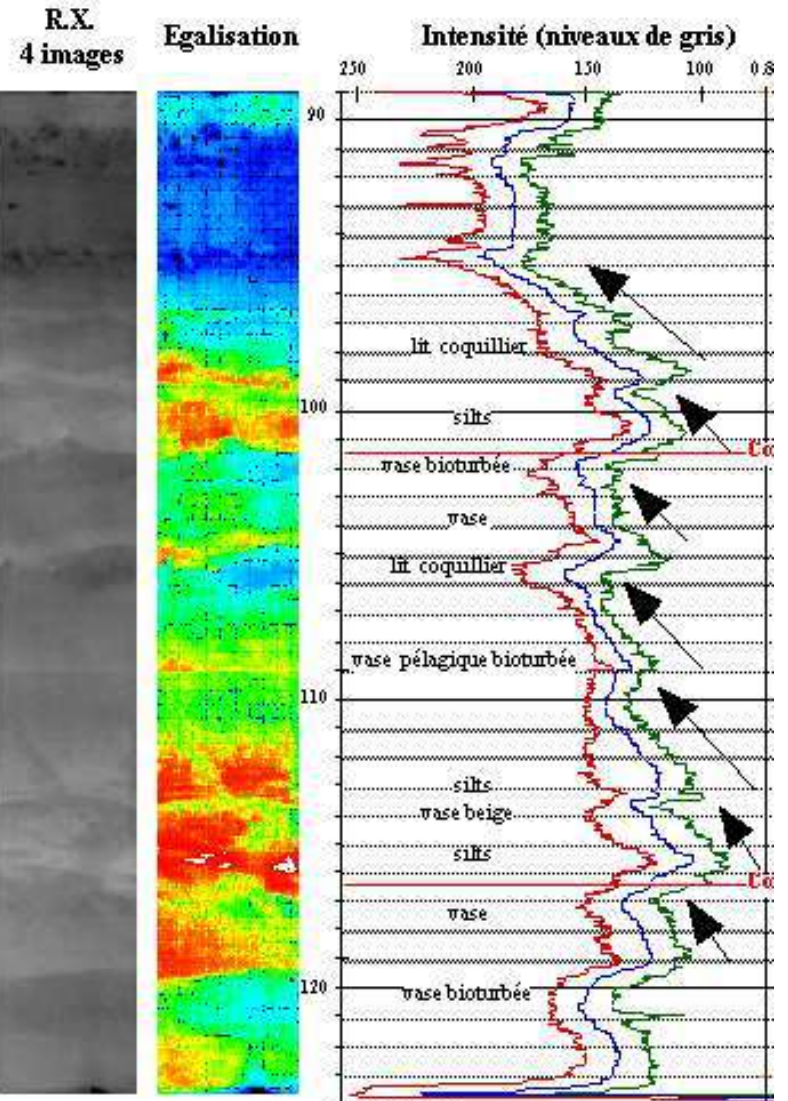
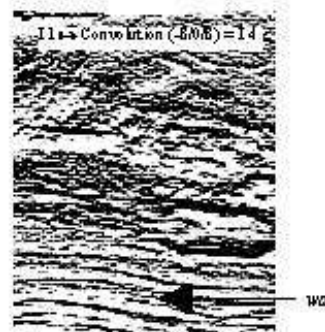
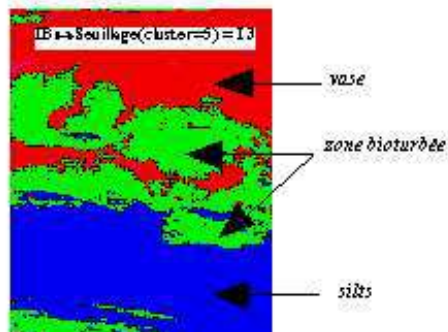


Radioscopie RX

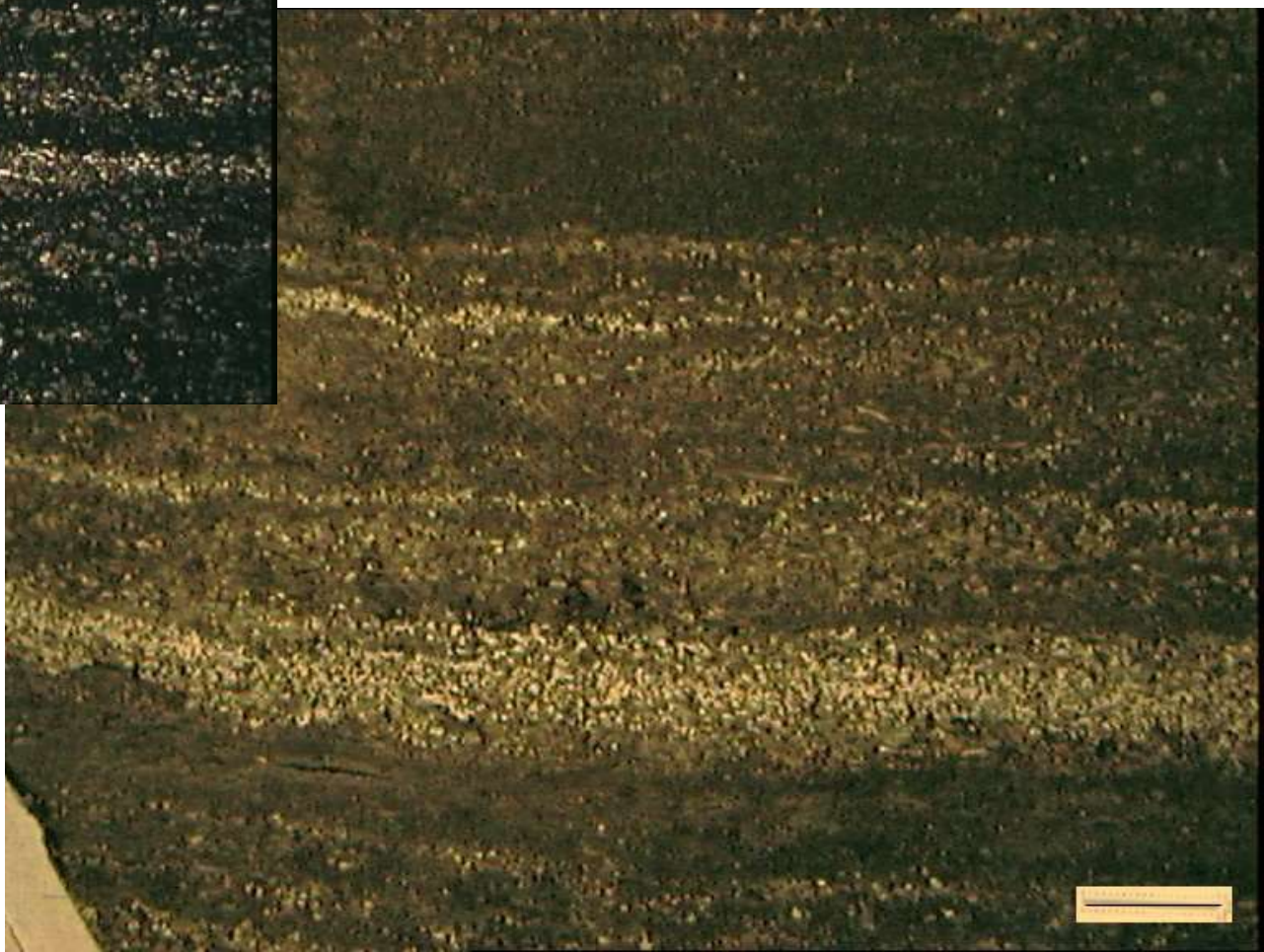


Limites de faciès

Structures



Exemple de laminations : courants de fond



Exemple de laminations : dépôts varvaires

Green Lake Couplets

(00-GRN(B) 75-78.5cm)

1695AD

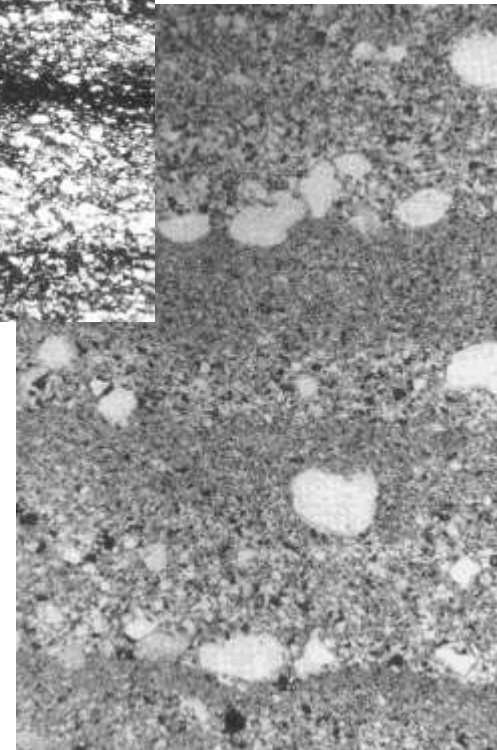
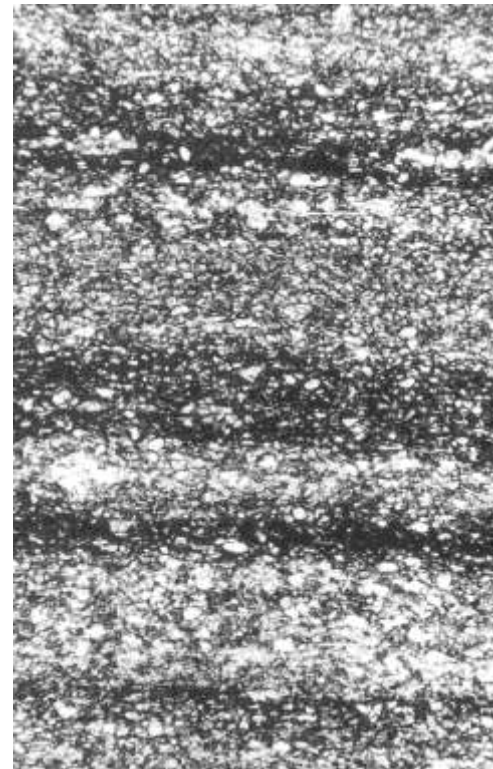
1 cm

late season

interflows

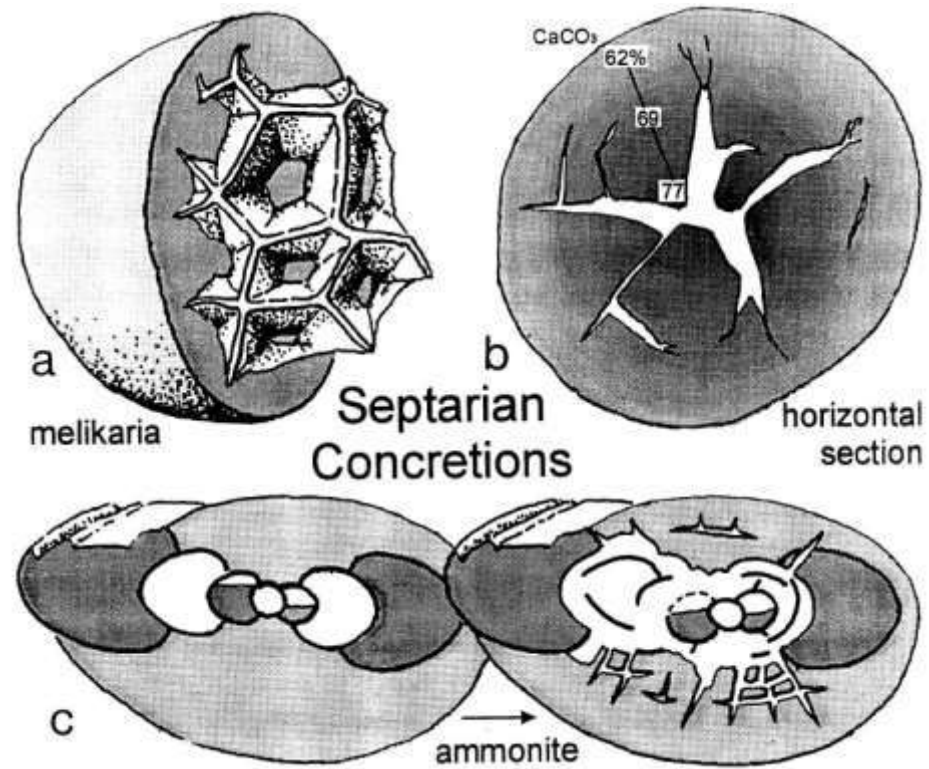
late season

1690AD





Nodules et septaria

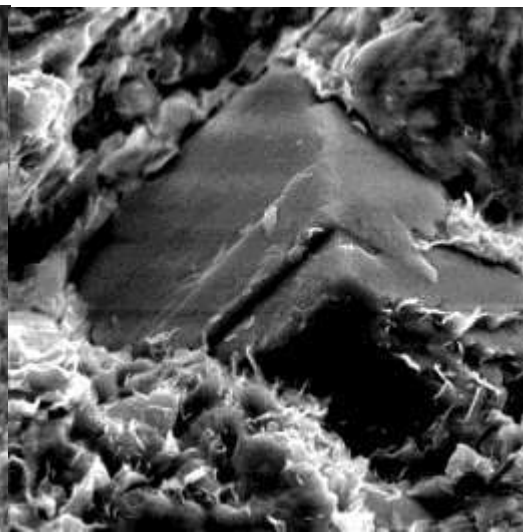
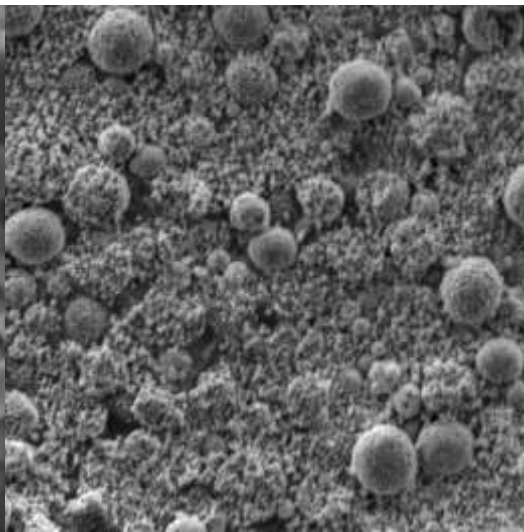
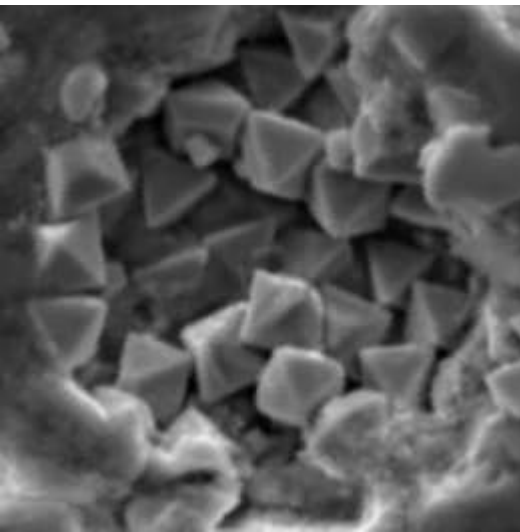
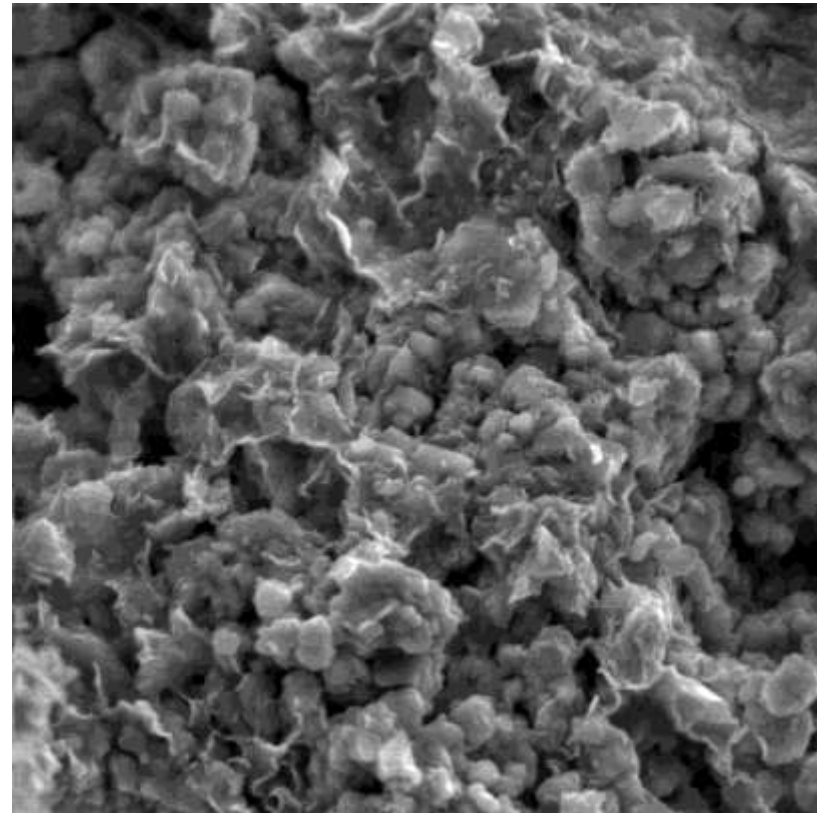


Rôle de l'oxydo-réduction :

Fer ferreux vs fer ferrique

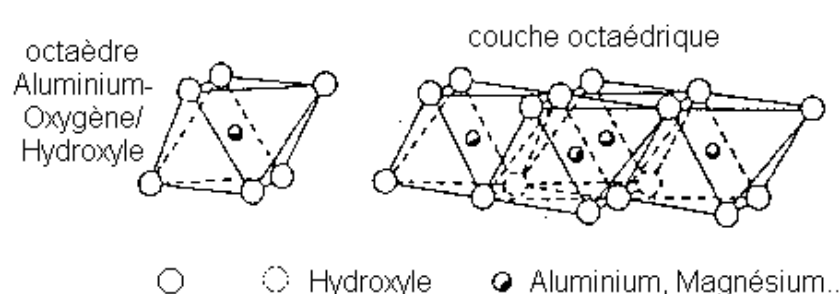
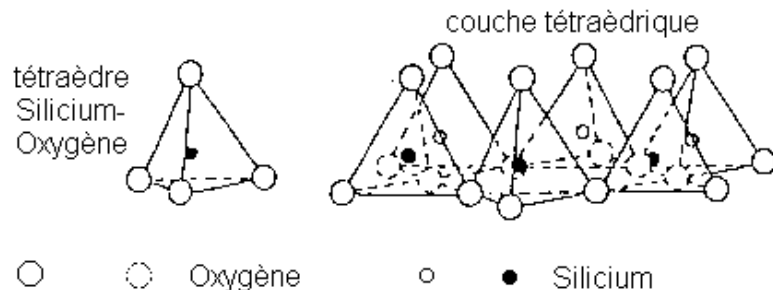


3.3 Les éléments constitutifs

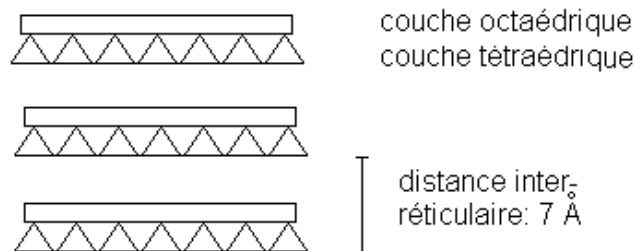


Quartz
Feldspath
Carbonate
Pyrite
MO
Argiles

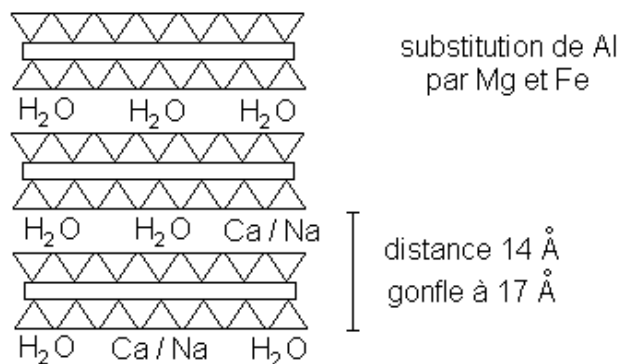
Minéraux argileux



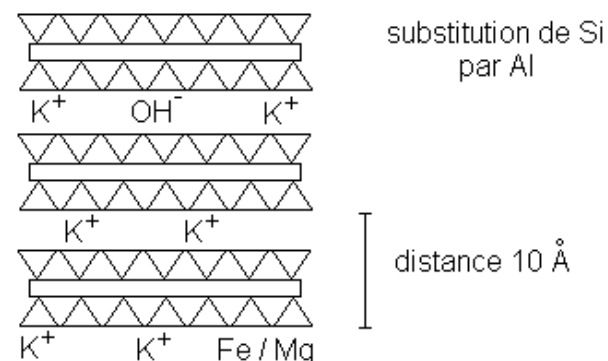
KAOLINITE $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$



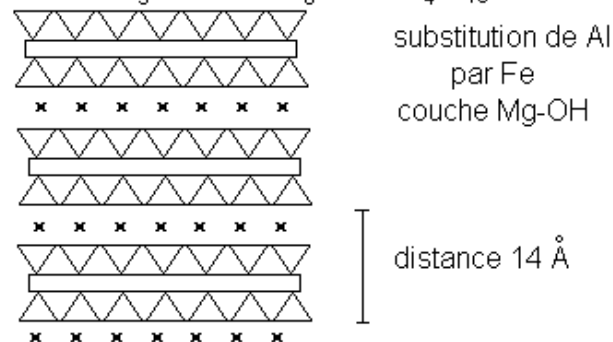
SMECTITES $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$
(Montmorillonite) $(\text{Mg}, \text{Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$



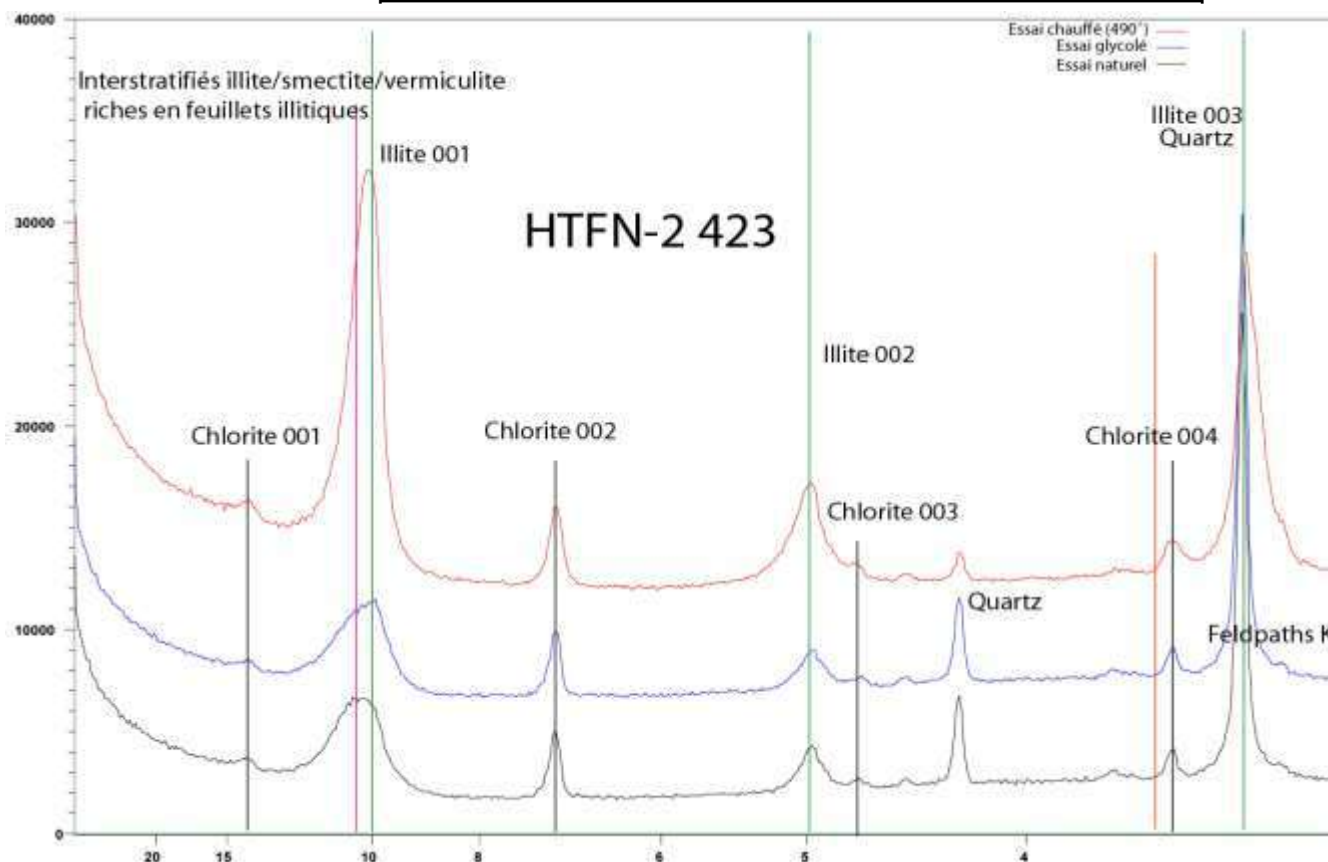
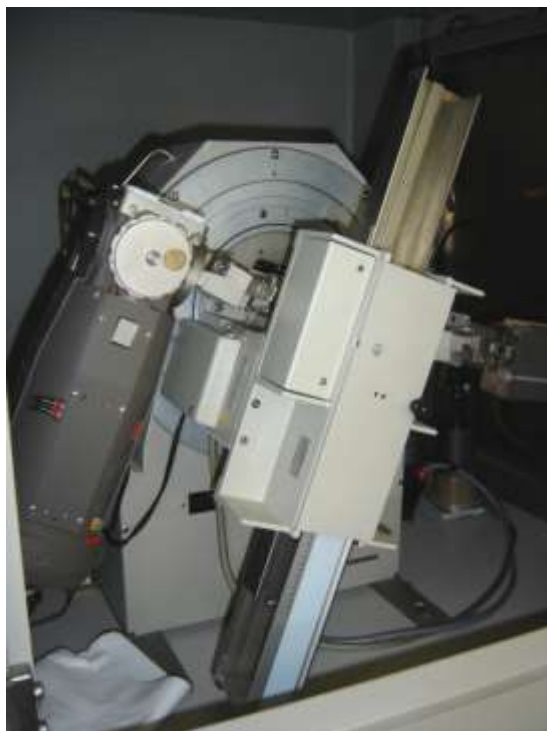
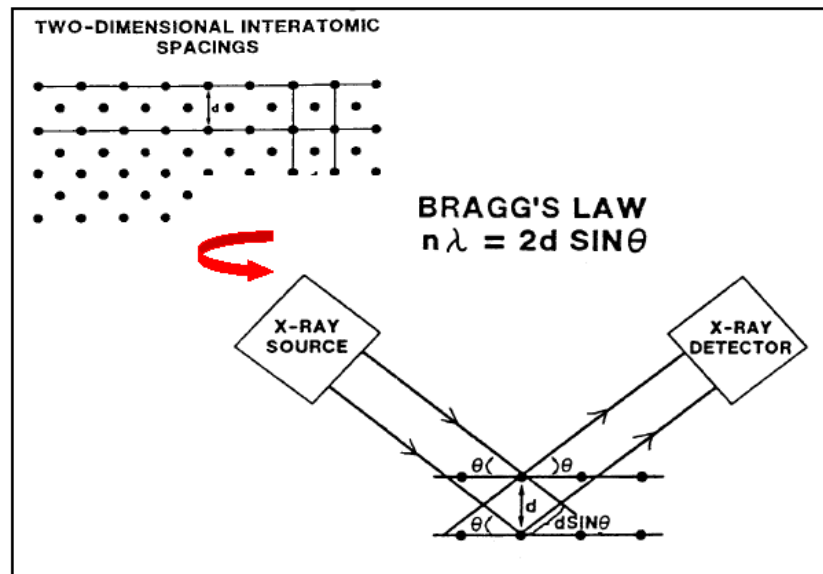
ILLITE $\text{K Al}_2(\text{OH})_2 \cdot (\text{Al Si}_3(\text{O}, \text{OH})_{10})$



CHLORITE $\text{Mg}_5(\text{Al}, \text{Fe})(\text{OH})_8(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}$



DRX

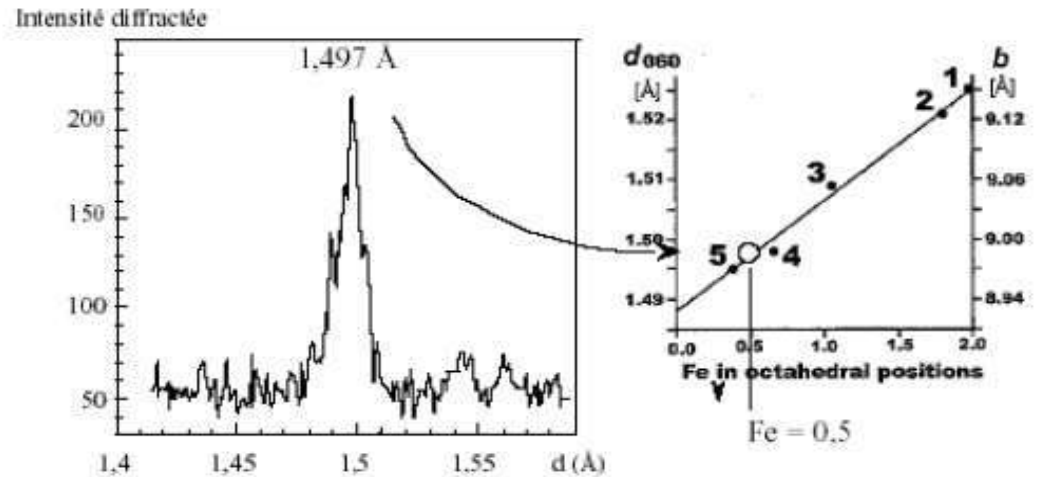


DRX

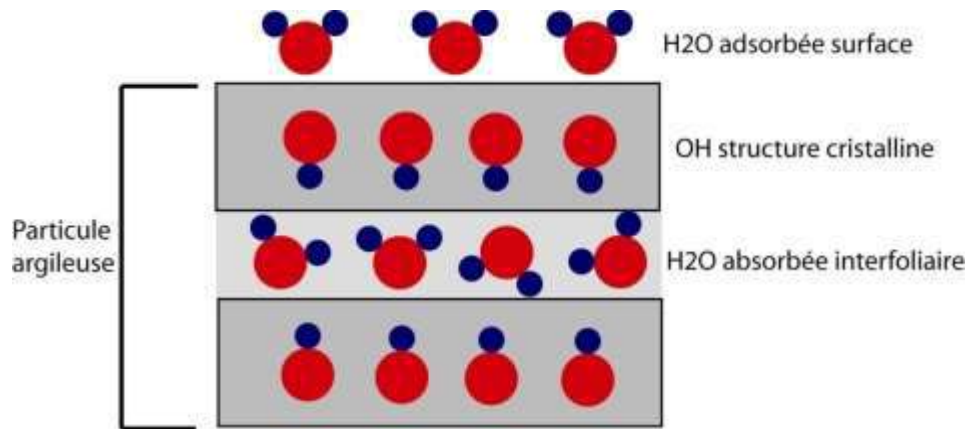
- Poudre
- paramètre b
- Indice de cristallinité
- Modélisation

Diffraction raie (060)
Paramètres b maille

Dioctaédrique vs trioctaédrique



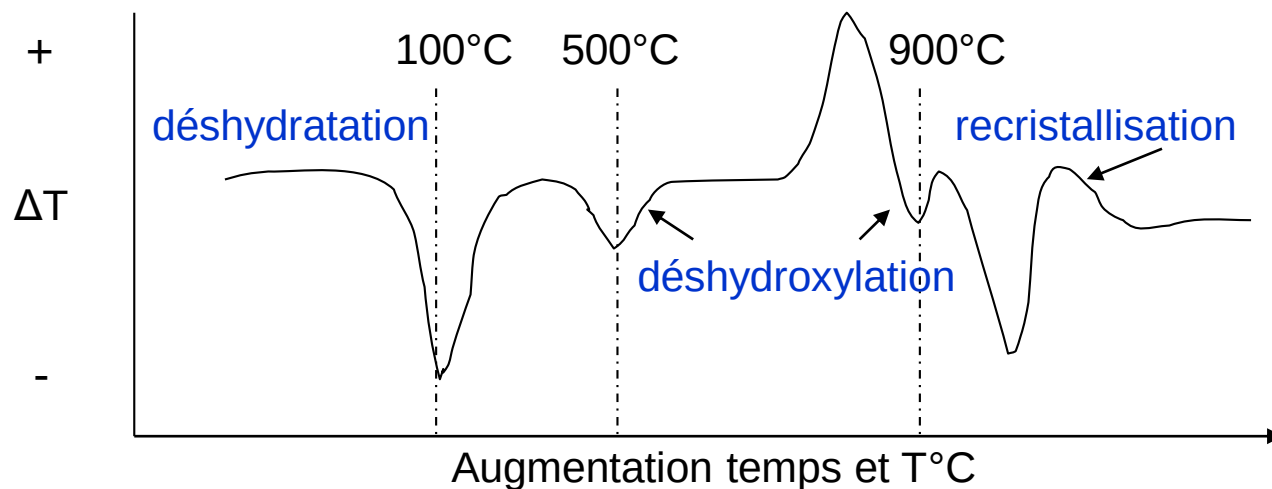
Localisation de l'eau dans les argiles/ CEC / ATD-ATG



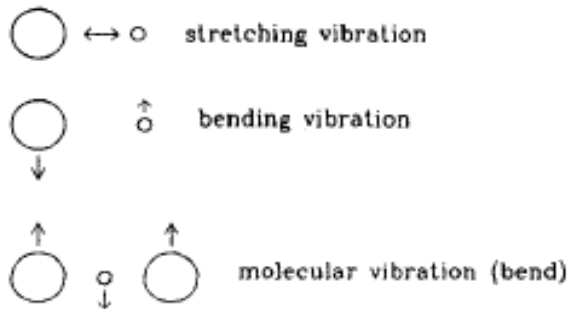
Thermal Data for Selected Minerals

Mineral	Weight Loss 300-1000°C	Converted Constituent	Reaction	DTA Differential Thermal Peak (°C)
Kaolinite	14%	OH-Al	- dehydroxylation -	550 - 600
Dickite	14%	OH-Al	- dehydroxylation -	680 - 700
Nacrite	14%	OH-Al	- dehydroxylation -	680 - 700
Serpentine	14%	OH-Mg	- dehydroxylation -	650 - 820
Illite	5%	Adsorbed H ₂ O	- dehydration -	150 - 160
		OH-Fe, Al	- dehydroxylation -	500 - 800
		OH-Mg	- dehydroxylation -	900 - 920
Montmorillonite	5%	Adsorbed H ₂ O	- dehydration -	100 - 250
		OH-Al	- dehydroxylation -	670 - 710
		OH-Mg	- dehydroxylation -	850 - 900
Nontronite	5%	Adsorbed H ₂ O	- dehydration -	150 - 170
		OH-Fe	- dehydroxylation -	500 - 600
Chlorite	14%	OH-FE	- dehydroxylation -	250 - 550
		OH-Al	- dehydroxylation -	500 - 750
		OH-Mg	- dehydroxylation -	650 - 850

Analyse thermique différentielle

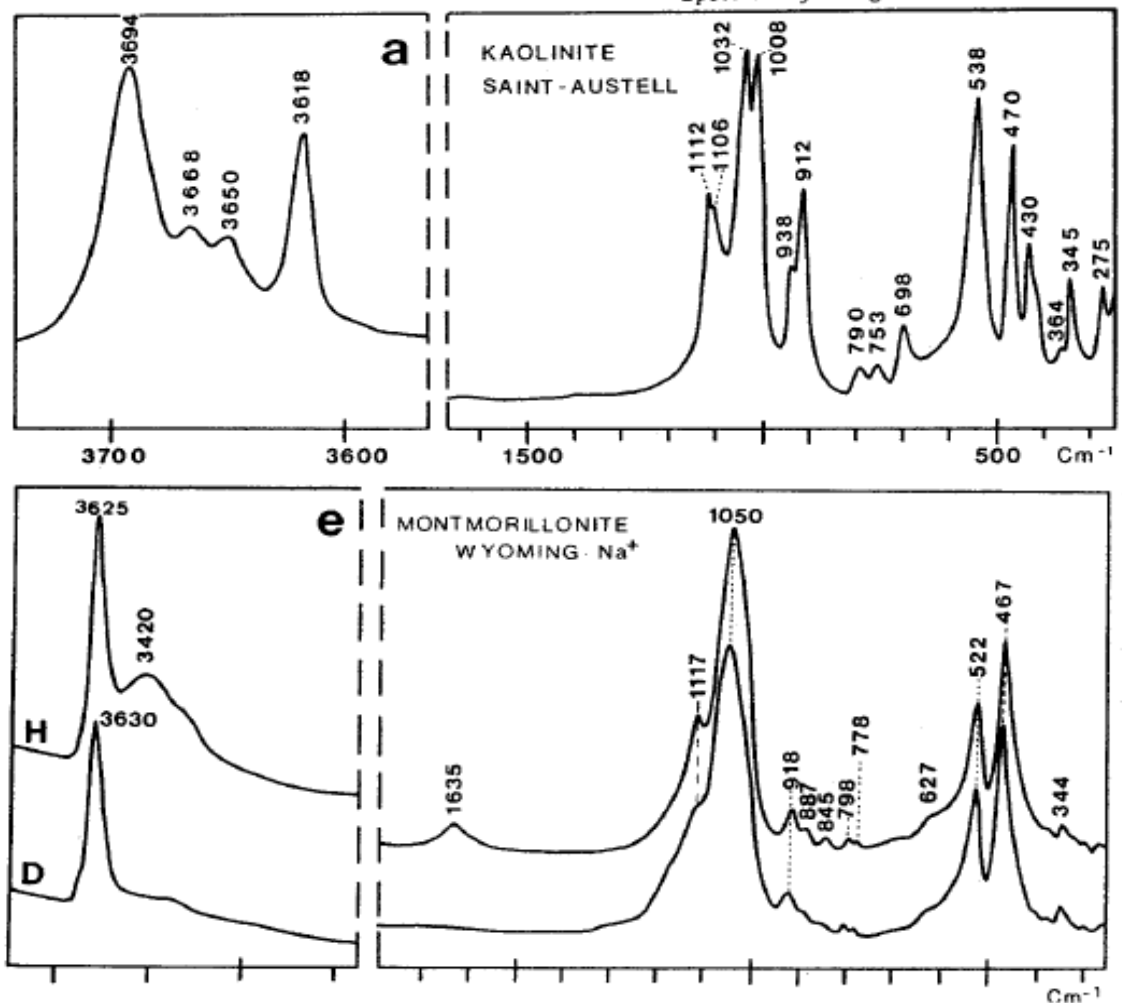


La spectroscopie IR



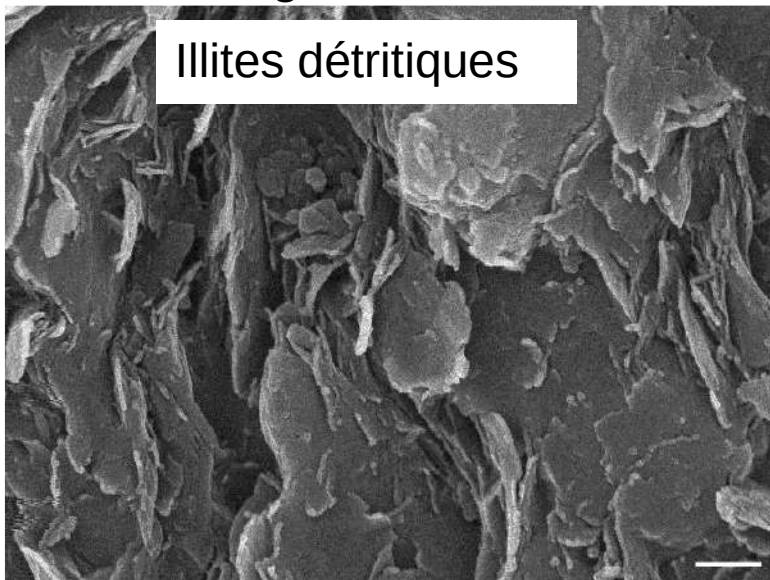
Position bande absorption dépend :

- Type feuillets (dioctaédrique – trioctaédrique)
- Nature cations octaèdre
- Taux de remplissage



Imagerie MEB

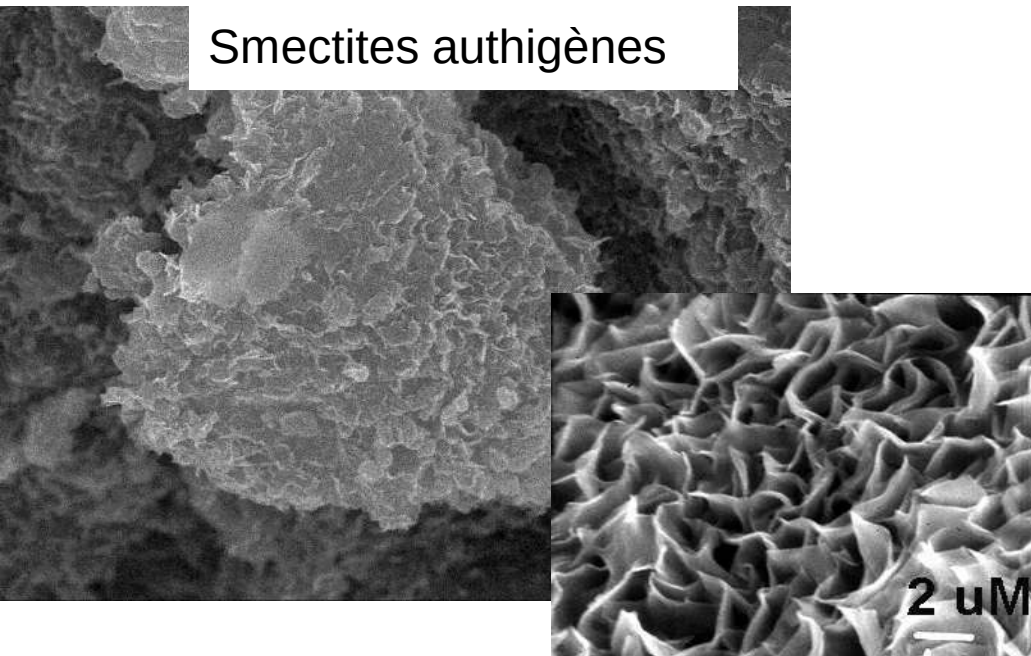
Illites détritiques



Illites authigènes

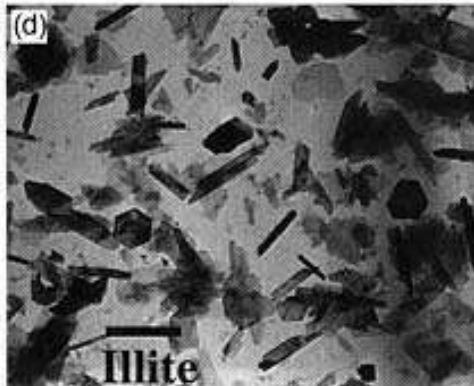
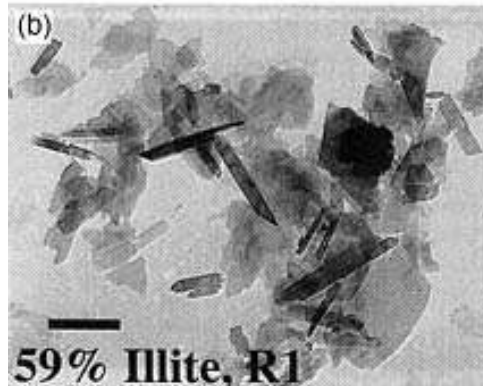
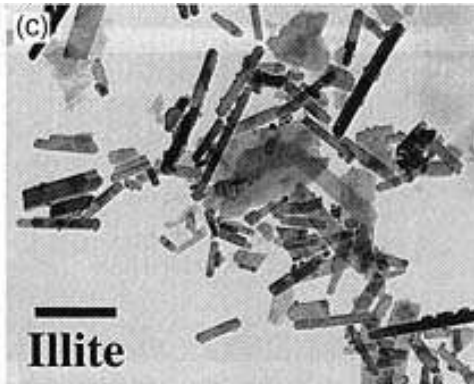
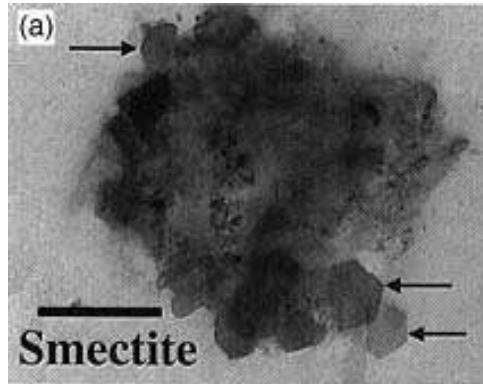


Smectites authigènes



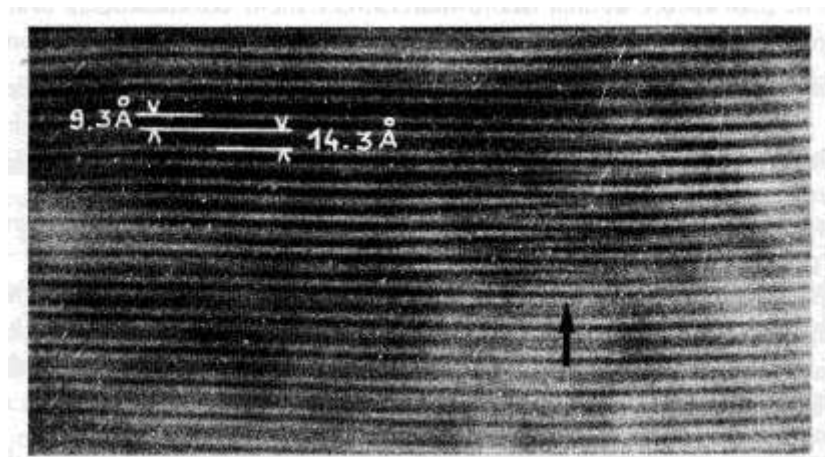
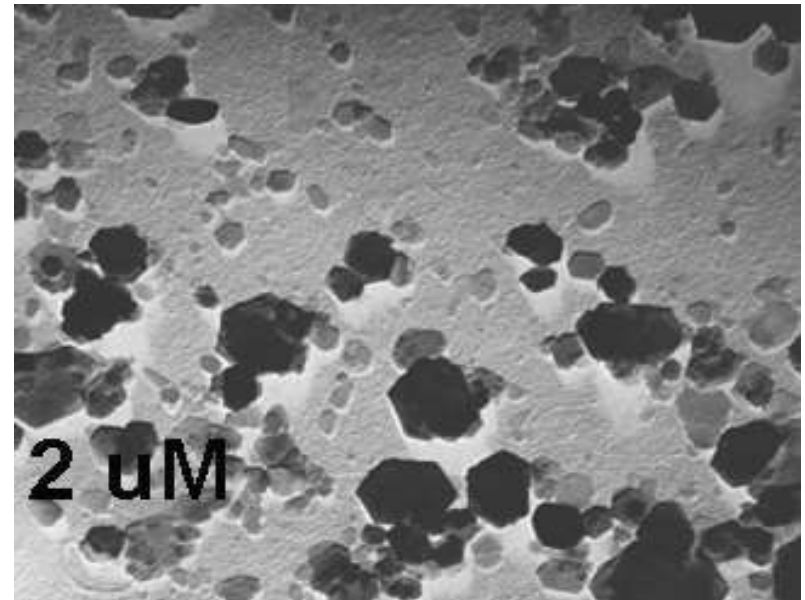
Kaolinites authigènes





Imagerie MET

Kaolinites néoformées



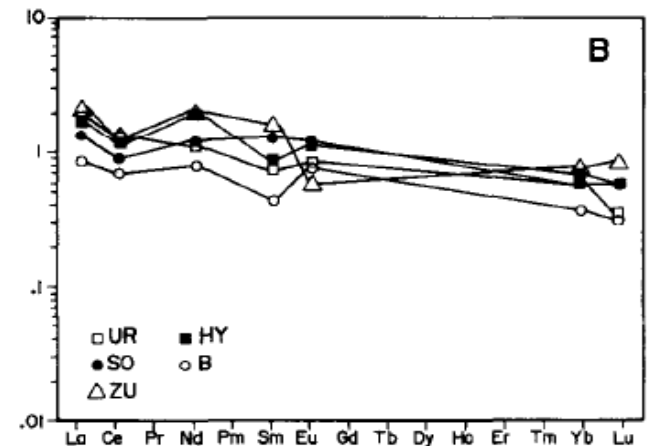
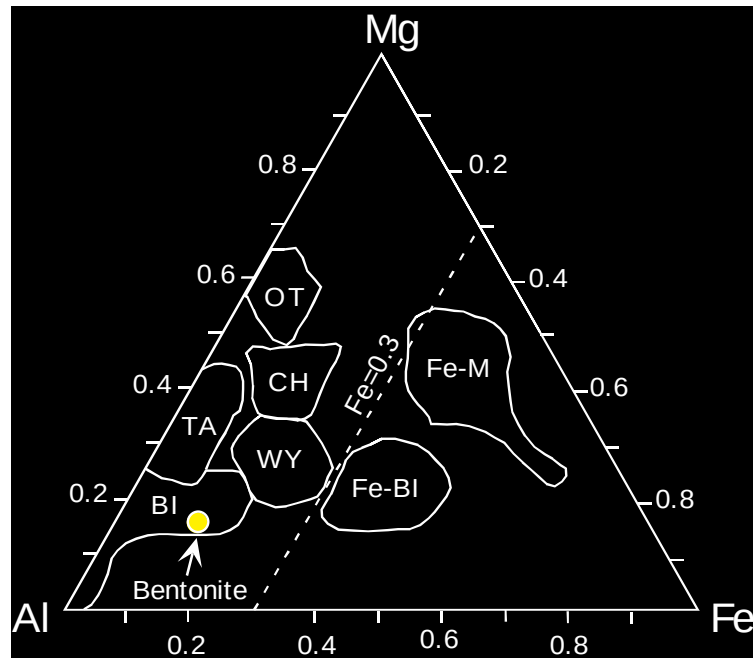
Détail fautes empilement
par HRMET

Analyses chimiques

Betic Cordilleras; dioctahedral micas formulae

Sample	Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Mg	Fe	Ti	Mn	Σ(Oct.)	K
A-K/T (0 cm)	3.23	0.77	1.21	0.28	0.53	—	—	2.02	0.98
	3.65	0.35	0.45	0.22	1.26	—	—	1.93	0.79
A-5 (1 cm -)	3.28	0.72	1.75	0.03	0.20	—	—	1.98	0.96
A-4 (23 cm -)	3.21	0.79	1.35	0.10	0.76	—	—	2.21	0.99
	3.26	0.74	1.47	0.05	0.63	—	—	2.15	0.97
CA-11 (14 cm +)	3.47	0.53	0.67	0.33	0.99	—	—	1.99	0.90
CA-5 (1 cm +)	3.50	0.50	1.56	0.17	0.17	0.13	—	1.99	0.88
CA-K/T (0 cm)	3.26	0.74	1.71	0.22	0.09	—	—	2.02	0.98
	3.47	0.53	1.35	0.10	0.62	0.04	0.05	2.16	0.83
CA-2 (8 cm -)	3.26	0.74	1.68	0.09	0.18	—	—	1.95	0.97

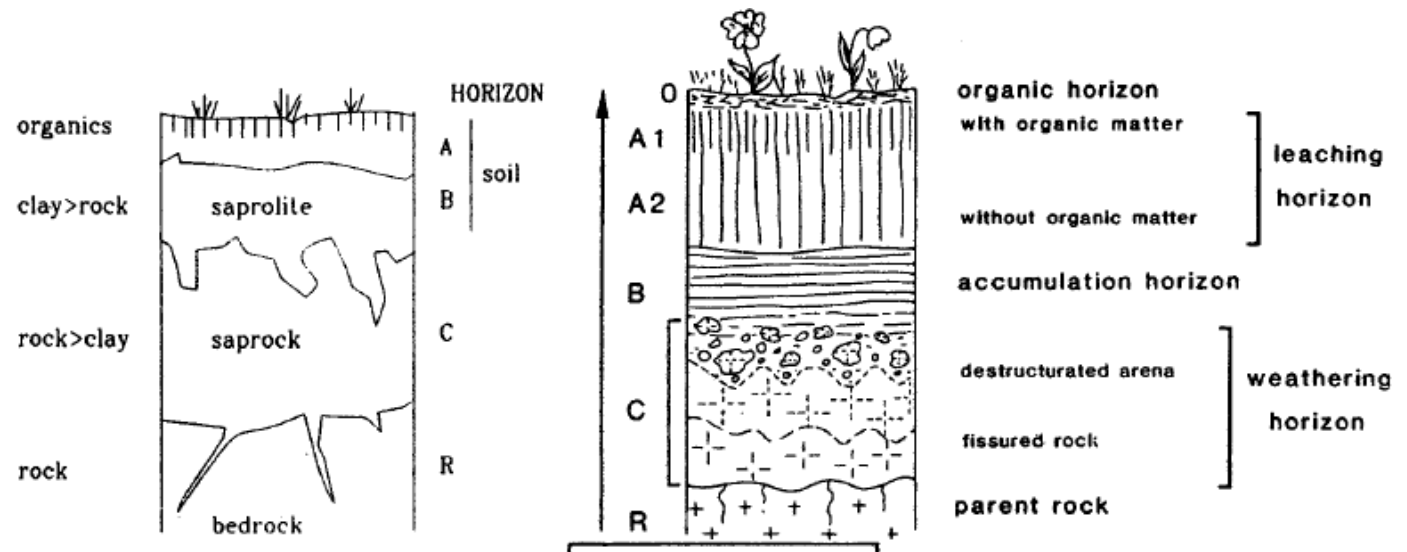
Diagramme de
Güven pour la
caractérisation
des smectites



Profils de REE normées

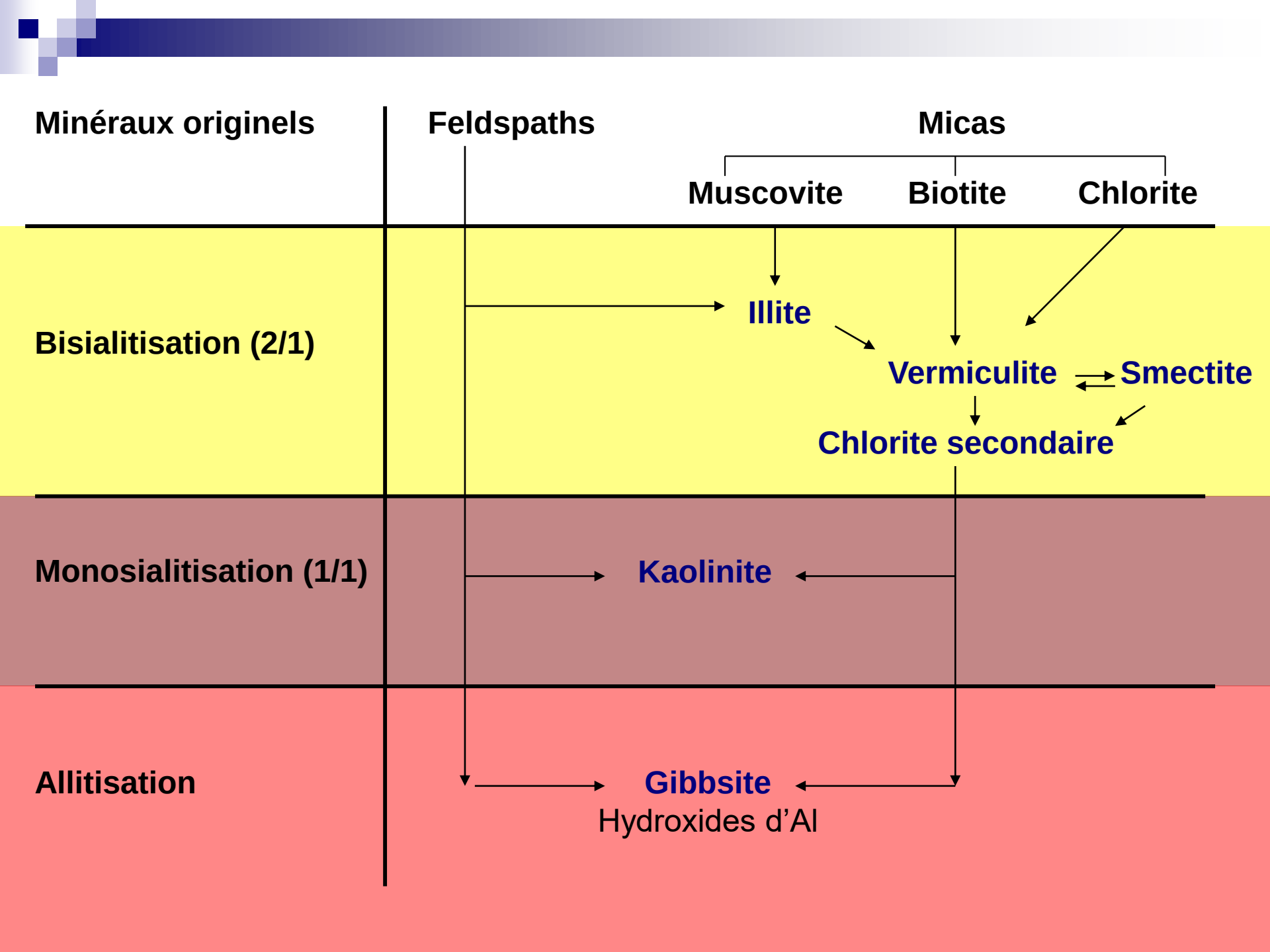
3.4 Origine et transport des argiles

Pédogenèse – profil d'altération – types d'altération

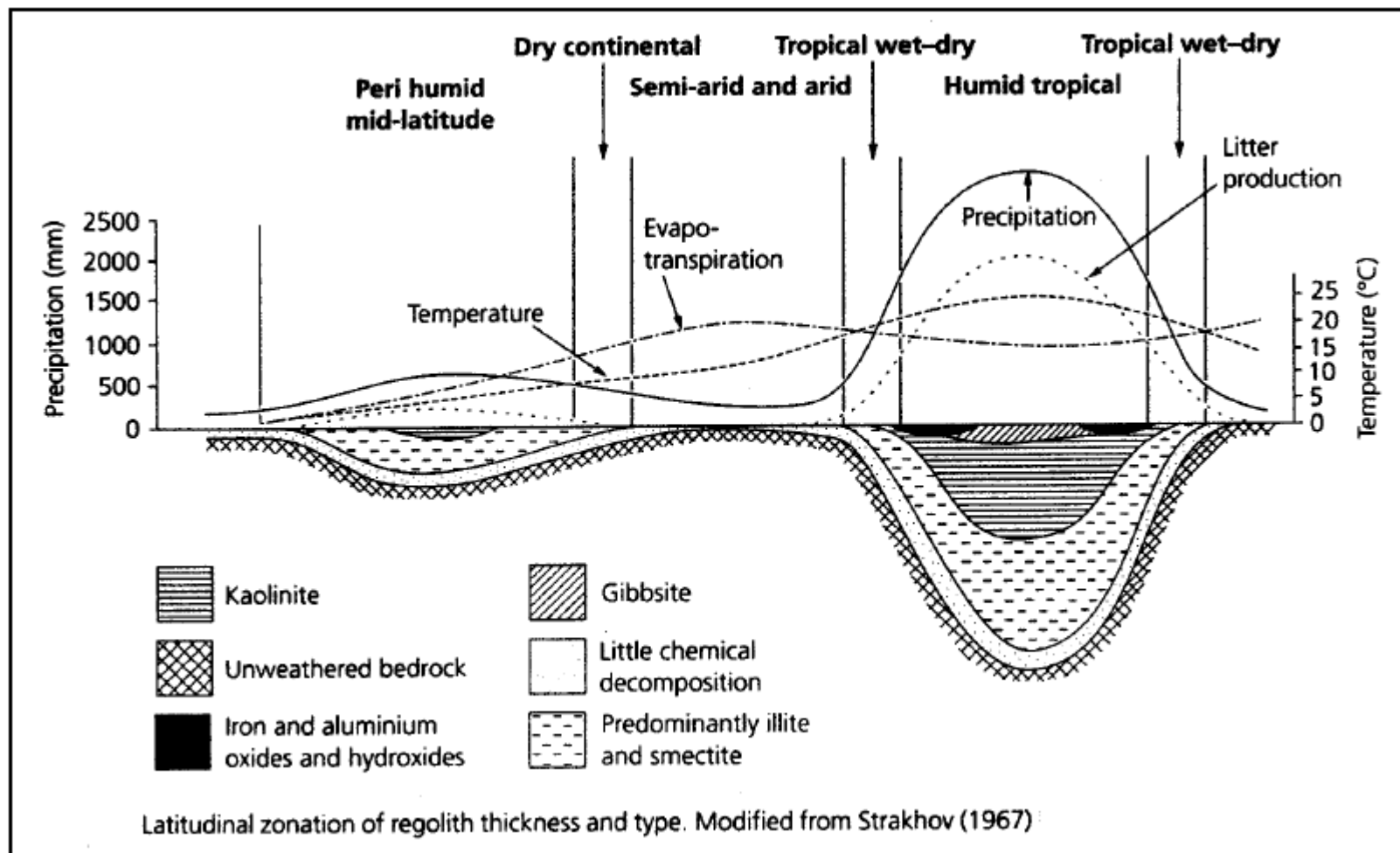


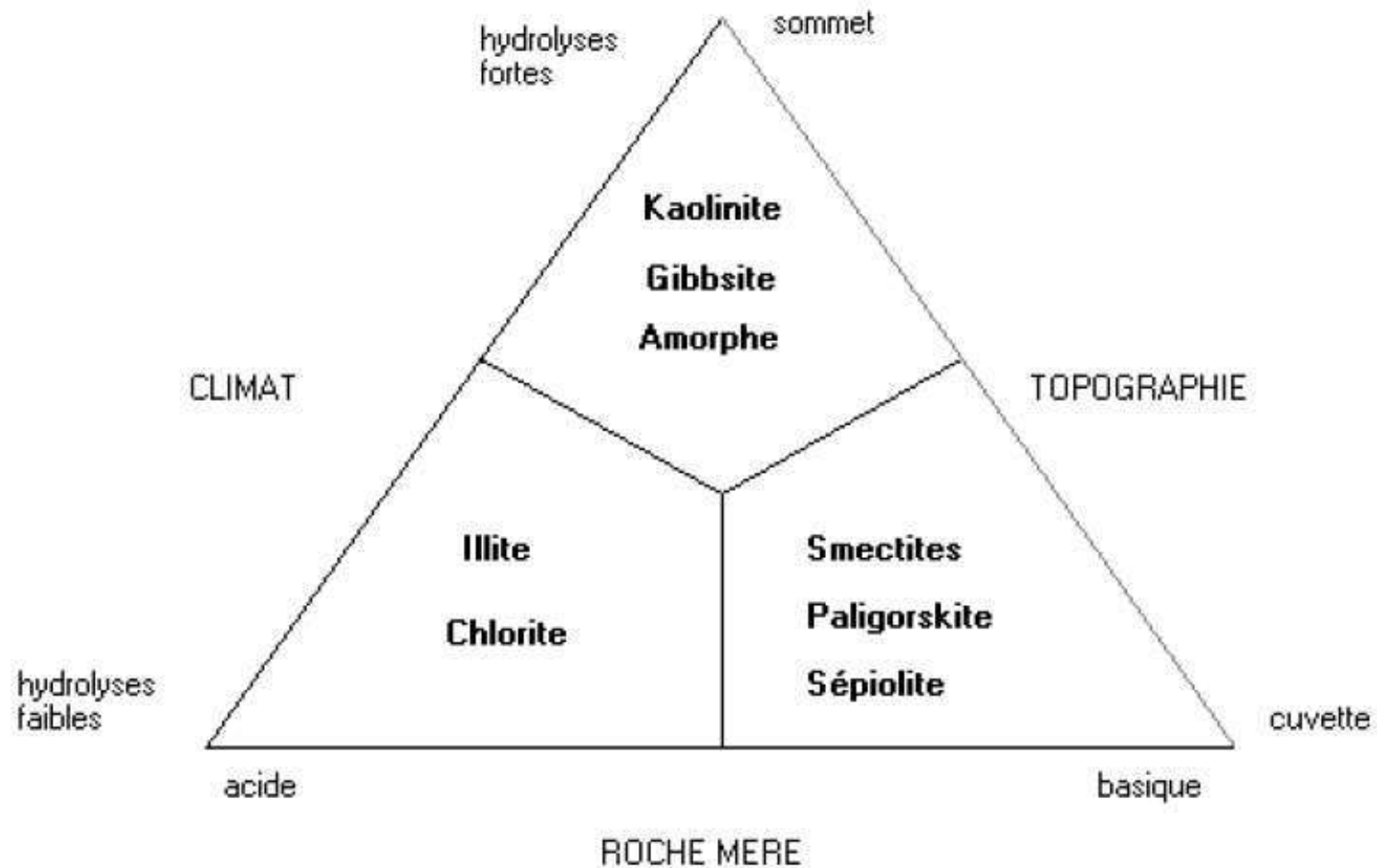
Main chemical weathering processes. (After Pédro 1979)

	pH > 5	5 < pH < 9.6	pH > 9.6
Attack solution depleted in saline elements (Na, K, Ca, Mg)	Acidolysis water rich in dissolved organic acids	Hydrolysis pure water or CO ₂ -rich water	
Attack solution concentrated in saline elements		Salinolysis water charged with salts of strong acids (chlorides, sulphates)	Alcalinolysis water charged with salts of weak acids (carbonates, bicarbonates)



Altération continentale et répartition des argiles en fonction du climat



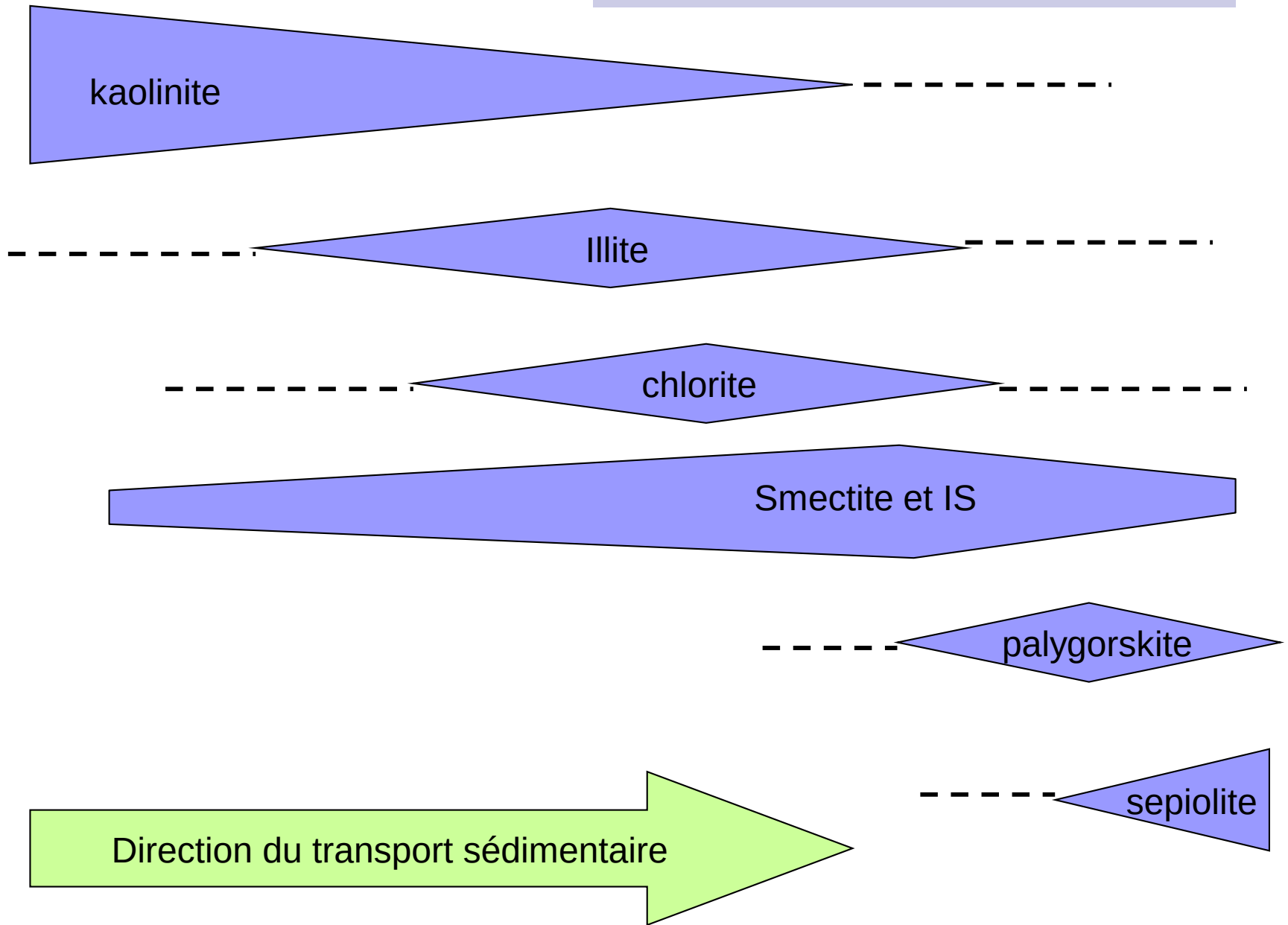


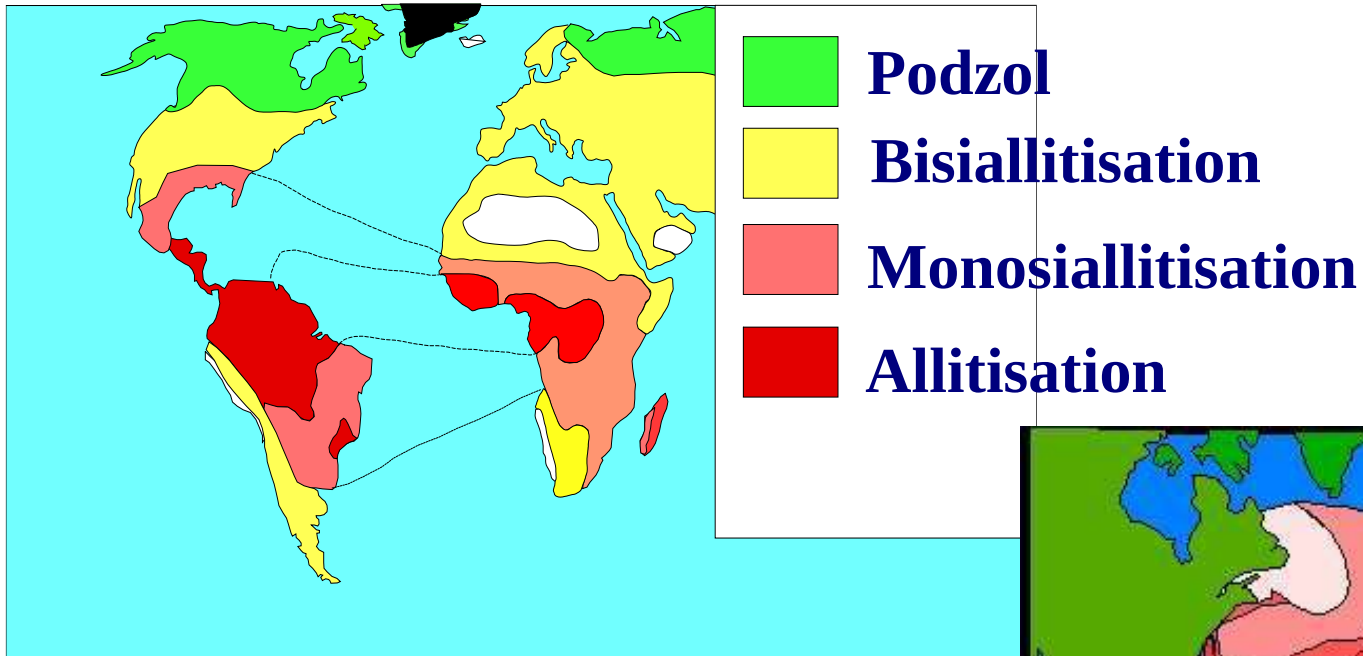
Matériel sédimentaire apporté à l'océan en fonction de la granulométrie

	Arctique	Tempéré-humide	Aride	Equatorial	Tot.
Rudite	0.75(50)	0.9(30)	0(0)	0(0)	1.65(7)
Arénite-silt	0.68(45)	1.5(50)	0.64(40)	3.8(20)	6.62(26)
Argile	0.08(3-5)	0.6(20)	0.96(60)	15.2(80)	16.84(67)
Tot.	1.5(100)	3.0(100)	1.6(100)	19.0(100)	25.1(100)

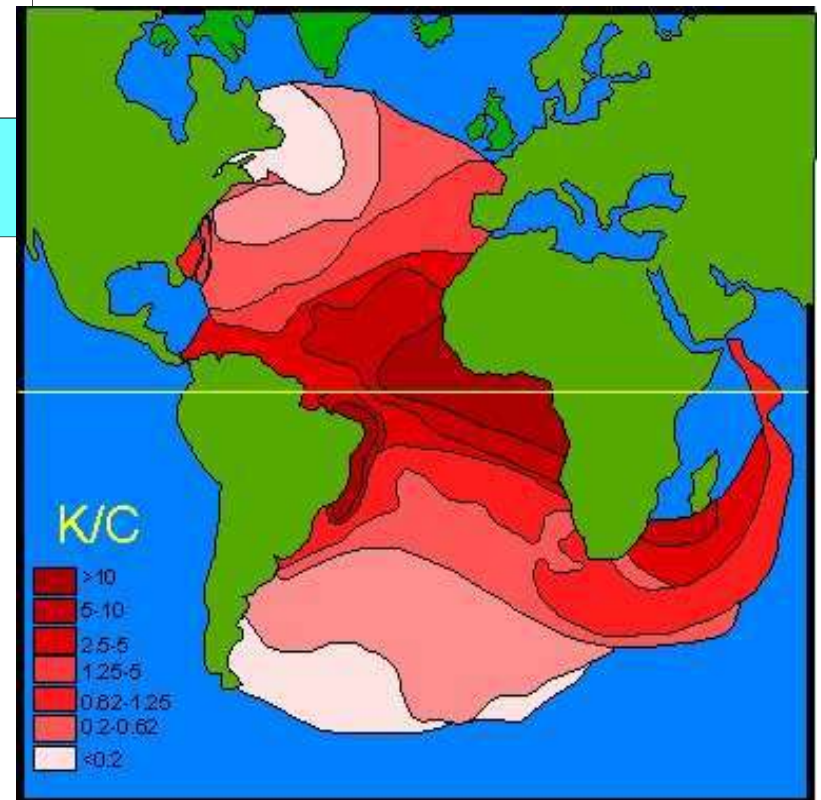
Valeur exprimées en milliard de tonnes et %

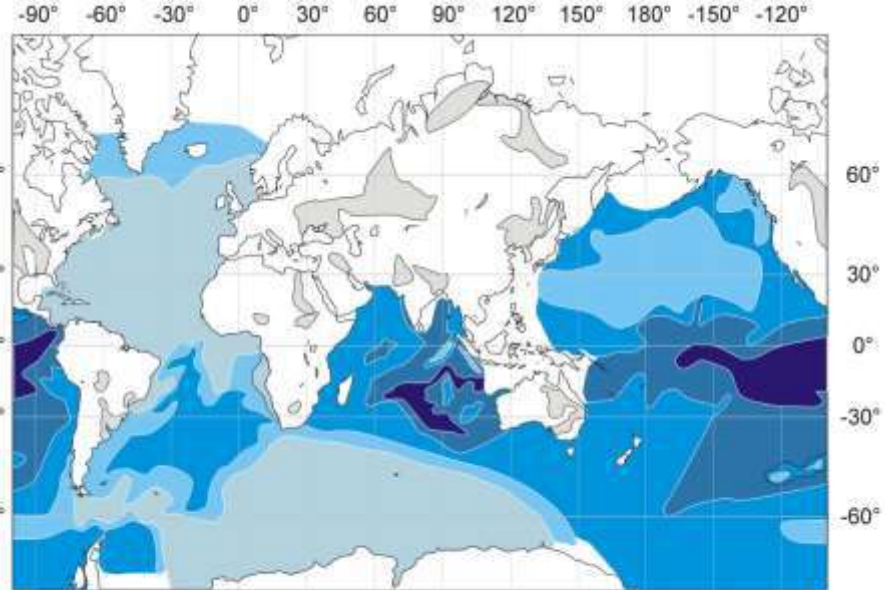
Sédimentation différentielle des argiles



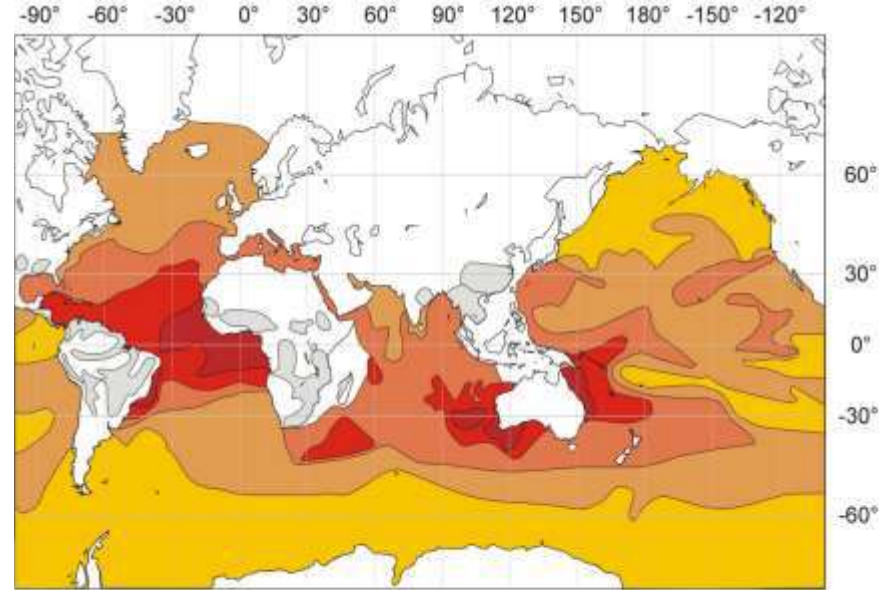


Répartition latitudinale des argiles

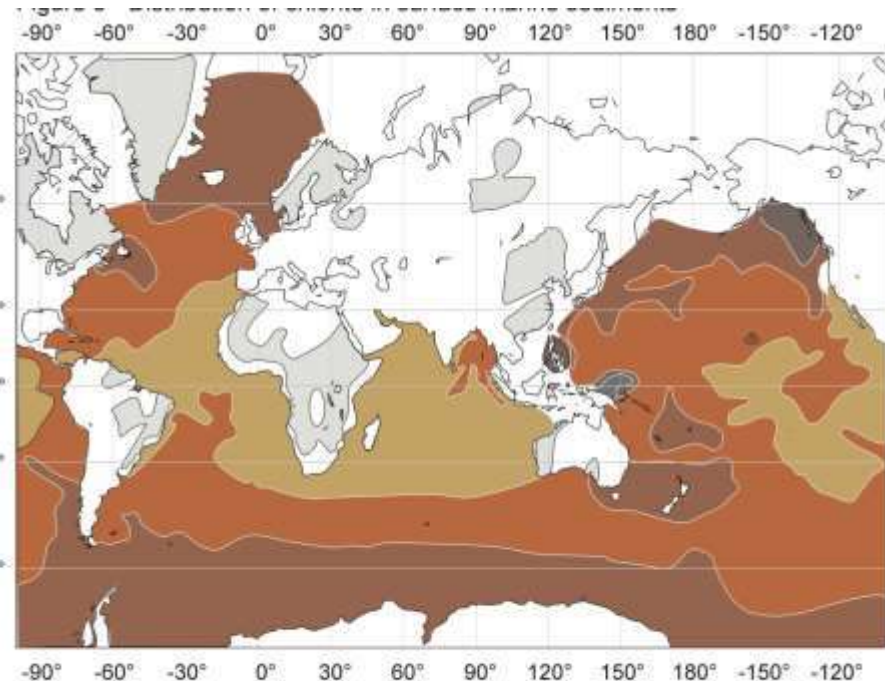




Relative smectite abundance within < 1 micron fraction



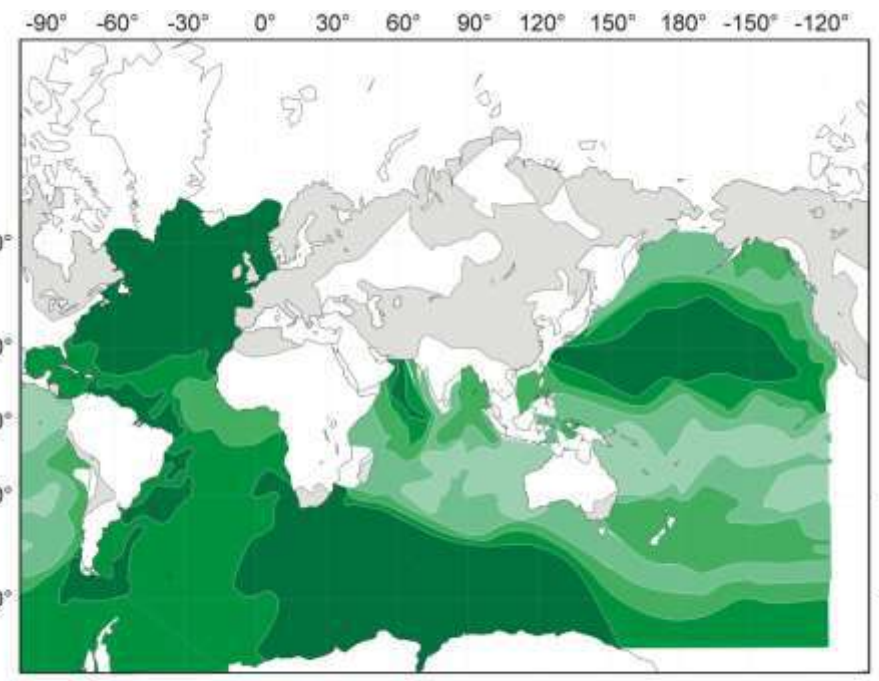
Continental source of smectite



Relative chlorite abundance within < 1 micron fraction



Continental source of chlorite

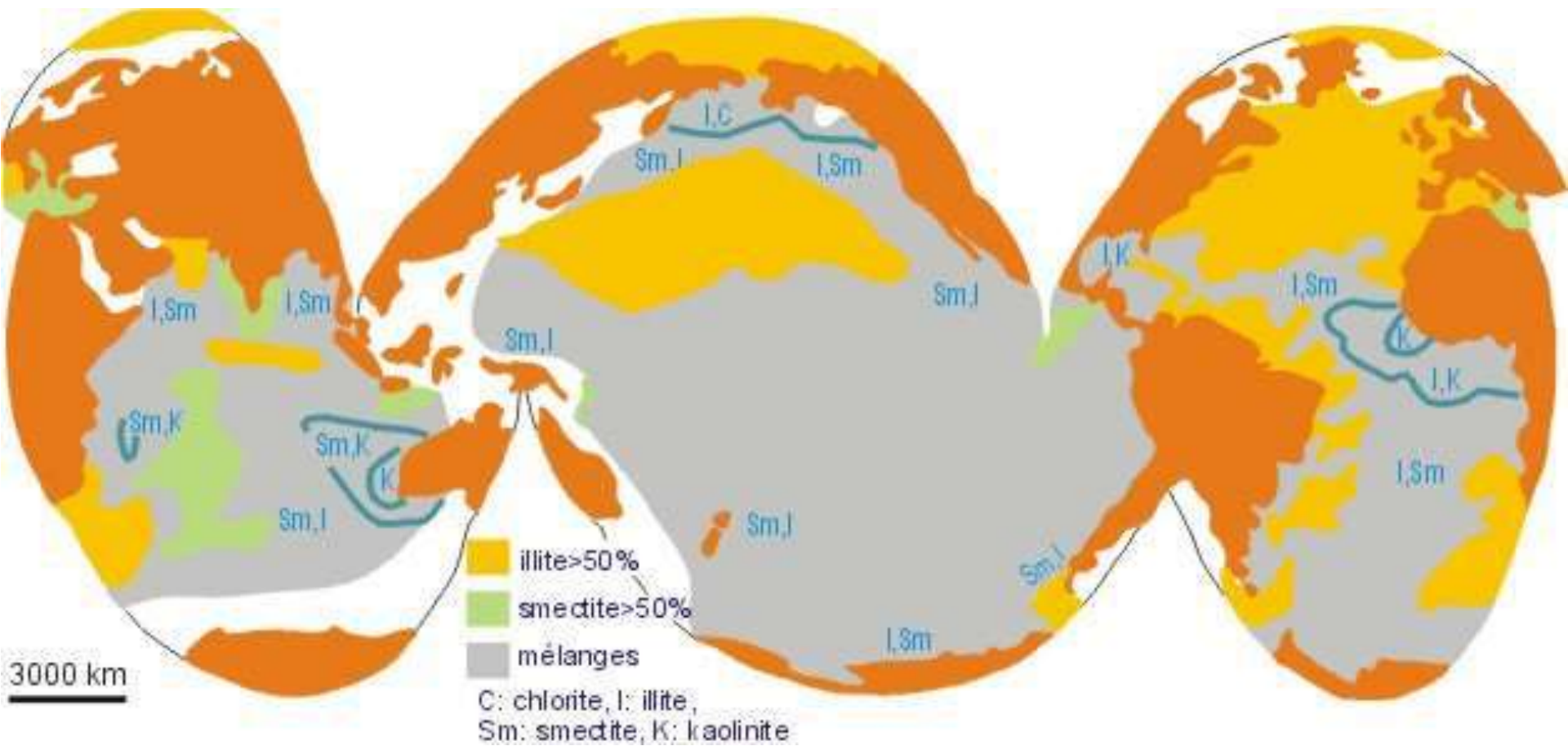


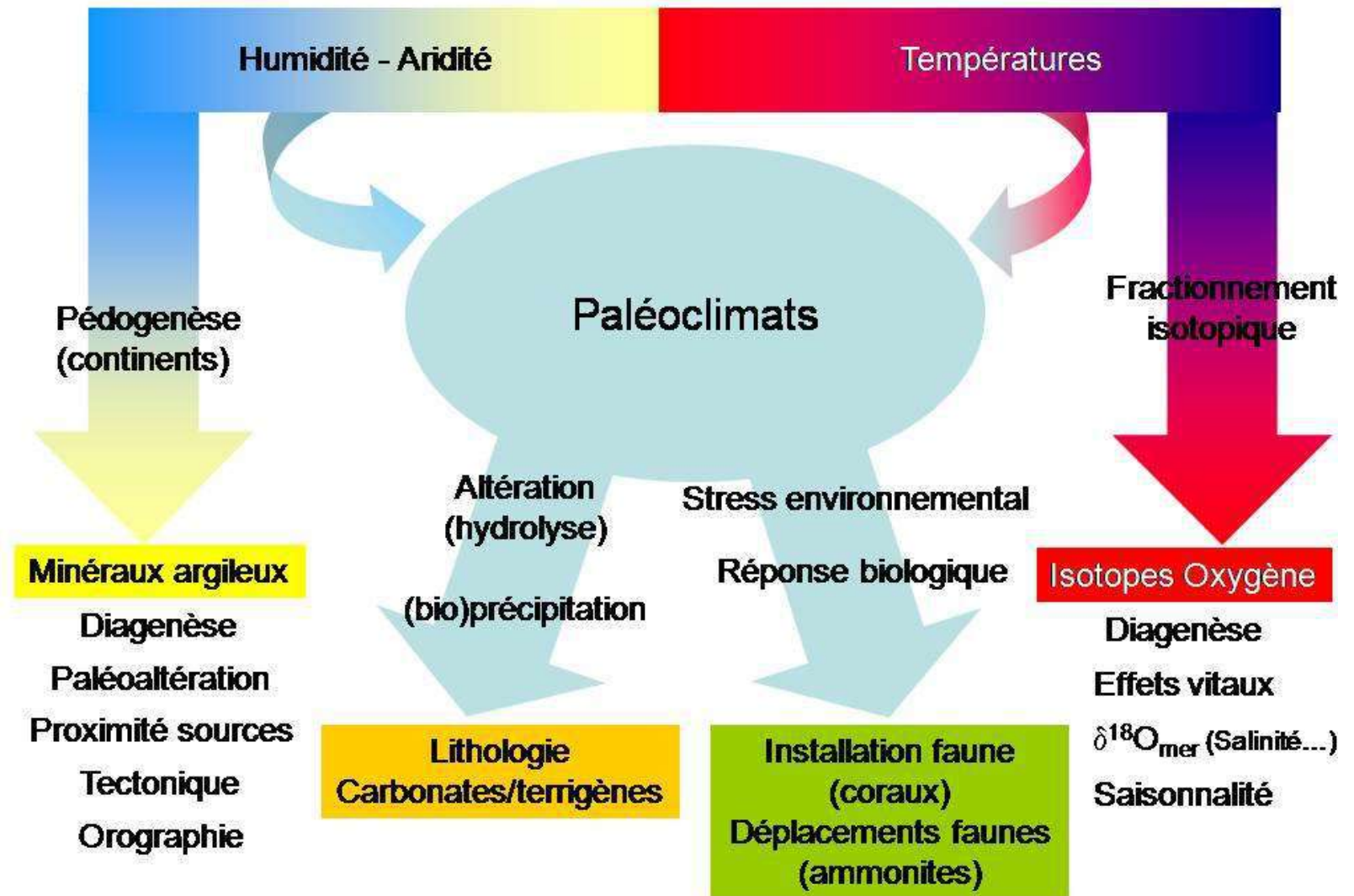
Relative illite abundance within < 1 micron fraction

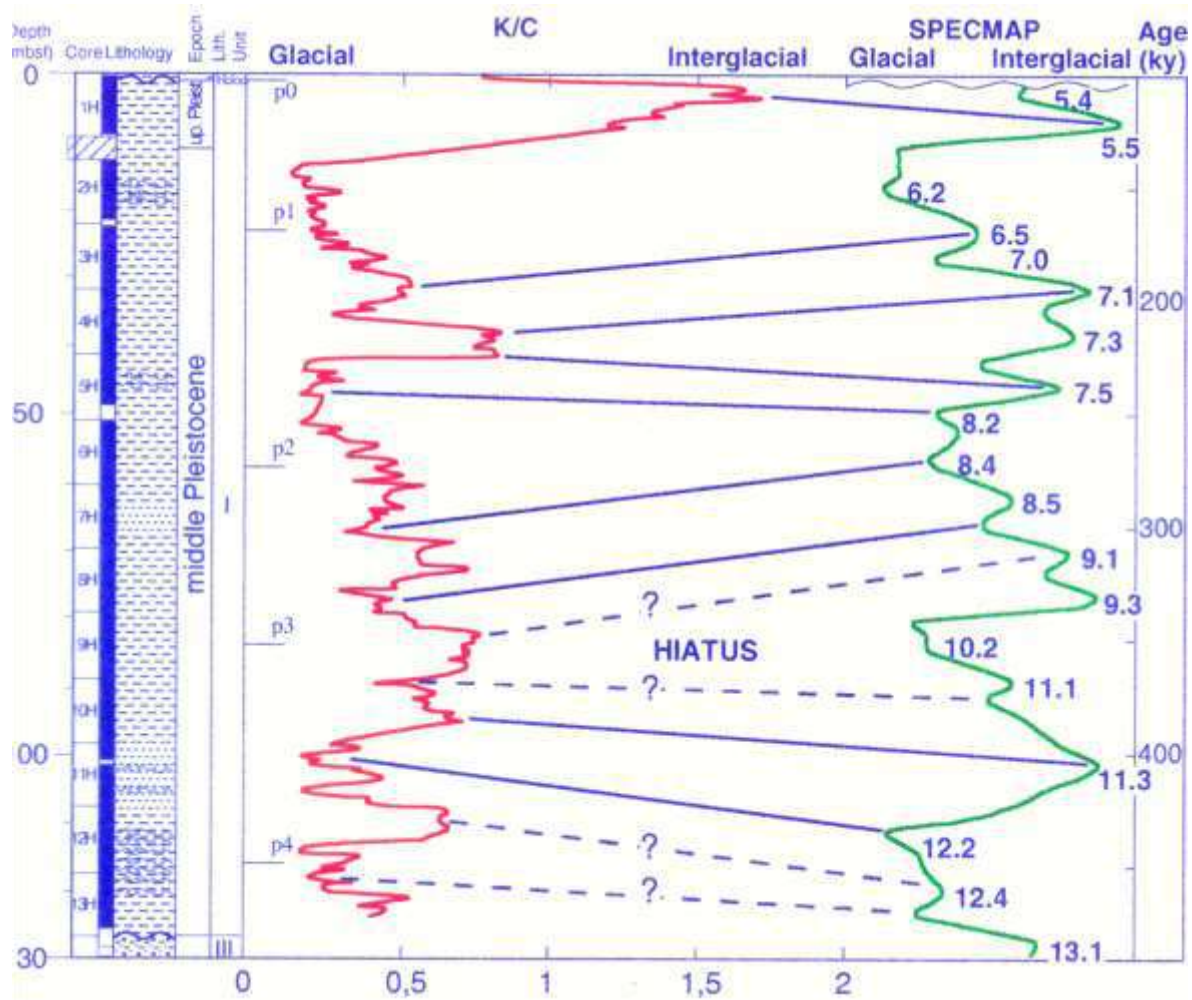


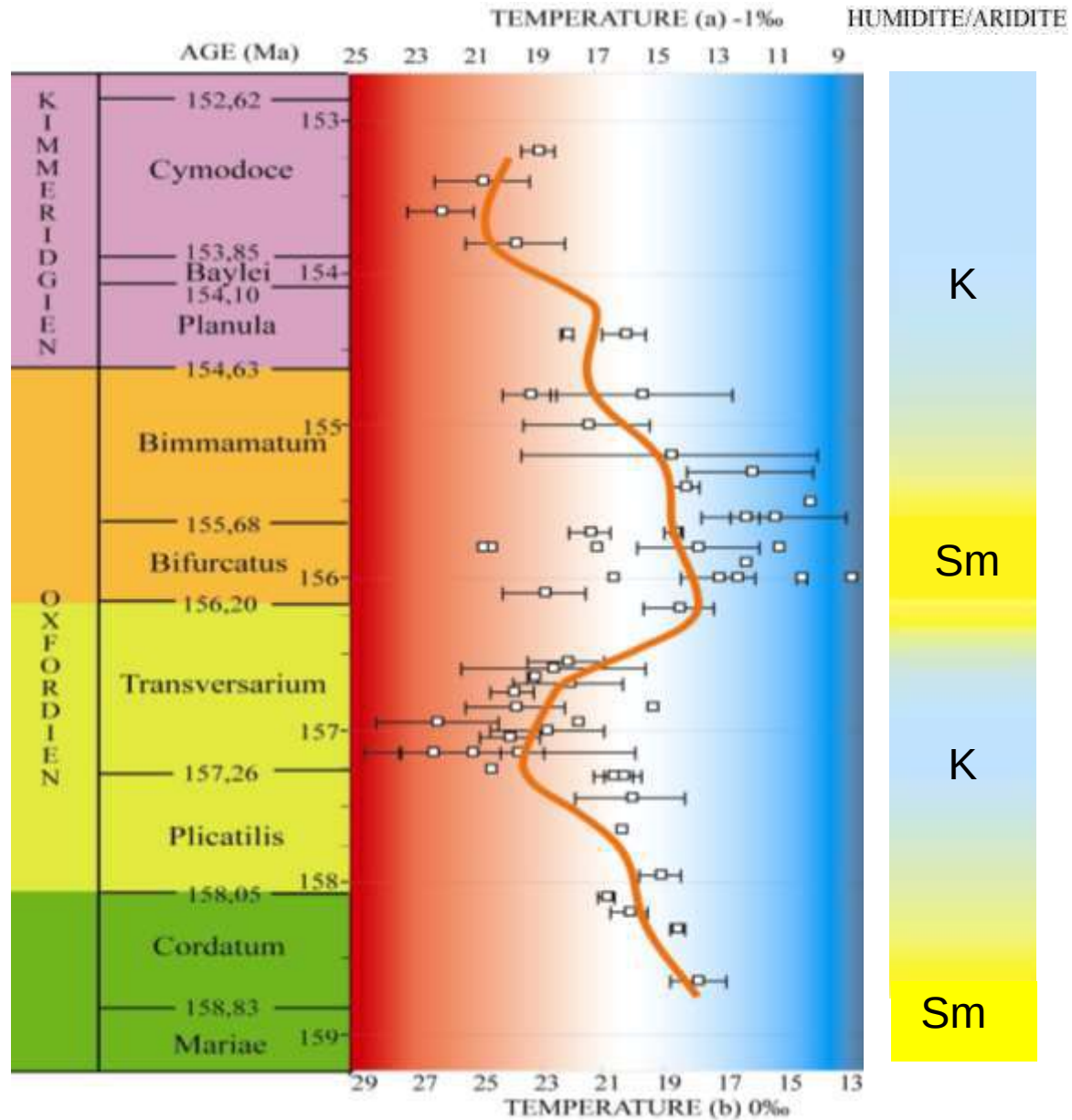
Continental source of illite

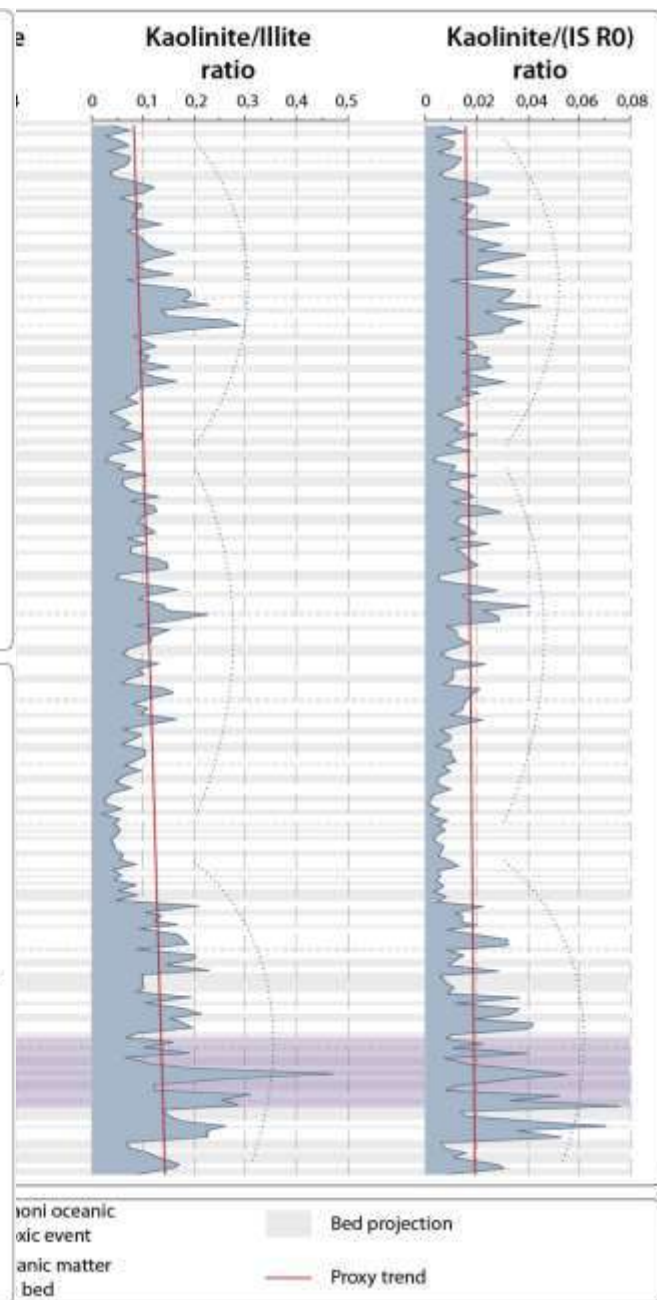
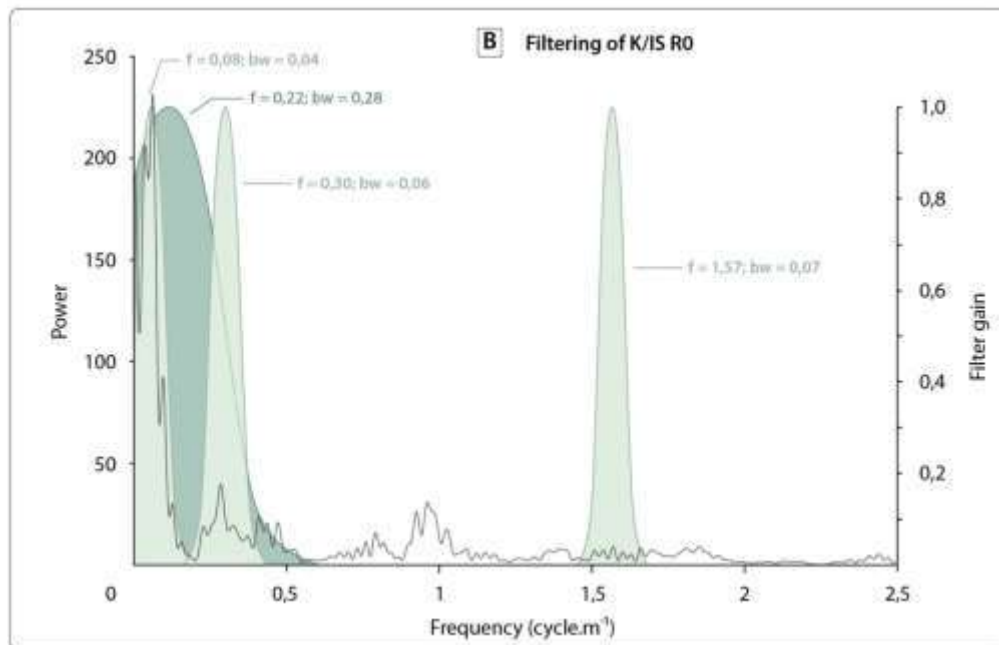
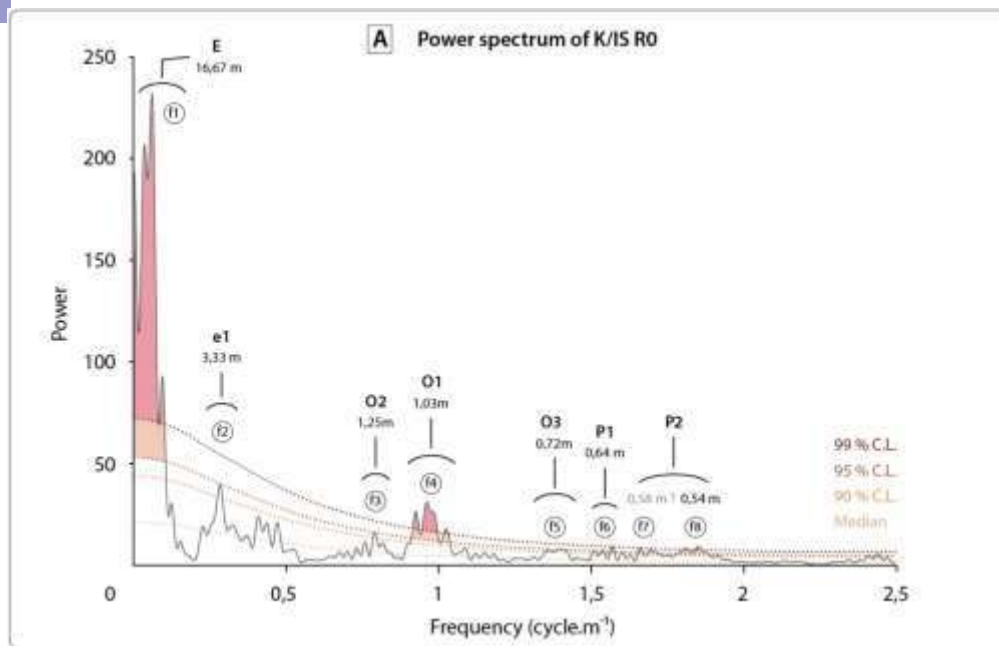






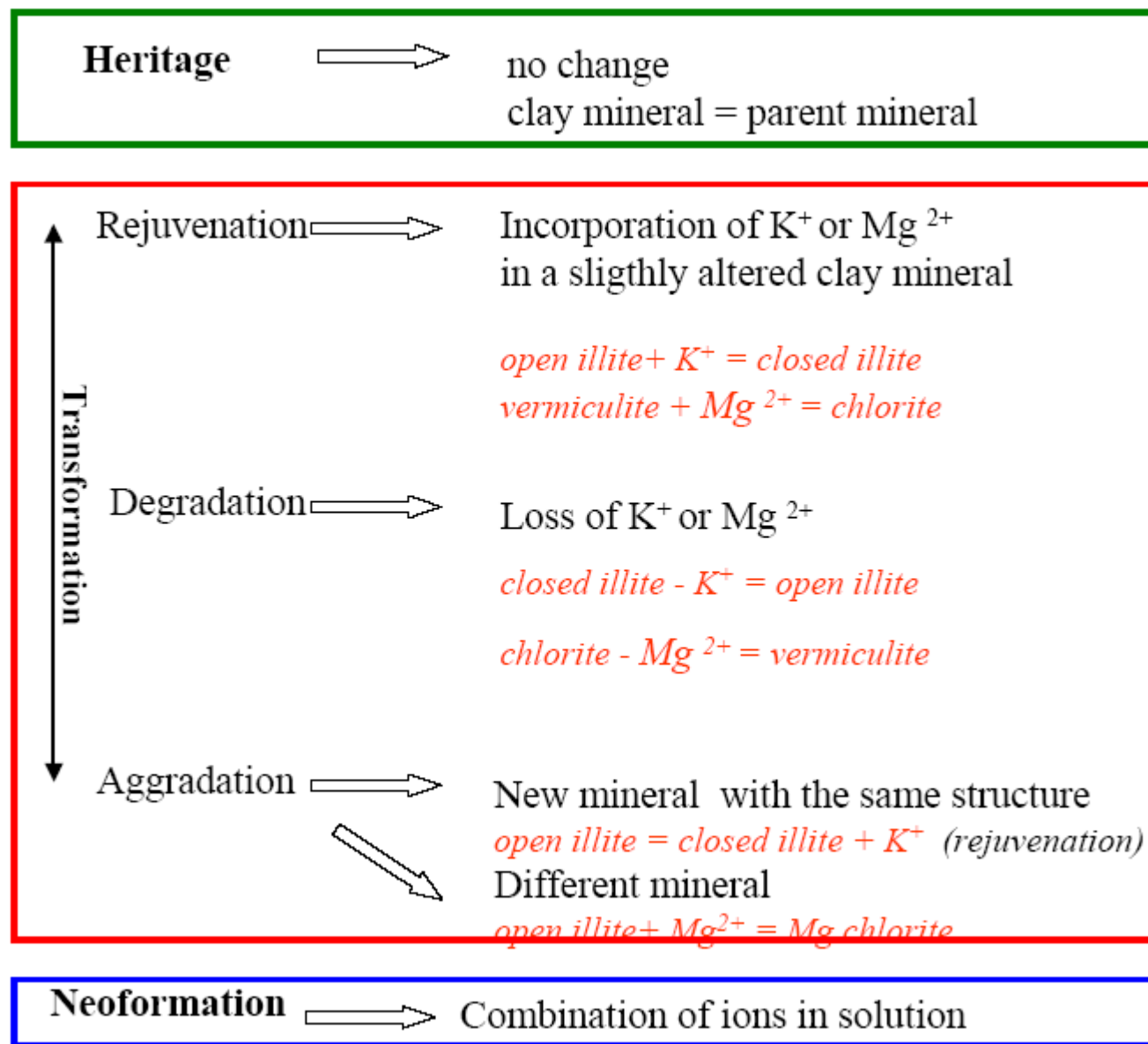


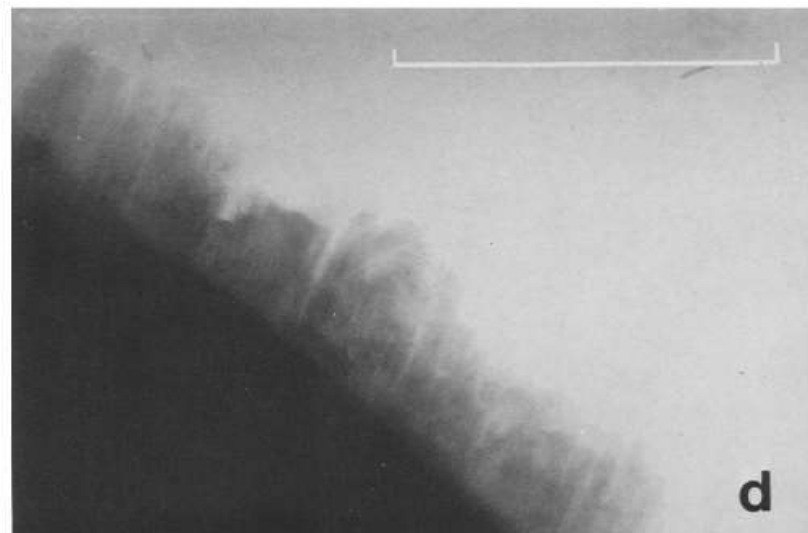
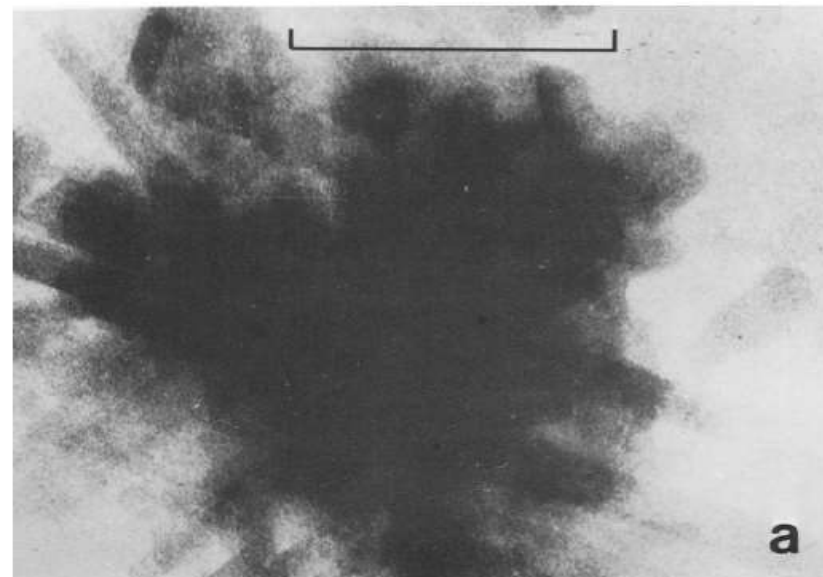
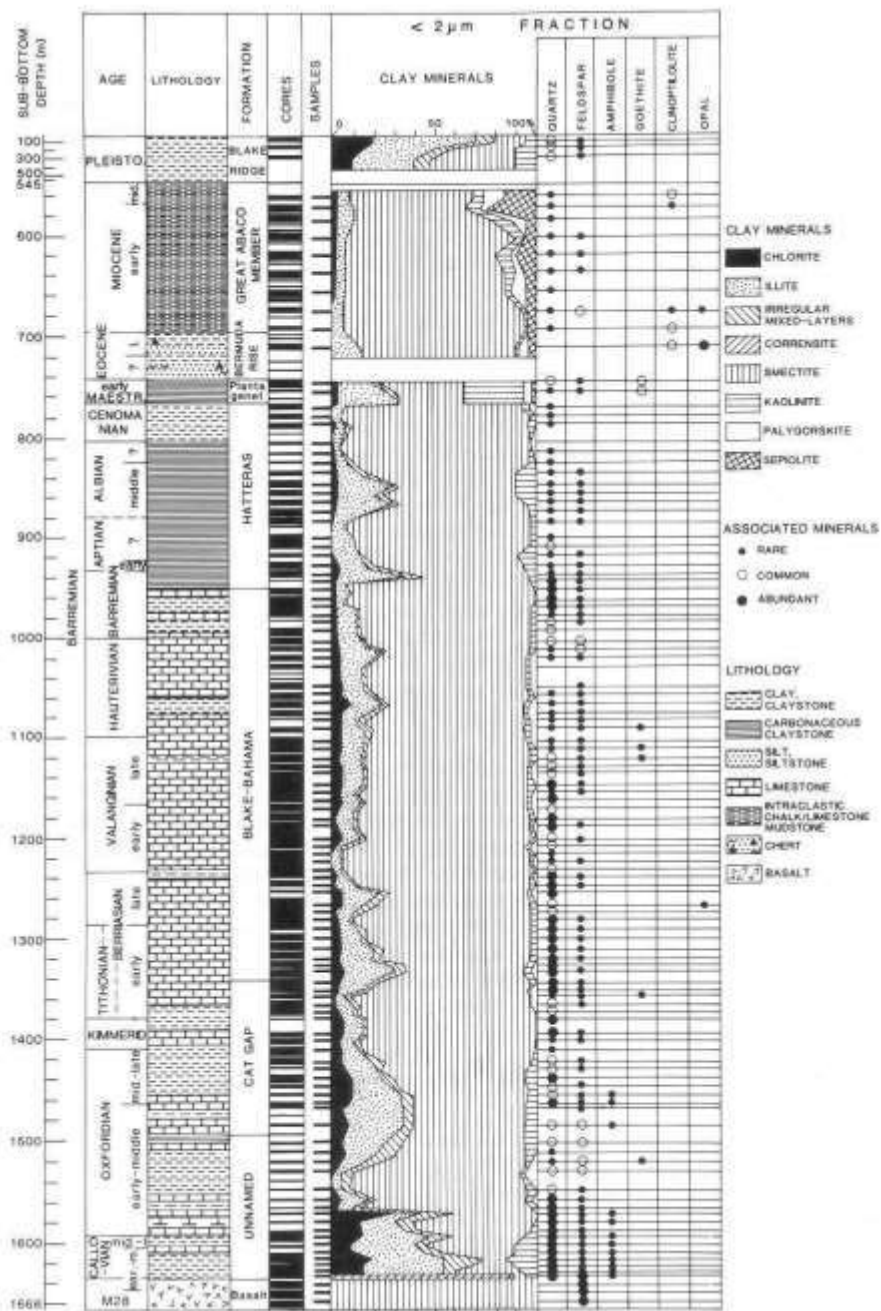


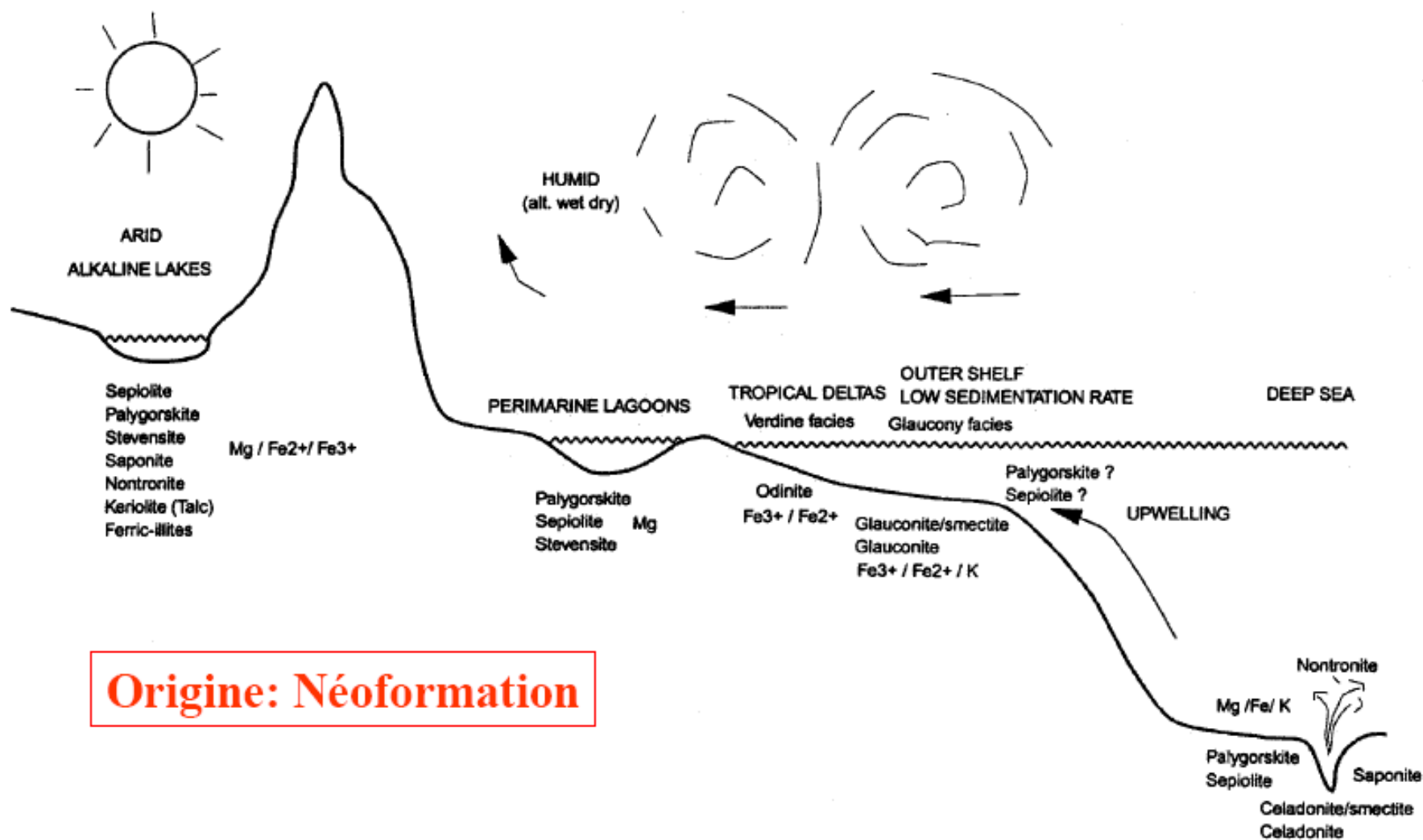


3.5 Néoformation et diagenèse

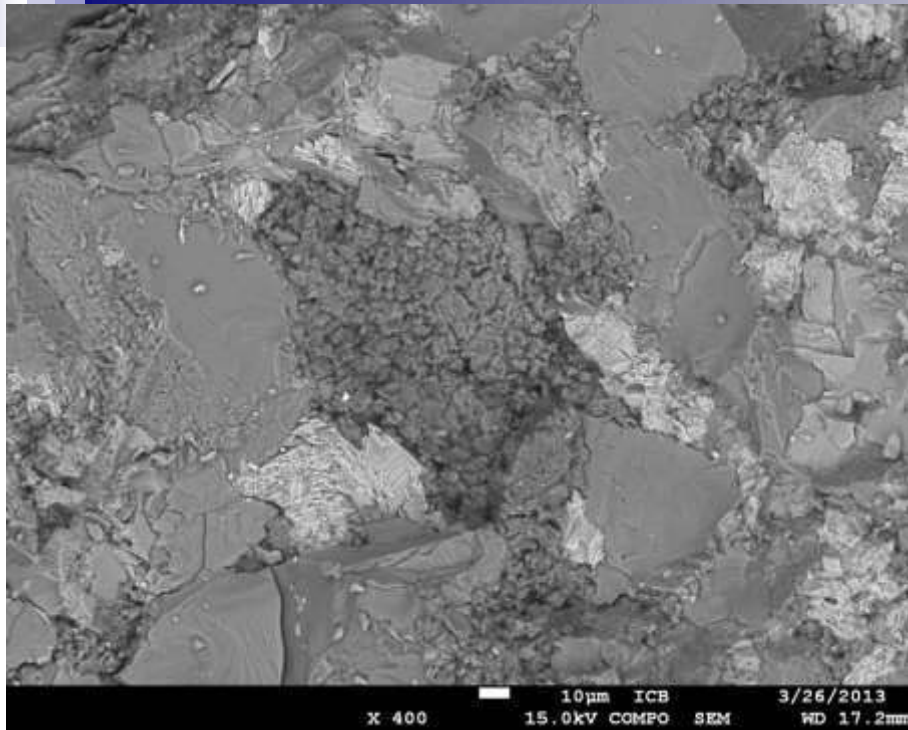
Les différents processus liés à la formation des différents types d'argiles



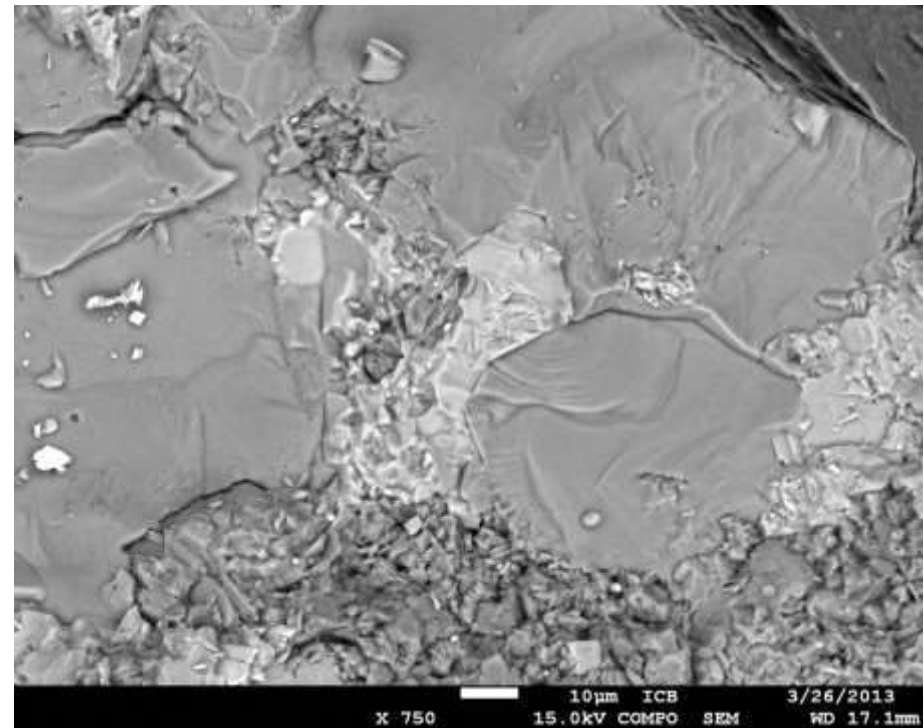
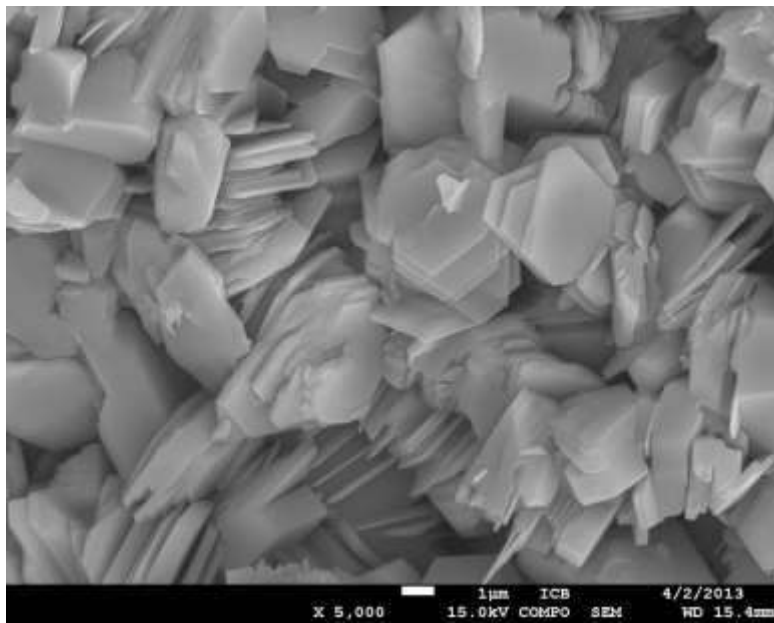


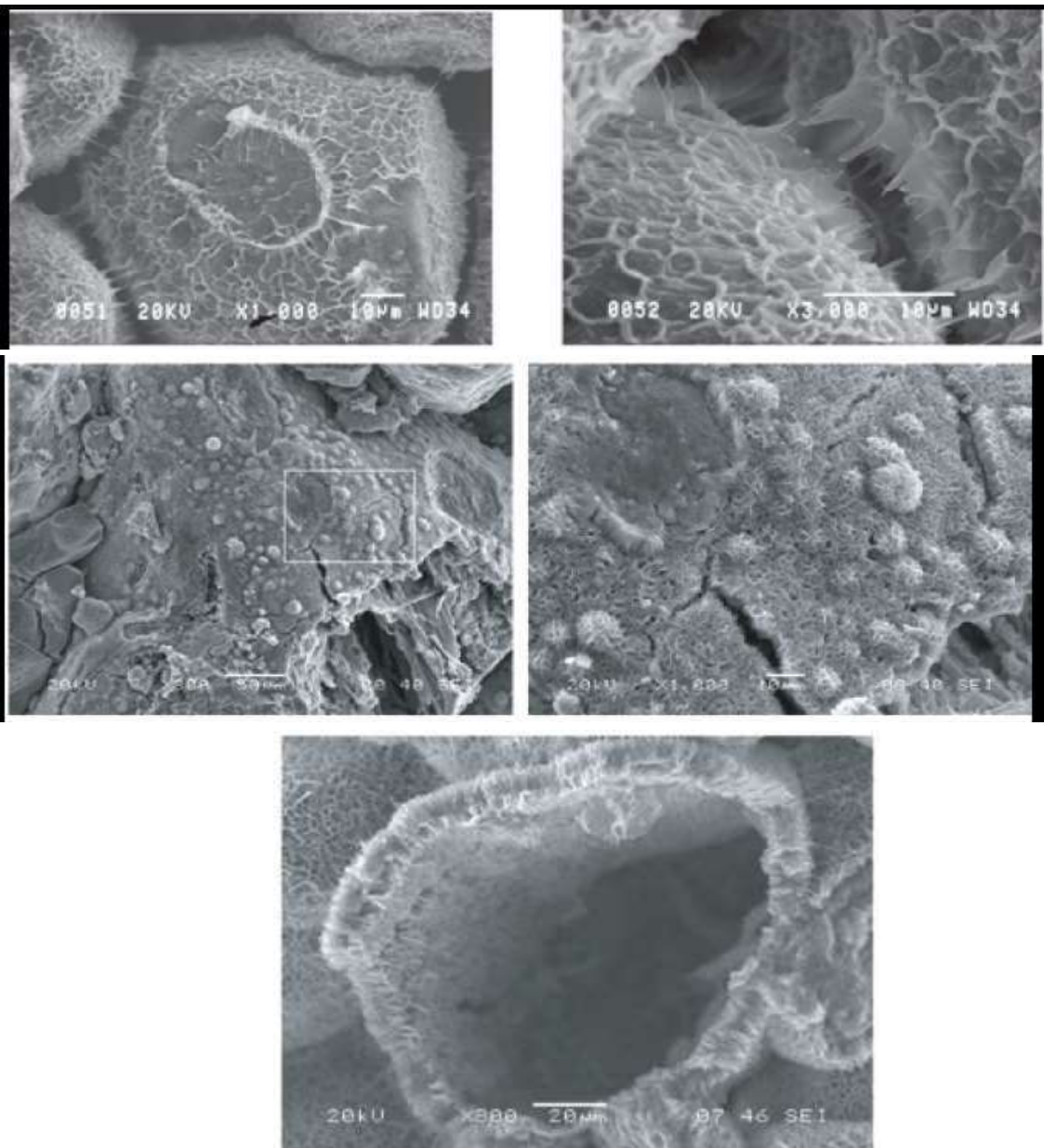


Environmental situations in which many authigenic Mg-rich and Fe-rich clay minerals form. (Modified from Weaver 1989)

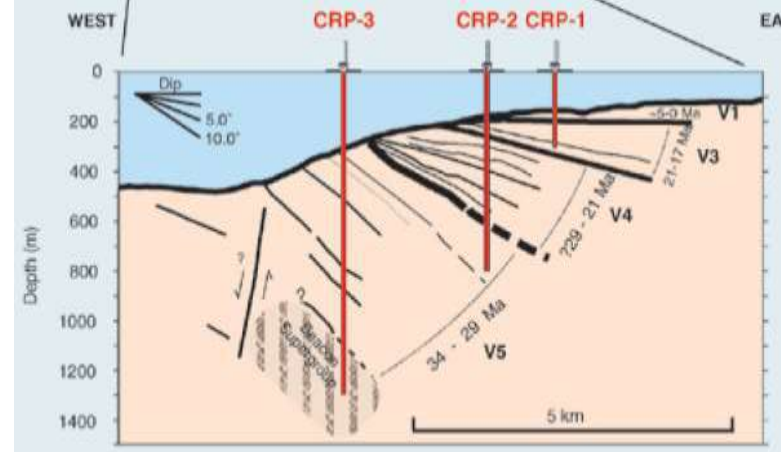
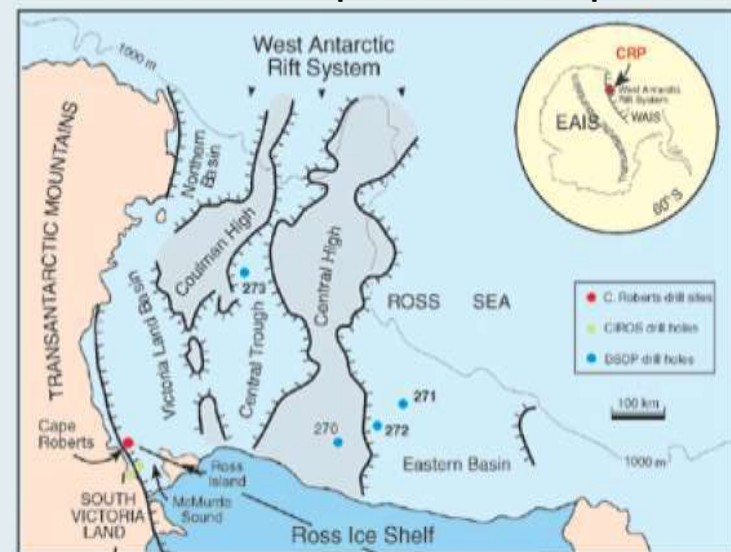


Exemple de poronécrose par de
la kaolinite authigène dans un
grés réservoir (Dévonien,
Algérie)





Cénozoïque Antarctique



Principaux minéraux associés aux argiles ferrifères en granules :

Glaucosite ou mica glauconitique (10 Å, illite riche en Fe-K)



Smectite glauconitique (interstratifiés)

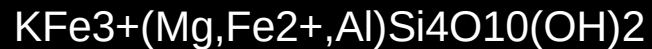
Smectite verte (dioctaédrique entre montmorillonite et nontronite)

Verdine (phyllite V, phyllite C, granules sédiments récents d'environnements peu profonds, proche des serpentines, 7.2 Å)

Berthierine (Al-Fe proche serpentine trioctaédrique, 7 Å)

Chamosite (Fe chlorite trioctaédrique, 14 Å)

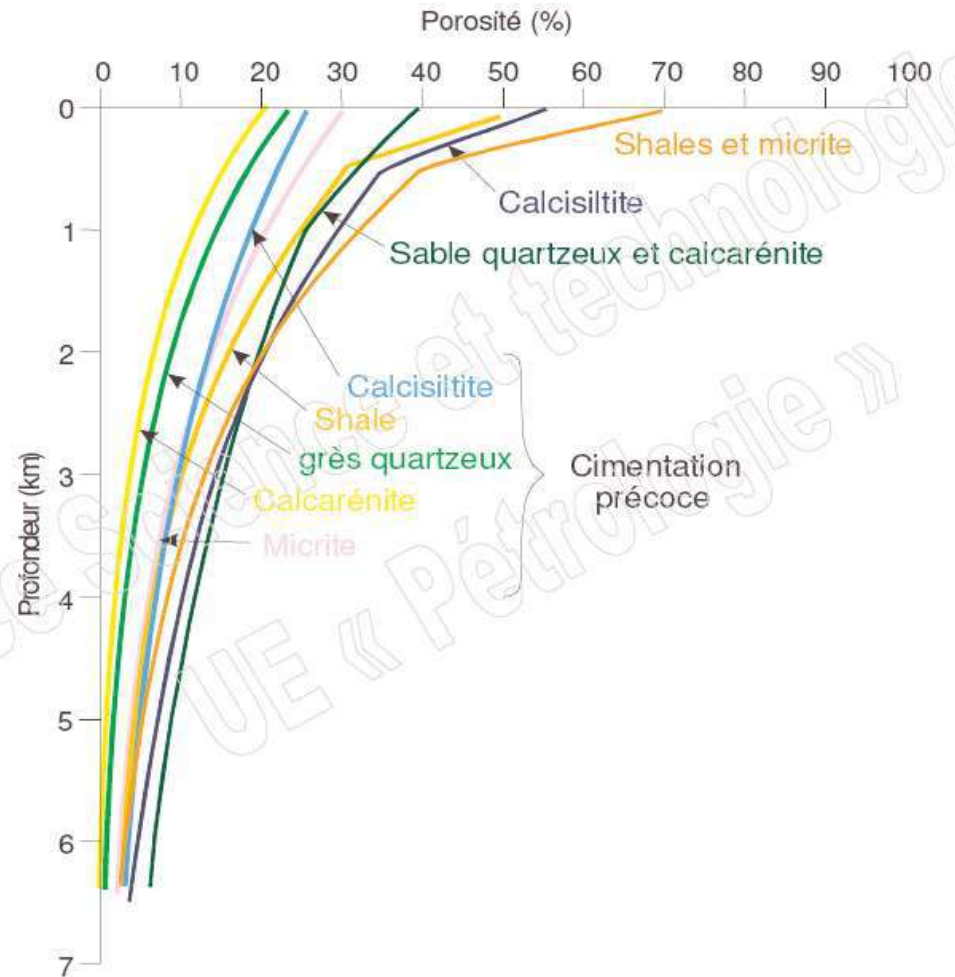
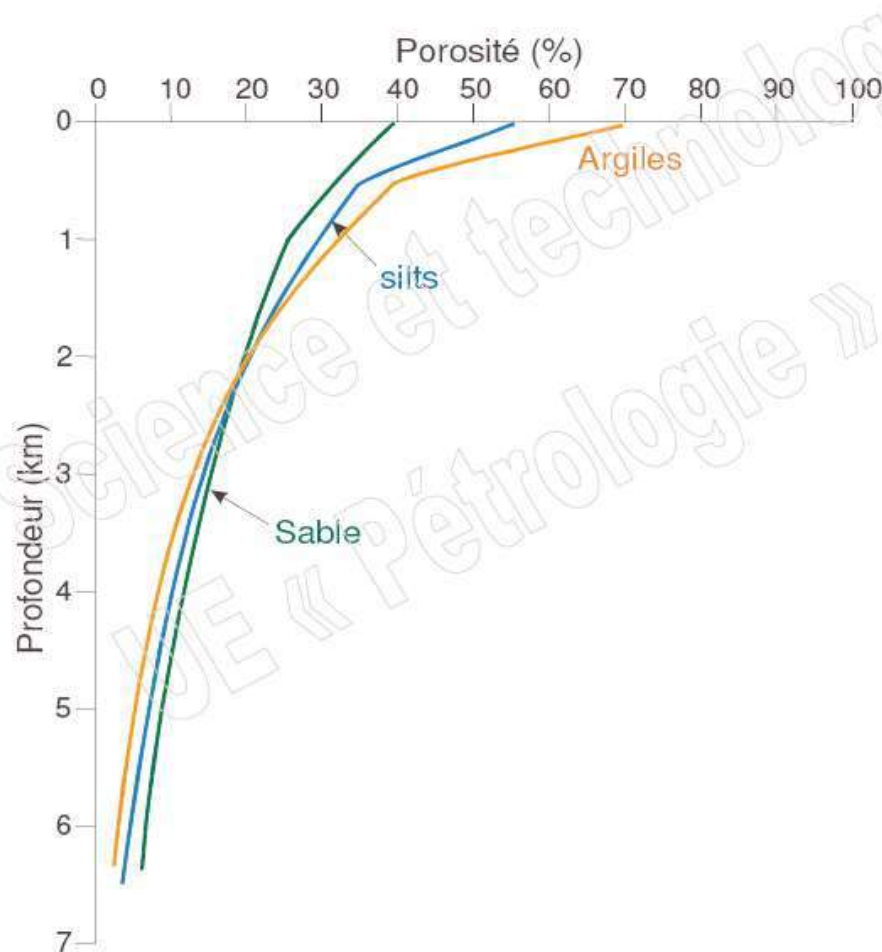
Céladonite (Fe-K mica Fe octaédrique)



- Environnements semi-confinés
- Parties hautes marges continentales (50-80 m)
- Taux de sédimentation faible, flux terrigène modéré
- Néoformations à l'interface eau-sédiment
- Fer d'origine terrigène
- Favorisées en période transgressive
- Associées aux hiatus
- Substrats variés (pellet, microorganisme, particules minérales)
- Vitesse de croissance dépendante de la nature du substrat et du micromilieu chimique : 10^3 à 10^4 ans
- Verdine : max 50-80m, milieu chaud
- Glauconie : plus profond, plus froid (50°latitude, 1000 m)
- Relations diagénétiques complexes entre verdine-berthierine-chamosite-glauconite



Les effets de la compaction



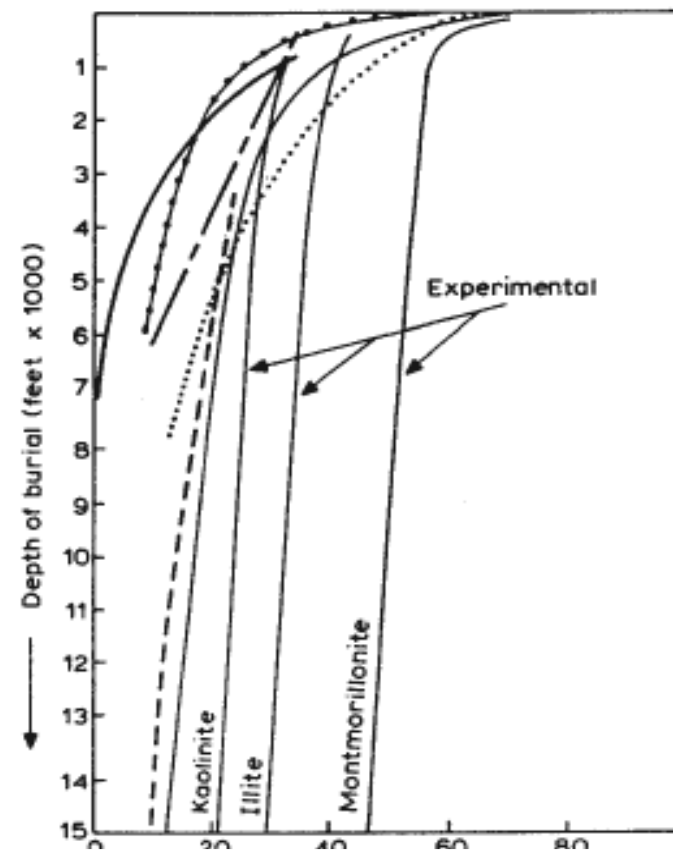
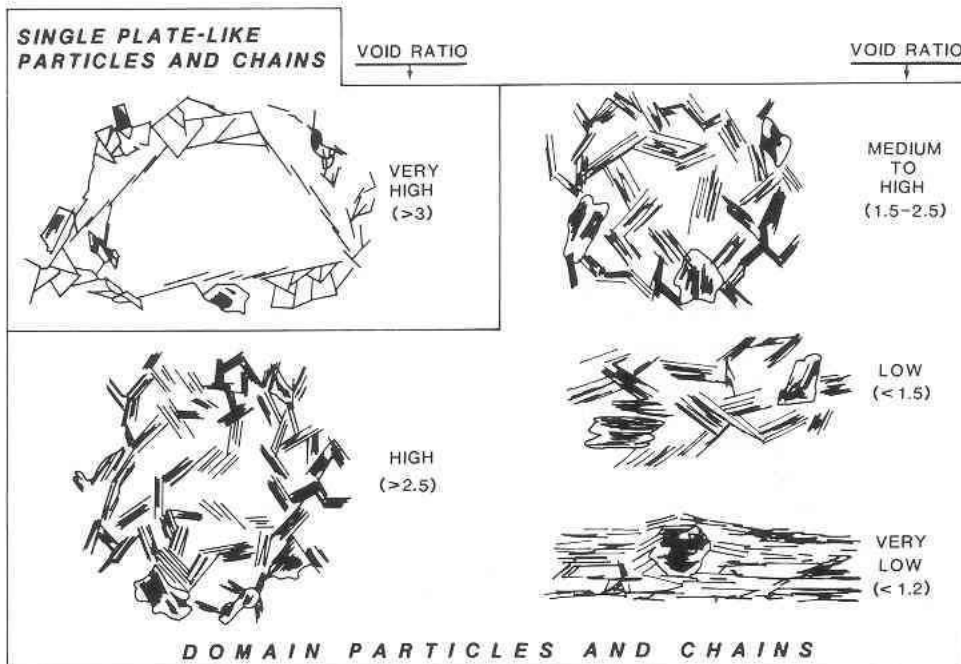
$$\phi_z = \phi_{res} + (\phi_0 - \phi_{res})e^{-a\beta z}$$

ϕ_z : porosité à la profondeur z

ϕ_{res} : porosité résiduelle à grande profondeur de 5 à 15%

ϕ_0 : porosité initiale

$a = 10^{-3}$; $\beta = 1$





Calcul d'un taux de compaction

$$\text{Taux compaction} = \frac{(P_i + S)/100}{(P_f + S)/100}$$

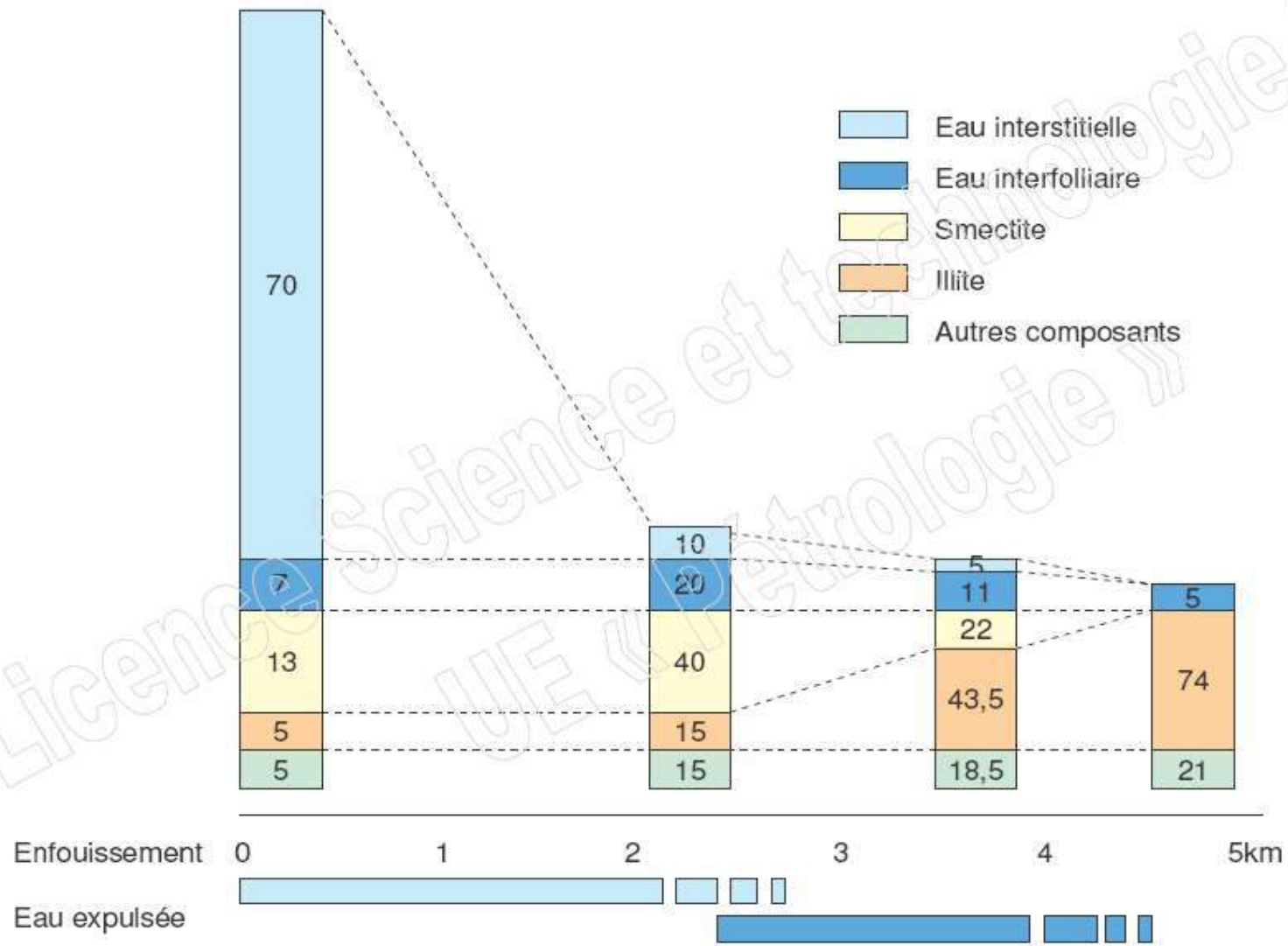
P_i = volume de porosité initiale

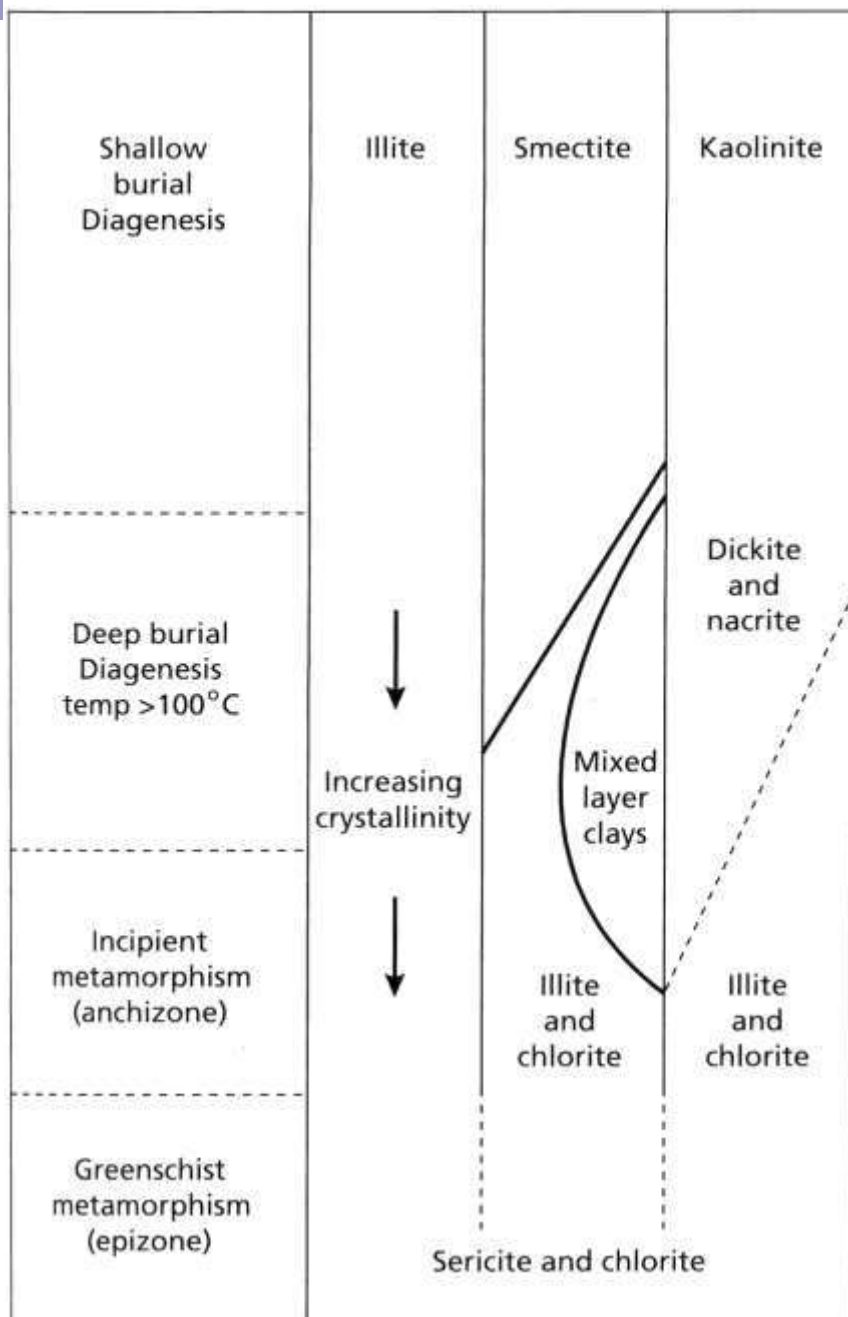
P_f = volume de porosité finale

S = volume de phase solide

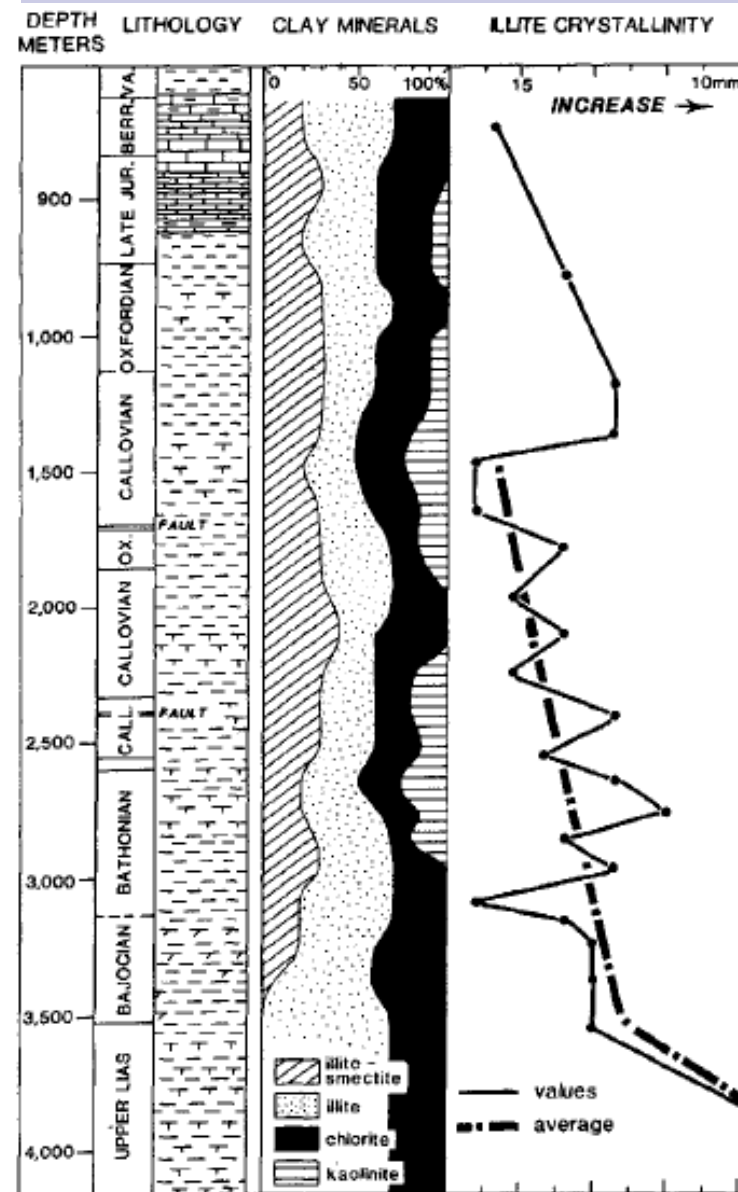
Taux de compaction boue argileuse:
(entre 2.5 et 3.5)

$$T = ((70+30)/100)/((10+30)/100) = 2.5$$





Diagenèse d'enfouissement sur une série mésozoïque



Bon courage



LIENS UTILES 🙌

Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

