

IV. LES ROCHES SEDIMENTAIRES

Définition : ce sont des roches exogènes ; c'est-à-dire formées à la surface de la terre. Elles sont très variées car leur genèse dépend de nombreux facteurs : nature initiale des matériaux désagrégés et altérés, types d'altération, mode de transport, zone de dépôt, modalités de la diagenèse.

Elles se sont formées par accumulation de sédiments meubles, en général au fond de l'eau (mer, lac, lagune, delta) et parfois en milieu terrestre aérien (c'est le cas des anciennes moraines par exemple).

N.B : Notez que les particules issues de la désagrégation des roches qui restent sur place, sans subir de transport ne sont pas complètement des sédiments pour certains auteurs ; ce sont des **formations résiduelles (Sol)**.

VI.1. les sédiments

Ces dépôts sédimentaires sont ensuite **transportés** par les cours d'eau et/ou par le vent, pour finalement **se déposer** dans des **bassins de sédimentation** et former des **roches sédimentaires**. Ils subissent ensuite une compaction et une consolidation, **la diagenèse**, qui est le passage du sédiment meuble à une roche cohérente).

VI.3. principaux types de roches sédimentaires

A. D'après leur origine, on distingue:

A.1. les roches détritiques : formées par désagrégation mécanique et/ou altération chimique d'une roche pré-existante où des constituants d'origine sont encore présents.

A.1.1. En fonction de **leur nature chimique** (c'est-à-dire de la nature chimique de la roche d'origine) :

- **Silicoclastiques = terrigènes** : fragments de roches silicatées.
- **Calcoclastiques (terme rare)** : fragments de roches carbonatées.
- **Bioclastiques** : fragments d'origine biologique.

A.1.2. En fonction de **la granulométrie** des plus gros clastes présents (ou parfois du claste dominant) : cailloutis, grave, sable, limon, argile. **(Fig.20)**.

Classe granulométrique	Taille des grains	Nom des grains	Nom du sédiment	Nom de la roche sédimentaire		
Rudites	> 2 mm	> 256 mm	Blocs	Cailloutis	Conglomérat	
		4 à 256 mm	Galets			
		2 à 4 mm	Graviers	Gravier / grave		
Arénites	63 µm* à 2 mm	Sables	Sable	Grès		
Lutites	< 63 µm*	2 à 63 µm	Silts = Limon(s)	Silts = Limon(s)	Siltite	Pélite <i>sens large</i>
		< 2 µm	Argiles	Argile(s)	Argillite = Pélite <i>sens strict</i>	

Fig.20. Classification de Grabau (1904)

A.2. les roches chimiques : Les roches chimiques sont les roches sédimentaires formées par précipitation chimique (sans aide d'être vivants) d'ions préalablement dissous dans l'eau. (EX : les **roches carbonatées** ou les **évaaporites**)

A.3. les roches biochimiques ou biogéniques : désignent les roches sédimentaires produites par les êtres vivants ou à partir de leurs restes (ex : charbon,

- **Les roches bioclastiques**, constituées de l'accumulation de débris d'êtres vivants (souvent tests ou coquilles) ayant subi la diagenèse.
- **Les roches carbonées**, constituées de l'accumulation des parties molles des êtres vivants ayant subi la diagenèse.
- **Les roches bioconstruites**, constituées des roches précipitées par l'activité biologique ou des constructions détritiques dues aux êtres vivants ayant subi la diagenèse.

A.4. Pyroclastites ou Volcanoclastiques (volcano-sédimentaires) : projections volcaniques (de composition magmatique). L'origine de ces roches n'est pas liée à l'altération et sont injectées directement dans le bassin de sédimentation par des processus volcaniques.

B. D'après la composition chimique, on distingue:

B.1. les roches siliceuses (silice) : Elles sont riches en **Silice (> 50 %)**. Le plus souvent, la Silice provient de la **dissolution d'organismes siliceux** en certains points du sédiment, et de sa précipitation en d'autres points, dans les mêmes sédiments ou dans des sédiments voisins. La Silice peut provenir aussi, **par dissolution, de roches diverses** et en particulier, être liée à des **émissions volcaniques** ; l'enrichissement en Silice de l'eau de mer favorise le pullulement d'organismes à test siliceux, tels **les radiolaires**, qui participent ensuite à la formation des sédiments.

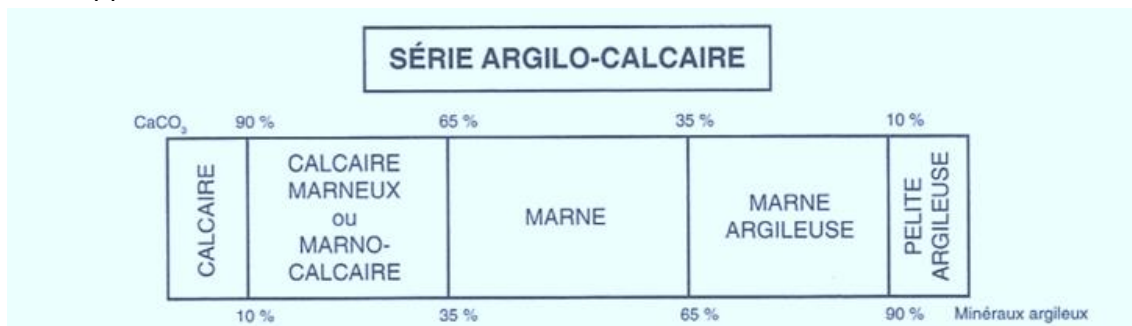
Ex : Diatomites, gaizes, jaspes, lydiennes, phtanites, radiolarites, spongolites, chailles, cherts, silex, silexites, meulières.

B.2. les roches argileuses (phyllosilicates d'aluminium) :

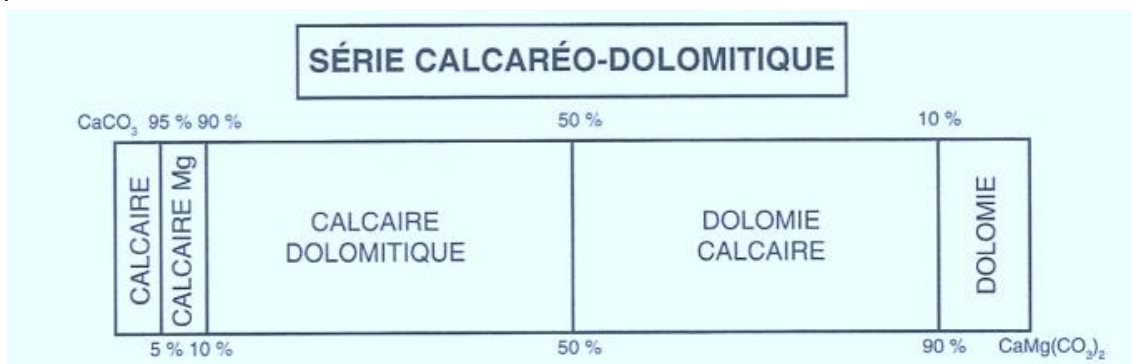
B.3. les roches carbonatées (carbonates de calcium et magnésium) : dont la base est le carbonate de calcium CaCO_3 (calcite ou aragonite) **ou** de dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)

Ex.1 : Les roches constituées majoritairement de carbonate de calcium (> 50 %) s'appellent des **calcaires**.

Ex.2 : Les roches constituées dans des proportions semblables d'argiles et de carbonate de calcium s'appellent des **marnes**.



Ex.3 : Les roches carbonatées qui comprennent plus de 50 % de dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) s'appellent des **dolomies**.



B.4. les roches phosphatées : ce sont les phosphorites, roches biogéniques variées riches en phosphore. **Ex :** guano sédimenté.

B.5. Les roches évaporitiques (les évaporites) : composées de précipitations par évaporation ; Ce sont les évaporites ; leur ordre d'apparition dépend de l'intensité de l'évaporation.

Ex : Gypse ($\text{CaSO}_4, \text{H}_2\text{O}$), Anhydrite (CaSO_4), Halite ou Sel gemme (NaCl), Sylvite (KCl).

B.6. les roches carbonées (carbone et hydrocarbures) : elles sont constituées essentiellement de carbone organique.

Ex : charbons (houilles, lignites, tourbes), huiles minérales (asphaltes, bitumes, pétroles)

B.7. les roches ferrifères: elles sont des roches sédimentaires riches en Fer (**oxydes, hydroxydes de fer**)

B.8. Aluminées : roches riches en alumine Al_2O_3 . Ex. bauxite (roche rouge formée sous les climats tropicaux riche en alumine et oxyde de fer, constituant le principal minerai d'aluminium).

V. LES ROCHES RESIDUELLES (Sols et Paléosols)

Définition : Elles sont formées à partir de roches préexistantes auxquelles les eaux ont enlevé des éléments en solution (**Ex :** argiles résiduelles, bauxites, paléosols,). Quand les particules restent sur place, sans subir de transport ne sont pas complètement des sédiments pour certains auteurs ; ce sont des **formations résiduelles**.

A. MATERIAUX CONSTITUTIFS DES SOLS :

A.1. Matériaux lithologiques :

Dans ce point, les éléments de la désagrégation présentent des caractères, qui sont en fonction du climat.

1) En milieu aride (sec ou froid) : L'action de variations de température et du gel est des agents d'érosion importants. Les débris qui en résultent sont des fragments anguleux et les formes des reliefs sont également anguleuses et découpées. Les roches sont disloquées mécaniquement, mais peu altérées. Les montagnes sont peu à peu enfouies sous leur propres débris.

2) En pays humide (tempéré et surtout chaud) : L'altération est profonde, les débris sont entraînés. L'altération peut donc se poursuivre jusqu'à ce que le relief soit très adouci ou pénéplané. A ce moment-là, se forme une couche épaisse de limon d'altération superficiel, Les éléments du manteau du débris sont deux types :

- **Minéraux des roches originelles :** ils sont séparés par dislocation mécanique ou dissolution.
- **Minéraux nouveaux ou néoformés :** ils sont aussi résultants de l'altération chimique des roches. Parmi eux, les minéraux argileux (silicates d'alumines hydratées) sont

particulièrement intéressants. La présence de ces minéraux à structure feuilletées est importante, car ils jouissent d'un pouvoir adsorbant remarquable et, de ce fait, ils retiennent des ions, en particulier les ions fertilisants : alcalins et alcalino-terreux (**Na, K, Ca, Mg**), indispensables à la vie des plantes.

A.2. Matériaux d'origine organique :

Les débris de végétaux et d'animaux décomposés à l'air sous l'action de champignons et de bactéries, donnent une sorte de magma organique complexe : c'est *l'humus*. Ce produit contient toujours des substances caractéristiques de teinte noire, colloïdales, **très hygroscopiques** (qui absorbe l'humidité de l'air) : *les acides humiques*.

D'autres microorganismes amènent ensuite la transformation des produits azotés dérivés des matières protéiques en sels ammoniacaux (ammonisation) et en nitrates (nitrification).

B. FACTEURS DE L'EVOLUTION DES SOLS :

L'évolution des sols est essentiellement sous la dépendance de facteurs climatiques (température, humidité), mais les fermentations organiques, les transformations chimiques, la mobilité des colloïdes dépendent aussi de facteurs physico-chimiques du milieu tels que la valeur du **pH**, le pouvoir oxydant ou réducteur (Redox).

B.1. Facteurs physico-chimiques :

Dans un sol insuffisamment aéré, réducteur, l'humification est déviée dans le sens de la tourbification et à la nitrification succède la dénitrification.

Les bactéries de l'ammonisation demandent un milieu neutre ou alcalin. La nitrification exige aussi la présence dans le sol d'une réserve alcaline (chaux) susceptible de régulariser le pH du sol, qui, sans cela, aurait tendance à baisser, par accumulation d'acide nitrique, jusqu'à sa valeur d'arrêt.

Rappelons aussi que **la nature des minéraux argileux** issus de la **décomposition des feldspaths** dépend de la valeur du **pH** du milieu :

- **la kaolinite** se formerait en milieu acide ou neutre ;
- **la montmorillonite** en milieu basique.

Enfin, les phénomènes d'adsorption et de floculation sont également sous la dépendance du pH.

B.2. Facteurs climatiques :

1) En climat humide : Les précipitations atmosphériques prédominent sur l'évaporation. Aussi, les transformations chimiques et biologiques sont-elles intenses et conduisent-elles à des **sols évolués** dans lesquels l'eau entraîne certains éléments en profondeur. C'est évidemment dans les régions chaudes et humides que l'évolution pédologique est la plus rapide.

2) En climat aride : Le type régional est le climat désertique. L'évolution des sols est commandée par l'absence de couverture végétale, le rayonnement solaire intense, le gel et la rareté des précipitations atmosphériques.

Une certaine action dissolvante des eaux se manifeste, mais les éléments dissous ne sont pas évacués, l'évaporation intense produit au contraire un mouvement ascendant des solutions par une sorte d'aspiration vers la surface qui aboutit à la formation de :

- Croûtes des sels (**NaCl, Na₂CO₃, CaSO₄, MgSO₄**),
- Croûtes calcaires (Calcrêtes) (**CaCO₃**),
- Croûtes siliceuses.
- Vernis désertiques (pellicules noirâtres et brunâtres de **Fe₂O₃ et MnO₂**).

De tels dépôts désertiques sont connus à l'état fossile dans **les vieux grès rouges (Dévonien)** et dans les **nouveaux grès rouges (Permo-Trias)**.

3) En climat semi-aride : Des pluies périodiques permettent l'établissement d'un tapis végétal temporaire, lui-même périodique, du **type steppe**.

4) En climat froid : Dans les régions polaires, l'altération chimique étant presque négligeable, les sols **sont évolués**.

B.2. Facteurs biologiques :

De tous les facteurs de formation des sols, les facteurs biologiques sont les plus importants. On peut dire que « *sans vie, il n'y avait pas de sol* ». De nombreux pédologues accordent aux facteurs biologiques une priorité absolue, car les êtres vivants apportent au milieu minéral, à travers des cycles biologiques complexes, deux éléments nouveaux fondamentaux le carbone

organique et l'azote. Les facteurs biologiques sont les animaux, les végétaux, les organismes et l'homme. Les produits de leurs activités, les résidus qu'ils ajoutent à la masse minérale, évoluant en donnant de *l'humus*.

C. LA STRUCTURE D'UN SOL :

C.1. L'horizon de lessivage = mixte = éluvial (A) : est le plus superficielle et composé en proportions semblables d'humus et de matière minérale (**Fig.21**).

C.2. L'horizon d'accumulation = illuvial (B) : horizon accumulant des matériaux, transformés (bio) chimiquement et remaniés, riche en éléments fins (argiles, hydroxydes de fer et d'aluminium, composés humiques). On y trouve quelque débris grossiers (« cailloux ») provenant de la roche mère.

C.3. L'horizon d'altération (C) : horizon où se déroulent la fragmentation et l'altération de la roche-mère

C.4. La roche-mère peu ou pas altérée (horizon R) : elle peut être soit une roche sédimentaire, magmatique, métamorphique ou même un paléosol.

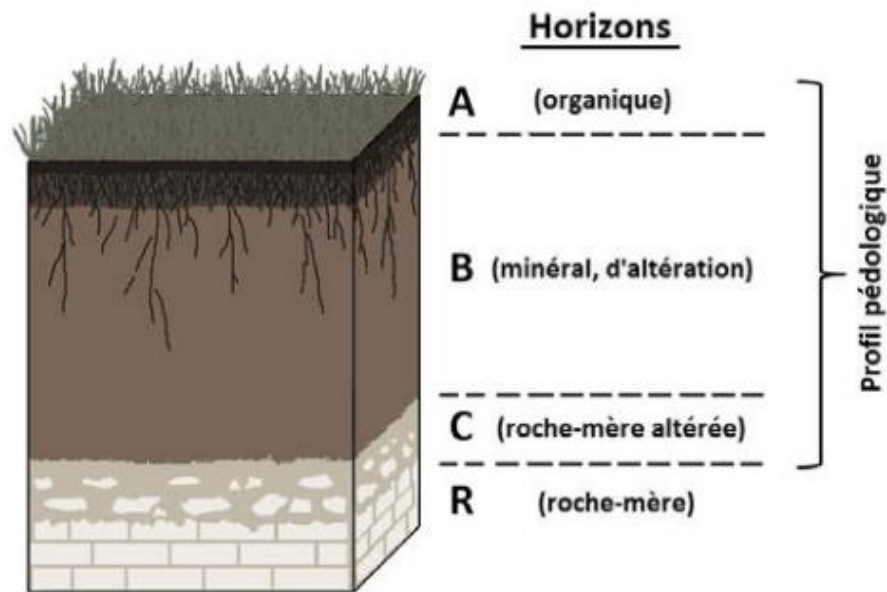


Fig.21. Profil pédologique théorique

D. ETUDE D'UN SOL-TYPE : LE PODZOL

1. Définition : Le **podzol** est le sol des forêts des régions tempérées humides. Il existe pour se développer deux facteurs :

a) Une forte humidité : elle est entretenue par des précipitations atmosphériques dépassant **500-600 mm d'eau/an** et par une abondante infiltration qui suppose une couverture végétale dense.

b) une température moyenne de 10% : on trouve le podzol dans toutes les régions forestières de la zone tempérée, Il en existe peu en Afrique du Nord.

2. Profil d'un podzol :

2.1. Définition : le profil et les horizons : La formation et l'évolution du sol, sous l'influence des facteurs écologiques, conduisent à la différenciation de strates successives, de texture, de structures et de couleurs différentes, appelées horizons. L'ensemble des horizons s'appellent le profil. Il est composé de trois horizons (Fig.21).

2.2. Composition d'un sol podzologique : De la surface du sol, à la roche-mère comprise, un podzol montre trois complexes qui qualifient d'horizons **A, B, C**.

Les **horizons d'un podzol** se distinguent par les caractères qui suivent et leur-désignation se fait par des lettres conventionnelles **A, B** (= horizons pédologiques proprement dits) ; **C** (désignant la roche-mère)

- **Horizon A : 0,20 m à 1 m d'épaisseur**, terre fine, à consistance cendreuse (*nom russe : podzol = comme cendre*), de teinte grise ou blanche.
- **Horizon B : Epaisseur très variable**, horizon humifère, coloré en jaune brun ou en rouge par des oxydes ou hydroxydes de fer, des oxydes de manganèse. Des concrétions Ferrugineuses, calcaires ou encore de la silice de néoformation peuvent être à l'origine de nodules isolés, parfois de croûtes continues. Les colloïdes humiques peuvent être cimentés les grains de sable en un alios humique.
- **Roches-mères (RM)** silicatées ou sableuses.

Dans un podzol très évolué, les complexes **A** et **B** sont subdivisés. Le complexe **A** comprend trois niveaux :

- **A₀** : couche de matières végétales non encore humifiées.
- **A₁** : couche humifiée noire avec limon plus ou moins caillouteux.
- **A₂** : couche de terre plus ou moins fine, de consistance cendreuse de teinte grise ou blanche.

Le **complexe B** est subdivisé suivant la nature des constituants en **deux ou trois niveaux** :

- **B₁** : niveau de concentration humique, noir, peu compact.
- **B₂ et B₃** : niveaux bruns, couleur rouille, marqués par des concentrations d'argile, d'oxydes de fer ou de calcaire.

3. Profil d'un podzol : Elle s'explique par des phénomènes de décomposition, de départ et de concentration (**Fig.22 et 23**).

a. Zone de décomposition : Elle comprend les niveaux **A₀** et **A₁**, où se produit l'altération argileuse des silicates ainsi que les fermentations aboutissant à l'accumulation lente des colloïdes humiques.

b. Zone de départ (= zone éluviale) : il s'y produit un véritable lessivage, cause de la décoloration de l'horizon **A₂**. Les conditions du milieu, le **pH** notamment (**pH = 4 à 5**), permettent l'entraînement de l'humus, de la silice, de l'argile, des hydroxydes de fer et d'aluminium, sous formes de solutions colloïdales.

c. Zone de concentration (= zone alluviale) : C'est la zone du complexe **B** qui s'enrichit par concentration d'éléments. Celle-ci est le résultat de la floculation des colloïdes (humus, argile, oxydes de fer) qui se produit lorsque les eaux descendantes, plus ou moins acides, sont neutralisées au contact des eaux basiques, remontant par capillarité de la profondeur.

Les podzols sont des sols peu fertiles : pauvres en ions fertilisants, car ceux-ci ont été entraînés par les eaux d'infiltration, pauvres en nitrates, car les fermentations bactériennes y sont lentes ; leur couche profonde, dure, gêne en outre le développement de l'appareil racinaire des plantes non ligneuses.

Cette évolution s'explique par des phénomènes de décomposition, de départ et de concentration. Elle comprend les niveaux **A₀** et **A₁** où se produit l'altération argileuse, des silicates ainsi que la fermentation aboutissant à l'accumulation lente des colloïdes humiques.



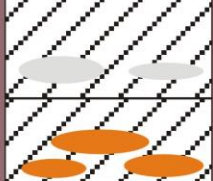

Zones	Profil pédologique	Horizons	Caractéristiques
Zone de décomposition		A ₀	Couche de matière organique, non encore humifiée
		A ₁	Couche humifiée noire avec limon plus ou caillouteux
Zone de départ (éluviale)		A ₂	Couche de terre plus ou moins fine, de consistance cendreuse, de teinte grise ou blanche
		B ₁	Niveau de concentration humique, noir, peu compact
Zone de concentration (illuviale)		B ₂	Niveaux bruns, de couleur rouille, marqués par des concentrations d'argiles, d'oxydes de fer ou de calcaires
		B ₃	
		C	Roche mère (RM) silicatée ou sableuse

Fig.22. Profil d'un podzol montrant les étapes de sa genèse et ses caractéristiques pédologiques

Dans le niveau **A₂**, il s'y produit un véritable lessivage, cause de la coloration de l'horizon **A₂**. Les conditions du milieu, le **pH** notamment est égal à **4-5** permettent l'entraînement de l'humus ; de la silice, de l'argile, des hydroxydes de **Fe** et d'**Al** sous forme de solutions colloïdales.

La zone de floculation, c'est la zone de l'horizon **B**, qui s'enrichit de la décantation des colloïdes (humus, argile, oxydes de fer) qui se produit lorsque les eaux descendantes plus ou moins acides sont neutralisées au contact des eaux basiques contenant par capillarité de la profondeur.

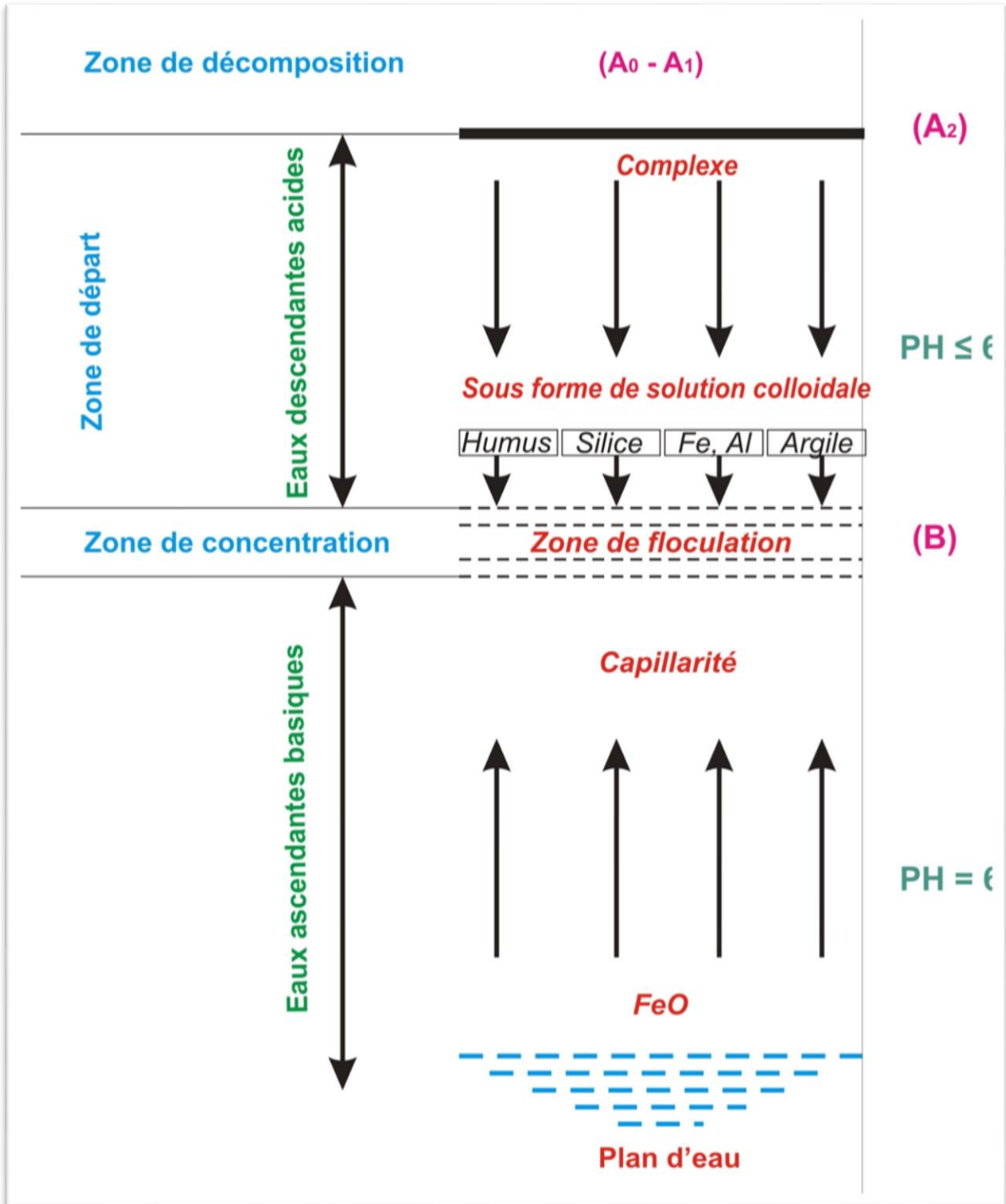


Fig.23. Eluviation-illuviation dans un sol podzologique hydromorphe

E. DIFFERENTS TYPES DE SOLS :

1. Sols formés sur roches siliceuses ou silico-alumineuses : Leur évolution aboutit aux principaux termes suivants :

1. a. Sols podzoliques : Ils présentent tous, comme le podzol typique décrit ci-dessus, un horizon **A₂** plus ou moins complètement décoloré, ce qui crée un contraste très net avec l'horizon **B** franchement **brun** et **riche en fer**. Ce sont des sols généralement pauvres.

1. b. Sols bruns : Leur teinte **brune** uniforme et plus ou moins **ocracée** tient à ce que l'horizon **A** a été moins **lessivé**. L'horizon **B** est pourtant nettement **enrichi en fer**, mais l'humus y est peu abondant. Ces sols bruns sont encore des sols forestiers, mais ils sont **fertiles**. Ils ont évolué en **climat tempéré** moins **pluvieux** que les **sols podzoliques**.

1. c. Sols latéritiques : Ils évoluent en **climat chaud et humide, sous forêt**. Le complexe **A** est de teinte générale gris rosé. Il est très peu humifère, car les fermentations bactériennes, intenses, détruisent rapidement l'humus. Sa consistance et sa composition sont celles d'un limon sableux. Dans le complexe **B**, l'horizon **B₁** où s'accumulent les hydroxydes d'alumine et de fer, est fait d'une argile latéritique de couleur rouge assez foncée. L'horizon **B₂** se présente comme une couche argileuse à concrétions rouges ou jaunes.

2. Sols formés sur roches carbonatées (calcaires ou dolomites) : L'évolution de ces sols est essentiellement influencée par la solubilité du **CaCO₃** dans l'eau chargée de **CO₂** :

2. a. Les rendzines (terme polonais = sol peu lessivé des versants calcaires) : une rendzine type ne comprend que le niveau **A₁**. C'est un sol de structure grumeleuse, de teinte gris noir, riche en pierrailles calcaires. Plus riche en calcaire et plus clair à sa base. Ce sol passe progressivement à la roche calcaire qui se débite vers le haut en plaquettes :

Les roches dégradées ont perdu la plus grande partie de leur calcaire par lessivage, lorsque la décalcification est poussée assez loin, c'est-à-dire le **pH** est tombé aux environs de **6**. Une fraction de fer également entraînée, il se forme alors un horizon **A₂**. Les éléments entraînés se concentrent plus bas dans un horizon qui n'est que faiblement esquissé.

2. b. Sols bruns lessivés : Ce sont des sols où la fraction de calcaire entraînée est grande, mais où il reste beaucoup d'argile de décalcification et un peu d'hydroxyde de fer responsable de la coloration brune. Ils forment une terre arable d'excellente qualité.

2. c. Sols rouges méditerranée : ils sont semblables aux précédents, mais leur formation sous climat plus chaud explique l'existence d'oxyde de fer, rouge qui imprègne l'argile de décalcification, donnant sols rouges méditerranéens, appelés "Terra-rossa".

2. c. Sols à carapace calcaire : ils se forment en climat aride. Dans les steppes (la Russie par exemple), le mouvement ascendant des eaux a provoqué une inversion des horizons. La roche mère C est recouverte d'une zone lessivée **A**, appauvrie en éléments qui se sont concentrées près de la surface du sol en un horizon d'accumulation **B**. la végétation ne peut s'installer que dans les creux et fentes où le vent a accumulé quelques poussières et crée un horizon **A₀**, fragmentaire et discontinu.

2. Sols humiliés : ils sont représentés essentiellement par les terres noires des steppes russes ou tchernozems (Tchernoziom : terme russe = terre noire très fertile). Leur profil, uniformément noir, du fait de leur grande richesse en humus, ne montre ni horizon de lessivage, ni horizon d'accumulation. Ce sont les terres à céréales par excellence.

En conclusion ; étant donné l'importance prépondérante des facteurs climatiques dans l'évolution pédologique, on peut dire que les **sols fossiles** sont de véritables caractéristiques des **périodes climatiques anciennes** et que leur étude présente un grand intérêt pour la **reconstitution de l'histoire géologique de la terre**.

F. CLASSIFICATION ET DIFFERENTS TYPES D'HUMUS :

La classification des humus est basée avant tout sur :

1. la morphologie des horizons humifères, qui est la résultante des **deux processus** fondamentaux de l'évolution de la matière organique : **a. Minéralisation, b. Humification**.

D'autres éléments importants de cette classification, sont :

2. La nature des produits formés,

3. Le degré de leur liaison avec la matière minérale, conditionnant la structure macroscopique et même la microstructure.

Suivant le régime hydrique des sols, on distingue È ix types d'humus :

1. Des humus formés en aérobiose ;

2. Hydromorphes en anaérobiose.

1. Des humus formes en aérobiose (milieu aérobie)

1.1. Le Mor (mot danois = humus brut) : ici l'horizon A_0 est net et épais. Il résulte d'une transformation très ralentie des débris végétaux par l'action dominante de champignons. La pédofaune est rare et l'activité biologique faible. L'incorporation de la matière organique à la matière minérale est nulle : c'est l'*humus des forêts à sols siliceux acides*. (Fig.24).

1.2. Le Moder (mot allemand = terreau) : Il y a une nette séparation entre A_0 et A_1 . La transformation biologique qui est forte, se fait principalement sous l'action d'Arthropodes associées à des Champignons et des Bactéries. Il n'y a pas association d'argiles et d'humus, mais juxtaposition de micro-agrégats organiques aux particules minérales : c'est l'*humus des sols lessivés acides*.

1.3. Le Mull : Il n'y a pas d'horizon A_0 . L'humus est incorporé intimement à la matière minérale avec laquelle il forme des **complexes argile-humiques**. La transformation biologique est forte ; elle est faite par des **Lombrics (vers de terre)** associés aux bactéries : c'est l'*humus doux des sols bien structurés et aérés*. On distingue deux grands types de mull qui sont :

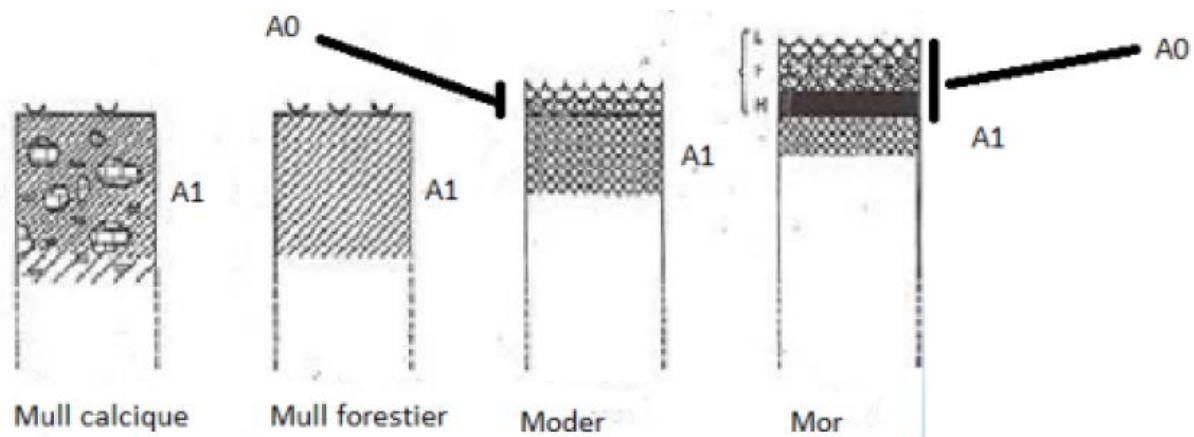


Fig.24. Schématisation des principales formes de l'humus et représentation des différents horizons

a. Mull calcique : c'est l'*humus des sols calcaires* riches en **calcaire actif** en **calcium échangeable** ; il est **alcalin (pH entre 7,7 et 8,5)** riche en **acides humiques** flocules en grumeaux. L'horizon A_0 est très mince. L'horizon A_1 est bien développé (ex. : écosystème steppique sur sol calcaire et dans lequel l'horizon A_1 et foncé constitue les terres noires).

b. Mull forestier (humus doux) : c'est l'*humus des forêts de feuillus tempérés*. La minéralisation étant rapide, on n'observe pas d'horizon A_0 , mais seulement une litière de feuilles mortes. En

revanche **A₁** est bien développé, il est brun offre une structure grumeleuse. Le **pH** varie entre **5** et **6,5**.

2. Des humus formes en anaérobiose (milieu anaérobie)

2.1. La tourbe : La tourbe est le produit de la fossilisation de débris végétaux sur **1000** à **2500 ans** dans des **milieux humides anaérobies** que l'on appelle « **tourbières** ». Cette matière, parfois considérée comme roche ou comme sol, est constituée de **10** à **20 %** de matière végétale peu décomposée, le reste étant composé d'eau. Sur **résidu sec**, la **teneur en carbone** peut atteindre **50%** en poids, ce qui rend la tourbe séchée bon combustible.

A l'extraction, on distingue la **tourbe blonde** de la **tourbe brune** : la première est la plus jeune, donc peu décomposée, tandis que la seconde se retrouve dans les couches profondes des tourbières. Toutes deux sont des **terres fortement acides**.

En pédologie, on distingue deux types de tourbe :

a. La tourbe calcique : elle se forme dans les **bas-fonds** constamment **saturés d'eau** sur **substrat calcaire**. L'alimentation en eau provenant d'une nappe d'eau alimentée en permanence. Le **pH** est **neutre** (ou **légèrement alcalin**).

b. La tourbe acide (oligotrophe) : elle se forme dans **les cuvettes** où s'accumulent **les eaux pauvres en calcium** (d'origine atmosphérique). Le **pH** est **fortement acide (entre 4 et 5)**.

2.2. L'anmoor : C'est un mélange intime de matière organique très humifiée et d'argile dû à une transformation biochimique forte. La structure est massive, la couleur est noire et l'horizon très collant : c'est *l'humus des sols engorgés temporairement en surface et à gley de profondeur*.

Gley : horizon d'un sol lié à la présence d'une nappe stagnante et caractérisé par des teintes grisâtres, bleuâtres ou verdâtres dues à la présence de fer réduit.

L'**anmoor** est un type **d'humus** qui se forme en **anaérobiose** non permanente ; il faut pour cela que la nappe phréatique subisse des variations saisonnières importantes.

A la différence de **la tourbe**, **l'anmoor** est constitué par un mélange intime d'argile et de molécules organiques généralement bien humifiés ; le taux de celles-ci n'excède pas **30%**.

De couleur noir, l' anmoor présente une structure compact, plastique, collante et son **épaisseur** est de l'ordre de **20 à 30 cm**.

On distingue **(i) un anmoor acide (oligotrophe)** et **(ii) calcique (beaucoup plus riche et biologiquement plus actif)**.

NB : Sols hydromorphes « sols à gley » : horizon d'un sol dans lequel la présence permanente de l'eau amène une concentration d'argile et de fer à l'état réduit. La présence de ce sol est liée d'une nappe phréatique permanente aux faibles oscillations (plaine alluviale), en terrain argileux à faible perméabilité latérale (eau stagnante), assez riche en matière organique. Dans ces conditions, le renouvellement de l'oxygène dans la nappe est nul, la matière humique entraînée est réductrice et transforme l'oxyde de fer en oxyde ferreux. Dans les parties où l'eau peut circuler, elle évolue vers la tourbière à **Sphaignes** (mousse dont la décomposition donne la tourbe).

G. SYSTEME DE CLASSIFICATION DES SOLS :

Il existe plusieurs systèmes de classification des sols, basés sur un ensemble divers de critères. La classification peut être :

a. Génétique : basée sur l'importance relative des différents facteurs pédogénétiques que nous venons de rappeler.

b. Objective : basée sur des critères morphologiques et/ou analytiques, indépendamment de toute conception génétique.

1. La classification française :

Ce système est basé sur une série de critères hiérarchisés, permettant d'accéder à des niveaux de plus en plus détaillée de classification. Les unités de classification successives sont :

1.1. L'ordre : Basé sur le stade d'évolution du profil. Il permet, notamment de distinguer :

(i) des sols juvéniles ou immatures (azonaux) et

(ii) des sols matures, en équilibre avec les conditions du milieu (pédoclimat).

1.2. La classe : Basée sur :

- (i) le mode d'altération des minéraux ;
- (ii) les propriétés d'humidification ;
- (iii) la présence de gley ou pseudo-gley (hydromorphe) ;
- (iv) la présence de sel (holomorphe).

1.3. Le groupe : Basé, notamment sur la différenciation en horizons.

2. La classification américaine :

Les pédologues américains ont basé leur système de classification sur la **notion d'horizons de diagnostic**. Ceux-ci étant définis, décrits et analysés des normes bien déterminées et standardisées, le système est dit objectif.

Les horizons de surface ou « *Epipedon* », englobant les horizons superficiels du profil où la présence de matière organique est directement décelable. Les horizons de profondeur sont, en gros les horizons **B**.

3. La classification de F.A.O :

Le **système F.A.O** prend en compte, lui aussi, l'existence d'horizons de diagnostic, analogues à ceux de la classification américaine. Toutefois, alors que la terminologie américaine des types de sols est originale, on la retrouve, dans le système **FAO-UNESCO**, dont nous citons quelques-uns :

- (i). **Fluvisols** sols formés sur alluvions récentes
- (ii). **Gleysols** sols humides
- (iii). **Régosols** : sols non évolués
- (iv). **Rendzines** ou **rendsols** sols à horizon **mollique** reposant directement sur une roche-mère calcaire
- (v). **Cambisols** : sols à horizon cambique (**Bw** ou **B**)
- (vi). **Luvisols** : sols à horizon argillique (**Bt**)
- (vii). **Podzols** : sols à horizons spodique
- (viii). **Histosols** : sols à horizon Instigue (sols organiques ou tourbeux).

H. RESUME DES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS ET LEUR SEMANTIQUE :

1. Sols peu différenciés :

1.1. Lithosols : Profil réduit à la roche de type **MR** ; couche **O** possible.

1.2. Cryosols : sols gelés périodiquement en surface, constamment en profondeur (pergélisol ou permafrost).

1.3. Colluviosols : sols sur colluvions de pente formés de portions de sols érodés et de roches altérées ou non.

1.4. Fluviosols : sur alluvions fluviales ; profils à horizon de type **J** ou **A** sur une roche meuble à base de limons et de graviers (**M**).

1.5. Rankosols ou ranker : sur roches siliceuses ; humus peu actif (mor) ; profil (**O**)/ **A/C** ou **R**.

2. Sols carbonates :

Ils comprennent en particulier *les Rendosols* ou *Rendzines* et les *Calcosols*. Ils sont installés sur une roche calcaire **C**, **R** ou **M** ;

- **Rendosols** profil : (**O**), **Aca/C**, **M** ou **R**. L'horizon **A** est calcaire (**Aca**), il contient un complexe argile-humus- CaCO_3 ; l'épaisseur est au maximum de **40 cm** ;

- **Calcosols** : ils possèdent en plus un horizon structural calcaire **Sca**.

3. Chernozem ou Chernosols : Sous climat froid et sec (steppe) ; définis en **Ukraine** ; horizon **A** noir à structure grumeleuse (forte activité des lombrics), très riche en matière organique, jusqu'à **60 cm** d'épaisseur. **S** réduit non calcaire profil **A/(S°/C)** ; sol très fertile.

4. Sols bruns ou Brunisols : En climat tempéré ; profil **A/S/C** ; humus actif (mull), horizon **S** brun (association oxydes de fer-argiles).

5. Sols bruns lessivés ou Luvisols : Ce des sols présentant une illuviation d'argile. L'horizon supérieur est appauvri en argile et en fer, il est plus clair et perméable (**horizon E**). L'horizon sous-jacent concentre l'argile et le fer ; il est plus coloré et présente une structure polyédrique ou prismatique (**horizon (BT)** ; profil **A/E/BT/C** ou **M**).

6. Podzols ou Podzosols : Sols à horizon cendreaux des zones boréales (Taïga) et tempérés humides : profil de type **O/A/E/BP**.

7. Sols hydromorphes ou Gley : Sols imbibés d'eau ; le déficit d'oxygène ralentit l'humidification et réduit le Fe (couleur gris-vert), à l'extrême, une gley peut donner une tourbe.

8. Sols rouges fersialitiques ou Fersialsols : Ils sont riches en oxydes de fer formant avec les argiles (**smectites**), un horizon structural fersialitique **FS** ; sous climat méditerranéens et subtropicaux. Profil de type **A/FS/C, M ou R**. L'illuviation des argiles peut aboutir à un horizon **E** appauvri en argiles surmontant l'horizon **FS** enrichi en argiles nommé **FSt**.

I. LA THEORIE DE LA BIO-RHEXISTASIE D'ERHART (1967) :

L'action de la bio-rhexistasie d'Erhart a le mérite de montrer de façon pertinente non seulement l'action sur les profils des phases climatiques successives de pédogenèse, mais aussi les relations qui existent entre la formation des sols sur les régions émergées et la nature des dépôts marins qui se forment simultanément. La théorie de la bio-rhexistasie souligne le rôle de la forêt qui protège les sols de l'érosion et règle l'évacuation des produits de l'altération continentale (**Fig.25**).

D.1. la période de biostasie :

Elle caractérise les phases suffisamment **humide** pour favoriser la forêt continentale qui a vu l'édification des **calcaires**, des **dolomies** et des variantes **silicifiées** de ces roches, et elle coïncide avec l'accumulation des dépôts résiduels de type « **terra-rossa** » et la formation de certaines croûtes calcaires, résultant de la décarbonatation des horizons supérieurs, avec entraînement et précipitation des carbonates dans les zones où les racines absorbantes sont abondantes (croûtes nodulaires, karst, calcaires pulvérulents).

D.2. la période de rhexistasie :

Elle survient à la suite des déformations tectoniques, modification climatique, voire cause anthropique actuellement, qui a détruit la forêt. L'érosion s'attaque au sol, et le déblaie, puis aux roches du sous-sol. La sédimentation correspondante est ainsi composée des éléments de la phase résiduelle remaniés donnant des argiles (pouvant être riches en kaolinite, en débris végétaux, et en matières organiques), puis par des dépôts plus grossièrement détritiques, sableux et/ou calcaireux, avec des conglomérats si les reliefs sont importants. Ces périodes peuvent se succéder plus ou moins régulièrement, et donner ainsi des séquences ou des cycles sédimentaires.

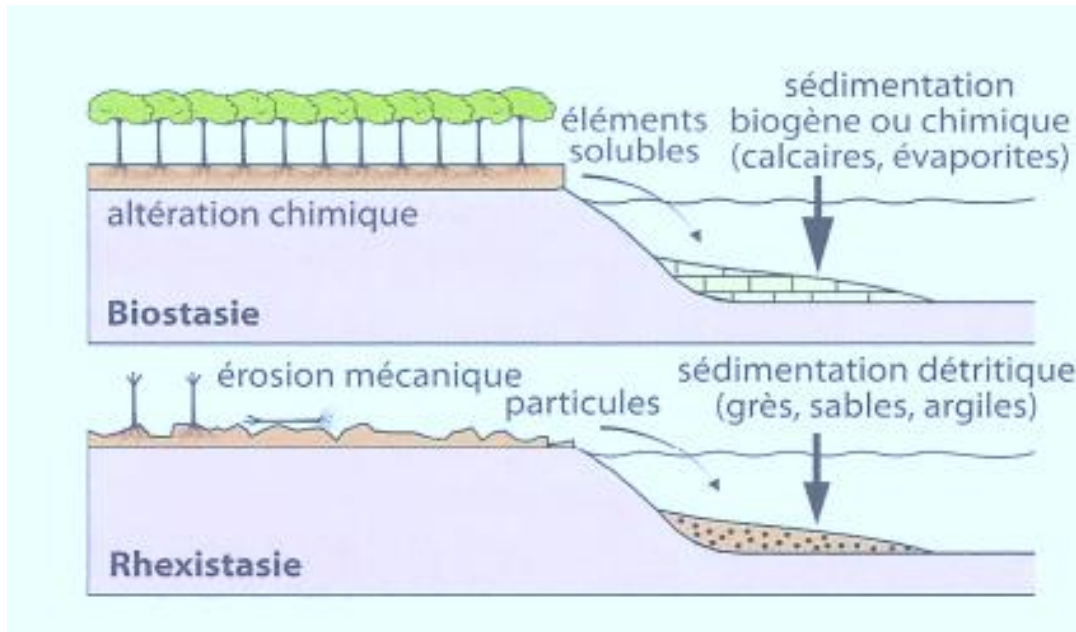


Fig.25. théorie de la bio-rhexistasie d'Erhart (1967)

VII- Les paléosols et sols fossiles : les cycles d'évolution anciens :

Plusieurs facteurs interviennent dans l'évolution ancienne du sol :

- Le climat
- La végétation, différente de celles qui existent actuellement.

Ces sols d'origine ancienne ont résisté à l'érosion et ils continuent à affleurer ce sont les **paléosols**, les **sols « reliques »**. Certains caractères, hérités de cette pédogenèse ancienne se sont conservés jusqu'à nos jours. Pour cette raison, on les appelle : « **sols hérités** ».

Dans certains cas, ces anciens sols ont été recouverts par des dépôts plus récents ce sont alors véritablement des « **sols fossiles** ».

J. PALEOSOLS - EXEMPLES DE PALEOSOLS

Deux formations quaternaires ont été souvent décrites : il s'agit des «**Argiles de décalcification**» provenant de la **décarbonatation** lente des **calcaires durs**, appelées communément, (i) « **Terra-Rossa** » et (ii) « **Terra-Fusca** ».

1. Terra rossa (mot Italien signifie terre rouge) : c'est le résidu de la dissolution des calcaires, avec appauvrissement en SiO_2 et enrichissement en Fe_2O_3 , qui se concentre dans les cavités en morphologie karstique. Elle est très répandue sous les climats méditerranéens.

2. Terra fusca (mot latin signifie terre sombre) : Argile limoneuse ocre recouvrant des plateaux calcaires en zone tempérée. Elle est le produit d'une décalcification ayant subi une pédogenèse complexe sous climat chaud puis périglaciaire.

L'étude de la Terra-Fusca montre qu'elle a subi généralement trois phases de pédogenèse :

a. une phase en **climat chaud et humide (interglaciaire)**, à l'origine de la décarbonatation du profil et de l'accumulation d'oxyde de fer hydratés (non encore rubéfié), lui donne une couleur ocre.

b. une phase de "**cryoturbation**", attestée par la formation de poches d'argiles, mélangées de façon irrégulière avec les fragments éclatés par le gel, du calcaire sous-jacents : cette phase est contemporaine d'une phase glaciaire.

c. une phase d'évolution actuelle vers le sol brun calcique à **mull**, caractéristique du forêt feuillu.

D'autres formations sont encore plus anciennes et datent de la fin du Tertiaire.

3. Les limons gris ou limons blancs : formation d'argiles limoneuse grise ou blanche, parsemée de petites concrétions ferrugineuses. Elle résulterait d'une évolution du sol en climat tropical et en milieu mal drainé.

4. Les dépôts sidérolithiques : sortes d'argiles bigarrées, à grosses concrétions ferrugineuses rouges ou noires ce sont de véritables sols ferralitiques fossiles, avec des fragments de cuirasses. Ils portent actuellement en surface des sols lessivés ou podzoliques acides.

5. Les argiles à silex : elles résultent de la décarbonatation ancienne de la craie détritique.

6. Bauxite : roche sédimentaire résiduelle qui est un minerai d'aluminium (**40 %** au moins de Al_2O_3). La roche est tendre, blanchâtre (sans Fe) ou jaunâtre (à goethite) ou rosée ou rouge (à hématite).

J.1. La reconnaissance des paléosols sur le terrain :

Les **trois grands critères** généralement utilisés sont : **les traces de racines, la présence d'horizons** et **l'existence de structures pédologiques**. Ces structures sont importantes pour interpréter les conditions de formation des paléosols : drainage, comportement chimique.

a. Les traces de racines : indiquent sans ambiguïté que le sédiment a été exposé à des conditions atmosphériques et qu'il a été colonisé par des plantes. D'ailleurs, lorsque c'est le seul critère reconnu, on parle alors **d'Entisol** du fait de l'absence de transformations physiques ou minéralogiques.

En l'absence de matière organique, les traces de racines sont tout à fait assimilables à des traces fossiles. Les critères distinctifs sont généralement des **embranchements dirigés vers le bas, une section de taille très irrégulière, la présence de radicelles.**

b. Les horizons pédologiques : même s'il en existe une grande variété, la présence d'une limite supérieure nette (souvent une troncature par contact érosif) et des frontières diffuses entre les horizons et le matériel originel, constituent l'un des critères les plus fiables sur le terrain. La caractérisation des horizons se fait à partir de la granulométrie, la couleur, la réaction avec l'acide et la nature des limites entre horizons.

Exemples :

- **Inceptisols** correspondent à des horizons peu développés.
- **Les vertisols** des sols riches en argiles avec des **traces de gonflement rétraction.**
- **Les aridisols** des sols riches en CaCO_3 typique de climats **arides** avec développement d'horizons.

c. Les structures pédologiques : se développent aux dépens de la texture du matériel originel. La structure d'un sol apparaît souvent massive au premier abord, bien qu'elle reflète une organisation complexe avec des agencements particuliers liés aux conditions qui ont régné dans le sol. Cette texture est principalement le résultat de l'activité biologique, des bioturbations par les plantes et animaux, des cycles saturation/dessiccation (**Fig.26**).

TYPE	EN PLAQUETTES	PRISMATIQUE	COLUMNNAIRE	POLYÉDRIQUE ANGULEUX	POLYÉDRIQUE SUB-ANGULEUX	GRANULAIRE	GRANULEUX
SKETCH							
HORIZON HABITUEL	E, Bs, K, C	Bt	Bn	Bt	Bt	A	A

Fig.26. Différents types de structures communément reconnues dans les paléosols (d'après Retallak, 1997)

J. 2. Les sols fossiles enterrés :

Les sols fossiles enterrés s'observent surtout dans certains dépôts sédimentaires d'origine **alluviale** ou **éolienne** ayant fait l'objet d'apport successifs certaines terrasses alluviales et plus particulièrement les dépôts de loess ou autres limons éoliens.

Le Loess : est un dépôt éolien, fin et homogène, de texture limoneuse pauvre en sable, contenant **10 à 20 %** de carbonates de chaux. Il a pris naissance au cours des périodes relativement sèches de Würm, par suite de l'entraînement par les vents d'argiles morainiques très fines ; celles-ci auraient été déposés par les glaciers au cours des périodes précédentes (période au contraire humide et froide).

Le loess est généralement décarbonaté en surface et transformé en Lehm ou Lœhm.

J.3. Deux formations d'origine pédologique liées aux paléoclimats :

a. Les silcrètes : de nombreux sédiments sont silicifiés. Cependant, certaines silicifications particulières sont reconnues comme des silcrètes pédologiques ou silicifications climatiques, c'est-à-dire liées aux climats qui régnaient au moment des émerSIONS.

On considère que les silicifications climatiques se sont formées à toutes les époques (du Paléozoïque à l'Holocène), dans toutes les conditions (arides ou humides) et sur toutes les roches, des grès aux basaltes.

b. Les Calcrètes : les calcrètes sont des encroûtements calcaires **d'origine pédologique** qui, dans les séries sédimentaires marines, apparaissent comme nécessairement liés aux **émerSIONS**. Le **concrétionnement calcaire** affecte aussi, bien entendu, les sédiments et les socles continentaux.

J.4. Identification des formations continentales dans l'ancien :

- *Les critères de pédogenèse en **environnement carbonaté*** : le développement de paléosols sur **horizons carbonatés** est essentiellement la conséquence de phénomènes de dissolution et précipitation, avec comme résultat la redistribution et la réorganisation d'une grande partie des carbonates originaux. Les structures les plus courantes sont les suivantes :

a. Structures macroscopiques :

1. les rhyzolithes ou rhizolithes : ces structures sont particulièrement bien développées dans les dépôts **éoliens** où les végétaux doivent posséder des racines profondes pour atteindre la nappe phréatique. De nombreux types de rhyzolithes ont été décrits dans la littérature. D'une manière générale, ces structures comprennent un vide (occupé par les tissus végétaux), de forme souvent fourchue avec extrémités coniques, éventuellement rempli par des sédiments postérieurs et un manchon ou enveloppe, constituée de **micrite** ou **microsparite** (Fig.27).

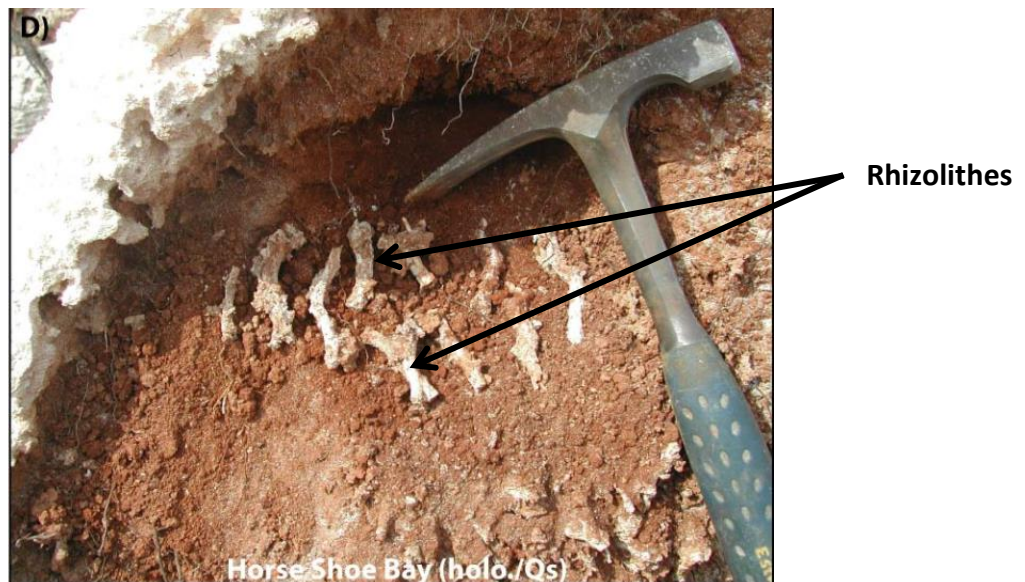


Fig.27. Rhizolithes

2. les nodules : la précipitation du **CaCO₃** dans le sol est irrégulière avec comme conséquence le développement de nodules à contours mal définis, de « ponts » et encroûtements micritiques et finalement le remplacement de grains originaux par de la micrite, voire la formation d'horizons micritiques continus (**calcrête massif**) (Fig.28).

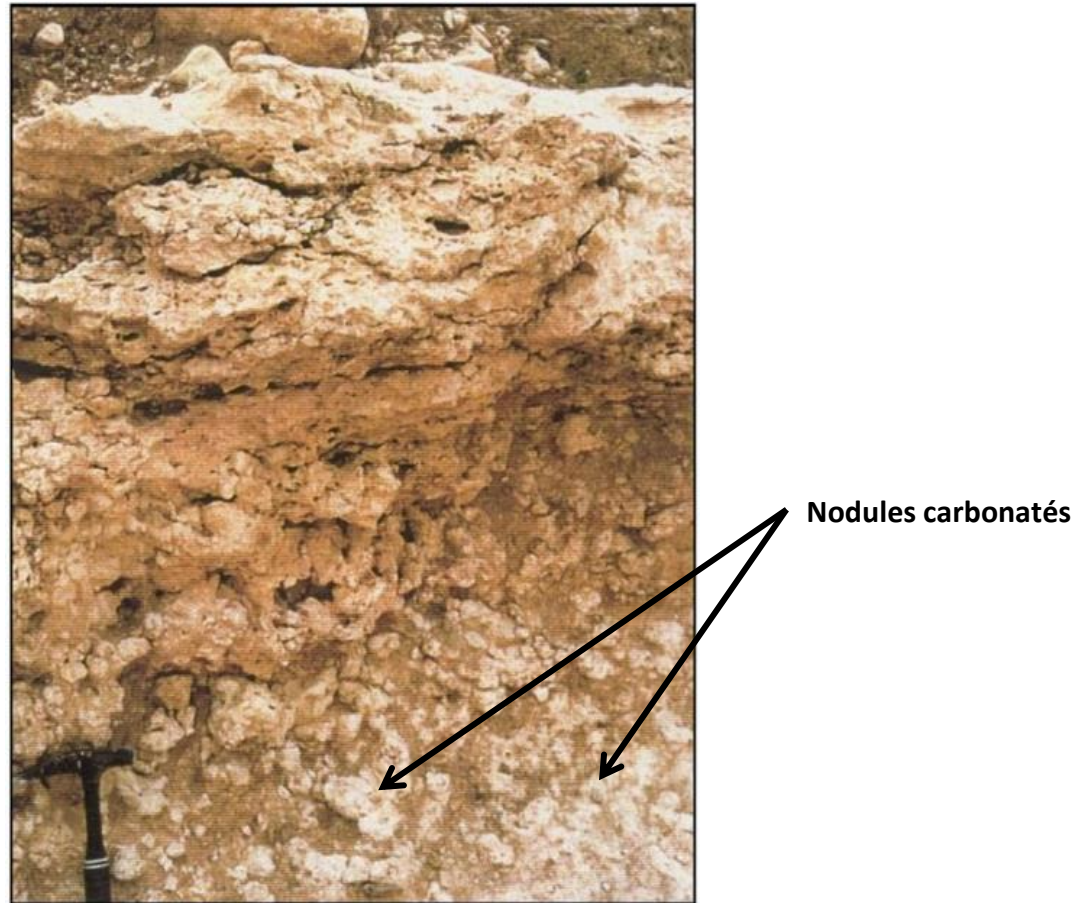


Fig.28. Limons riches en nodules carbonaté

3. Les niveaux laminaires : il s'agit de croûtes finement zonaires dont l'origine reste assez controversée : activité microorganique, précipitation par évaporation de l'eau. Ces croûtes peuvent surmonter des horizons indurés, des substrats plus anciens, etc... Pour certains auteurs, il s'agirait de **stromatolithes** fossiles (enfouis sous la partie superficielle du sol) (Fig.29).

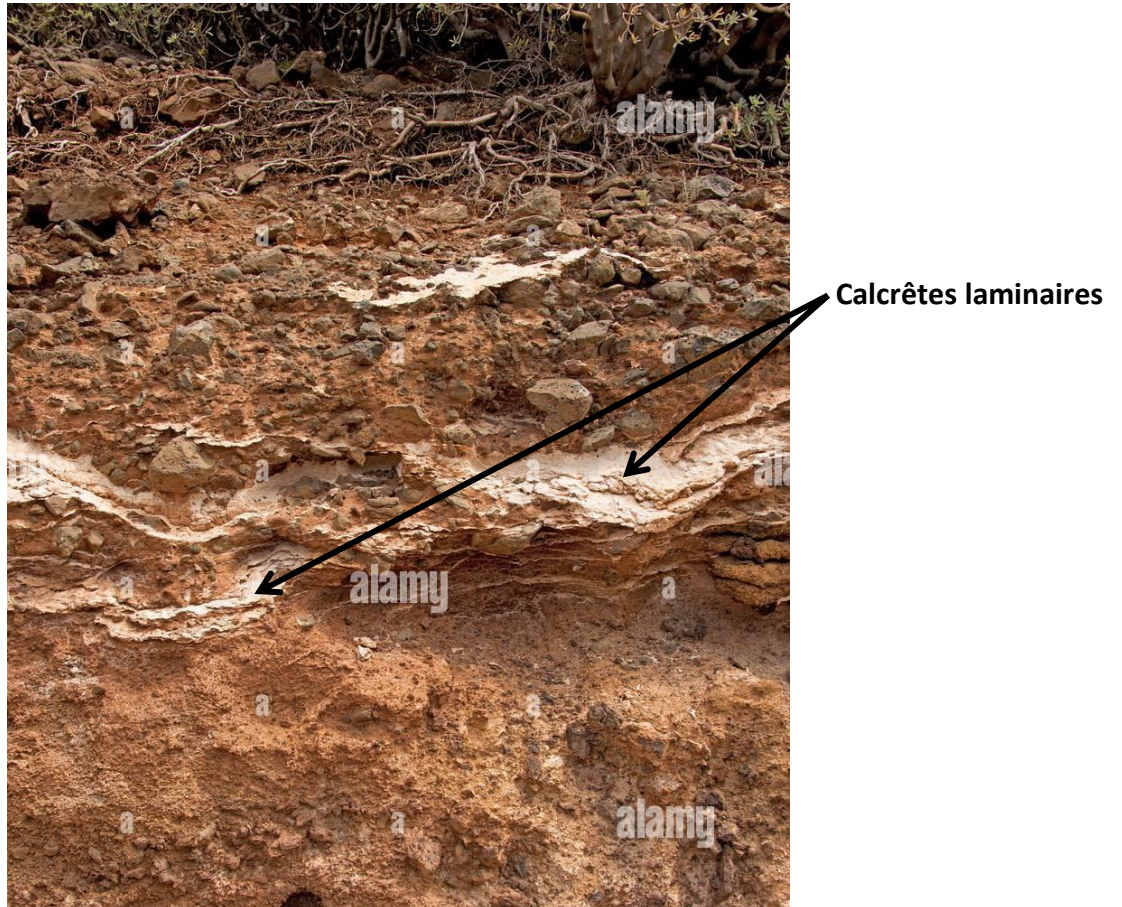


Fig.29. Les niveaux laminaires (calcrêtes laminaires) dans un sol

4. les horizons bréchiques : les éléments (endoclastes), anguleux à arrondis, peuvent être cimentés par des croûtes laminaires. La bréchification peut être liée à des cycles de sécheresse-humidité, à l'action des racines, aux écarts de température, etc.

5. les structures de dessiccation ou les fentes de dessiccation (*mud-cracks*) : Ce sont des fissures ouvrant dans un sol argileux qui se dessèche. Ces fentes dessinent souvent un réseau grossièrement polygonal qui peut être moulé et fossilisé par le dépôt d'un nouveau sédiment(**Fig.30**).



Fig.30. Fentes de dessiccation de forme polygonale au sommet d'un sol

6. les pisolites : ces concrétions calcaires de taille **millimétrique** sont fréquentes dans les **cavités de sols évolués**, souvent en **granoclassement inverse**. Des horizons pisolitiques fortement développés sont généralement **l'indice de sols sur pentes** (Fig.31).



Fig.31. Pisolites avec granoclassement inverse

b. Structures microscopiques :

1. **Structure alvéolaire** : c'est la structure la plus typique des **paléosols**. Il s'agit de septes arqués de quelques centaines de μm de long, développés dans des cavités, généralement des racines.

2. **Microfractures** : leur morphologie est très typique elles sont généralement courbes.

3. **Péloïdes** : souvent appelés glaebules, leur origine peut être très diverse fragmentation d'horizons micritiques par des microfractures courbes, micritisation de grains carbonatés, calcification de pellets fécaux, activité microbienne (**Fig.32**).

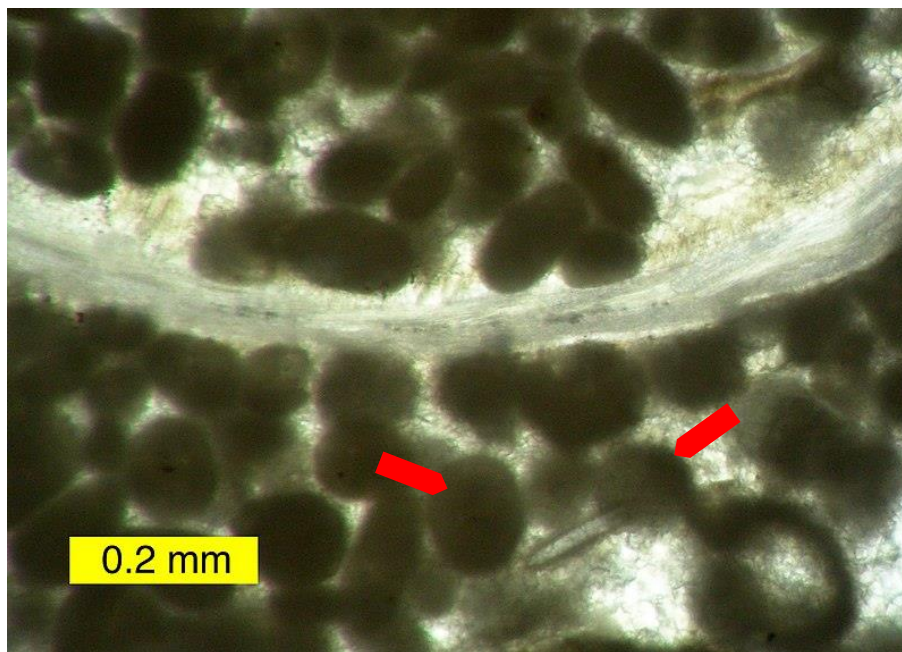


Fig.32. Péloïdes

4. **Ciments** : parmi les variétés observées, citons des fibres de 1 à $5\mu\text{m}$ x 50 à $100\mu\text{m}$ de **calcite magnésienne**. Leur origine semble liée à la présence de **mycélium**. Ces structures fragiles sont souvent remplacées par de la micrite. Les ciments montrent souvent une morphologie typique de milieux vadoses (ponts, pendants) (**Fig.33**).

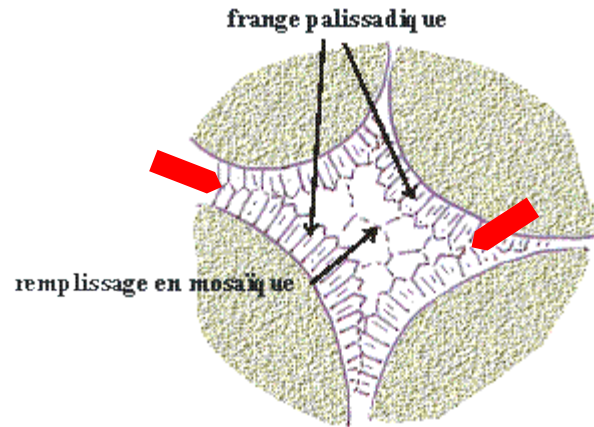


Fig.33. Ciment calcitique

5. Microcodium : Assemblages en épi de petits prismes **calcaires**, connu notamment dans des sédiments du **Crétacé supérieur** et de l'**Éocène**, et dont l'origine serait organique (calcification de filaments de champignons ou de bactéries filamenteuses dans des paléosols) (**Fig.34**).

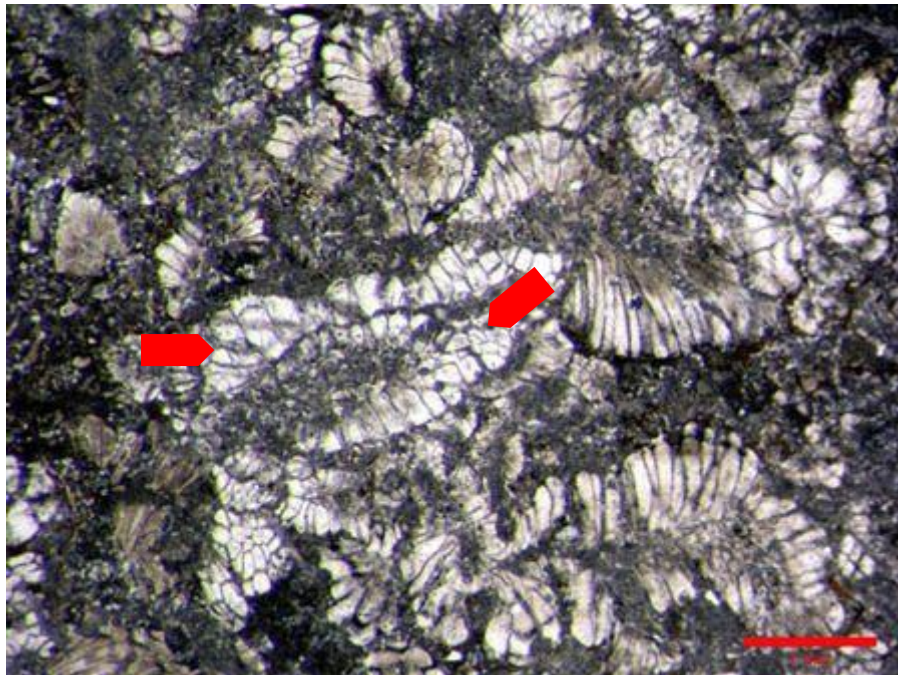


Fig.34. Microcodium

K. CONCLUSION

Les calcrêtes et silcrêtes semblent se développer en exclusion dans l'espace mais aussi dans le temps. En effet, les **calcrêtes** se développent surtout sous les **tropiques** et les **silcrêtes** davantage sous les **latitudes moyennes**. En outre, les calcrêtes sont plutôt caractéristiques des

climats arides et *chauds*, tandis que les *silcrètes* sont favorisées par des *climats arides et froids*.