

1980 - Université de Bordeaux III

QUELQUES TYPES DE CRISTALLISATION DE CALCITE DANS LES SOLS A CROÛTE CALCAIRE  
(STEPPE ALGERIENNES). APPORT DE LA MICROSCOPIE ELECTRONIQUE.

M. POUGET et D. RAMBAUD

ORSTOM, Services Scientifiques Centraux, 93140 BONDY.

Résumé - Dans les sols à croûte calcaire des steppes algériennes, la microscopie électronique (MET et MEB) permet de mettre en évidence un faciès de calcite micritique en bâtonnets (0,1 à 2-3  $\mu$ ). Regroupés et enchevêtrés les uns dans les autres, ils forment des amas de plusieurs microns (aspect "nid de pie").

Les observations de terrain et l'étude micromorphologique conduisent à établir une certaine relation entre la présence de ce type de cristallisation secondaire et l'activité du système racinaire de la végétation steppique.

Mots clés - Sols à croûte calcaire, calcite micritique, microscope électronique (MET et MEB).

SOME TYPE OF CALCITE CRYSTALLIZATION IN CHALK-CRUST SOILS (ALGERIAN STEPPES). CONTRIBUTION OF ELECTRON MICROSCOPY.

Abstract - In the chalk-crust soils of the Algerian steppes, the electron microscopy (MET and MEB) makes it possible to reveal a prismatic facies of micritic calcite (from 0,1 to 2-3  $\mu$ ). These prisms which are linked together form accumulations of several microns in thickness and look like a "nid de pie".

Field observations and the micromorphological study lead to establish a certain relationship between the presence of this type of secondary crystallization and the activity of the root system in the steppe vegetation.

Key words - Chalk-crust soils, micritic calcite, electron microscope (MET and MEB).

71 AVRIL 1985

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 17.242 ext

Cote : B

L'observation de lames minces de sols au microscope optique a permis à de nombreux auteurs de préciser l'organisation micromorphologique des horizons à accumulation calcaire et les principaux types de cristallisation du carbonate de calcium (A.FOURNET, 1969, J.L.SEGAL et al., 1972, L.BAL, 1975, etc.). En fonction de la taille et de la forme des cristaux de calcite, on distingue généralement :

- la sparite ( $> 10 \mu$ ) avec, en particulier, un faciès de calcite aciculaire (lublinite),
- la microsparite (4 à  $10 \mu$ ),
- et la micrite ( $< 4 \mu$ ).

Bien que très largement utilisée en pédologie depuis plusieurs années, la microscopie électronique (MET et MEB) n'a guère été appliquée à l'étude des sols à croûte calcaire. Leur complexité et l'omniprésence du carbonate de calcium peuvent, pour une part, expliquer cette absence d'observation.

En prenant l'exemple des steppes algériennes, que l'un de nous vient d'étudier (M.POUGET, 1980), et après un rappel des principales caractéristiques morphologiques et micromorphologiques des sols à croûte calcaire, nous nous proposons de préciser certains faciès de calcite micritique observée en microscopie électronique.

## 1. LES SOLS A CROÛTE CALCAIRE.

### 1.1. Principales caractéristiques morphologiques.

Dans les steppes algériennes (climat méditerranéen aride avec P compris entre 400 et 100 mm) les vastes surfaces encroûtées du Quaternaire ancien et moyen attestent de l'extension considérable des sols à croûte calcaire sur des matériaux très divers : alluvions, colluvions de piedmont, argiles sableuses rouges du Tertiaire continental, etc.

Leur morphologie présente une très grande diversité en fonction de nombreux facteurs : âge de la surface encroûtée, nature du matériau, topographie, etc. Certes, depuis les travaux de RUELLAN (1970), il est possible d'arriver à un certain accord concernant la nomenclature des accumulations calcaires dans les sols. Néanmoins, l'importance accordée au système racinaire de la végétation steppique vivace nous conduit à distinguer deux types principaux de sols à croûte calcaire en fonction de l'absence, ou de la présence, d'un horizon laminaire K1.

#### 1.1.1. Sols de type I (sans horizon laminaire).

Les profils présentent la succession verticale classique (Fig. 1) :

- Horizon A : épaisseur variable (10-40 cm), brun-rougeâtre, calcaire ( $< 25-30 \%$ ), débris de croûte, nombreuses racines ;
- Horizon KCr : croûte calcaire beige-rosé à blanchâtre avec une superposition de feuillets séparés par des espaces subhorizontaux plus ou moins anastomosés entre eux et colonisés par les racines. Selon l'âge, la nature du matériau et plus généralement selon le degré d'évolution de la croûte, chaque feuillet peut être, en totalité ou en partie, induré en dalle compacte. Les surfaces supérieures, parfois latérales, sont tapissées par des pellicules rubanées plus ou moins épaisses et de couleurs différentes (saumon, rosé, beige, grisâtre à noirâtre) ;
- Horizon Ke : encroûtement calcaire à structure massive, parfois finement feuilletée à la partie supérieure ou polyédrique nodulaire (nodules durcis). Quelques racines surtout en sommet de l'horizon ;

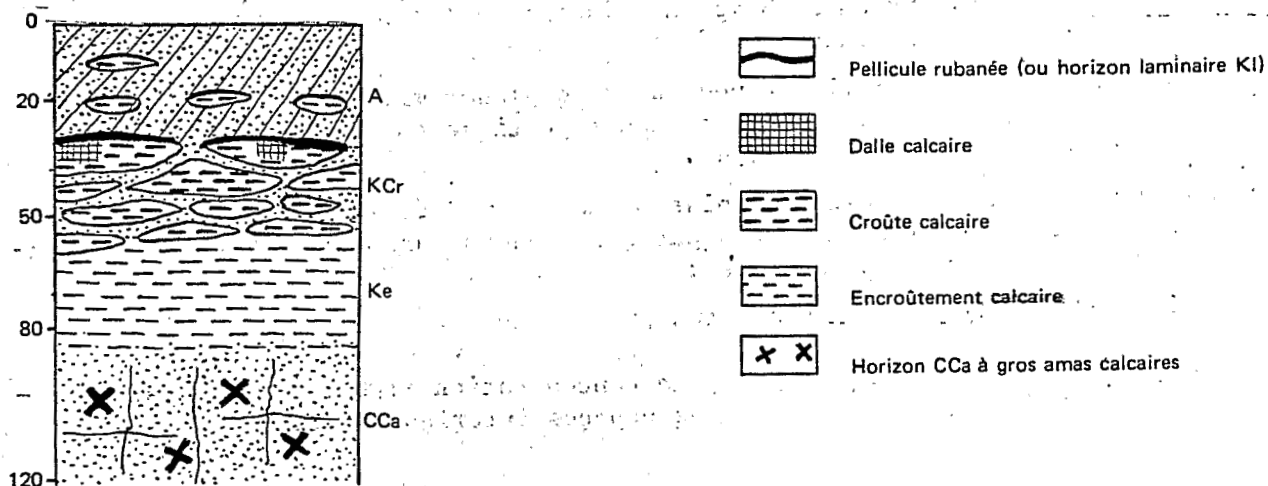


Figure 1 : Sol à croûte calcaire de type I.

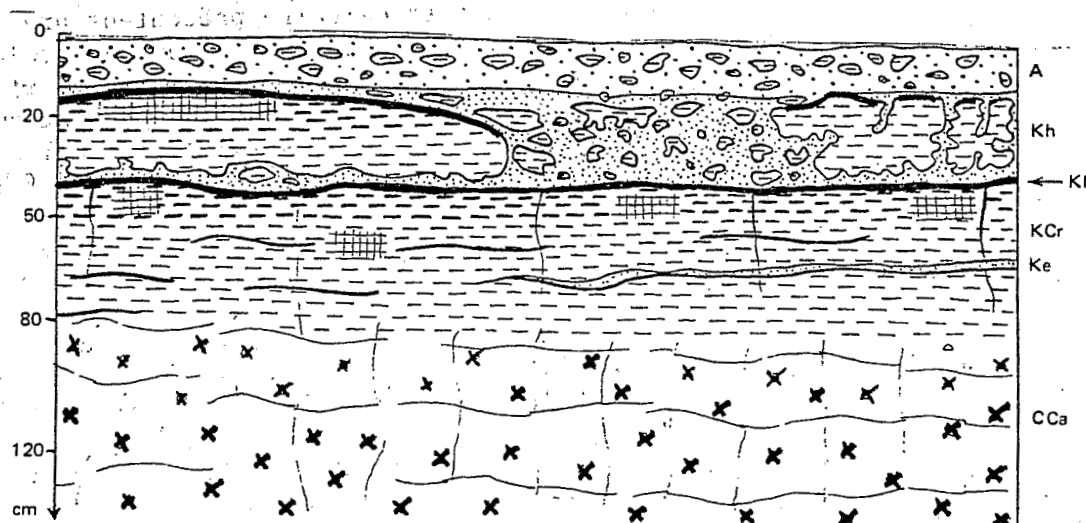


Figure 2 : Sol à croûte calcaire de type II.

- Horizon CCa : très variable avec souvent de gros amas et nodules calcaires.

#### 1.1.2. Sols de type II à horizon laminaire KI (Fig. 2).

Ils correspondent au stade IV de GILE (1965) :

- Horizon A : analogue au précédent ;
- Horizon Kh : d'épaisseur variable (0-30 cm) comprenant
  - des feuillettes et fragments de croûte,
  - une matrice pulvérulente.

Certains feuillettes sont encore bien individualisés avec une pellicule rubanée à la partie supérieure et des plages plus indurées (dalle). La partie inférieure apparaît plus ou moins altérée par de véritables golfes de corrosion où s'infiltrèrent les racines et la matrice pulvérulente ; à ce niveau, la croûte est alors friable, poreuse et très légère.

La matrice pulvérulente, beige à grisâtre, est colonisée par un chevelu racinaire très abondant ;

- Horizon laminaire K1 : il est peu épais, quelques millimètres à 2-3 centimètres, formant un véritable plancher pratiquement continu (pellicule rubanée) au-dessus de la croûte ;
- Horizon KCr : croûte calcaire, plus ou moins indurée (dalle et/ou croûte) et découpée en feuillets séparés par des espaces subhorizontaux avec des racines relativement nombreuses ;
- Horizons Ke et CCa : analogues aux précédents.

En conclusion, il convient de noter la concentration importante du système racinaire dans l'horizon Kh et dans les espaces interfeuillets.

### 1.2. Principales caractéristiques micromorphologiques des accumulations calcaires dans les différents horizons (observations de lames minces au microscope optique).

- Dans l'horizon A : les lithoreliques de croûte calcaire présentent une zone corticale externe plus colorée par des oxydes de fer et des particules argileuses ; ce "cortex d'altération" leur donne un aspect "sali" et terreux, très visible à l'oeil nu. Les débris de croûte correspondent aux accumulations calcaires les plus denses et les plus indurées : pellicules rubanées, dalle et certains fragments de croûte ou nodules. Leur taille va de quelques centimètres à quelques dixièmes de millimètres et l'on passe alors à des sphérolithes de calcite réparties çà et là dans l'horizon.
- Dans l'horizon Kh (et les espaces interfeuillets de KCr) :
  - . la matrice pulvérulente est constituée presque exclusivement de sphérolithes de calcite microcristallisée (photo 1) ;
  - . les débris de croûte présentent des faciès variés selon leur emplacement dans le feuillet initial :
    - la partie inférieure, peu dense et très poreuse, apparaît comme un cristalliplasma assez lâche de calcite micritique avec des "noyaux" plus individualisés qui semblent se "libérer" peu à peu pour rejoindre les sphérolithes constituant la matrice pulvérulente (photo 2) ;
    - la partie supérieure, généralement plus indurée, pellicule rubanée ou dalle, est au contraire un cristalliplasma micritique très dense taraudé par de nombreux vides (photo 3).  
On note, çà et là dans les vides, des cristaux de calcite en aiguilles de 20 à 100  $\mu$  de long (lublinite).
- Dans l'horizon laminaire K1 : également très dense, on observe une succession de strates diversement colorées de calcite micritique.
- Dans la croûte KCr : et sans entrer dans le détail d'un ensemble très complexe, on peut distinguer pour chaque feuillet trois types de zones :
  - . les plages les plus denses, souvent indurées en dalle, se présentent comme un cristalliplasma micritique traversé par un réseau de fentes, soit comblées par un dépôt de gros cristaux de calcite transparente (microsparite et sparite), soit appartenant à un réseau de vides dont les parois sont tapissées de calcite aciculaire ou micritique ;
  - . dans les plages les plus poreuses, la calcite micritique omniprésente forme un tissu assez lâche avec des zones plus denses ;
  - . les plages intermédiaires.

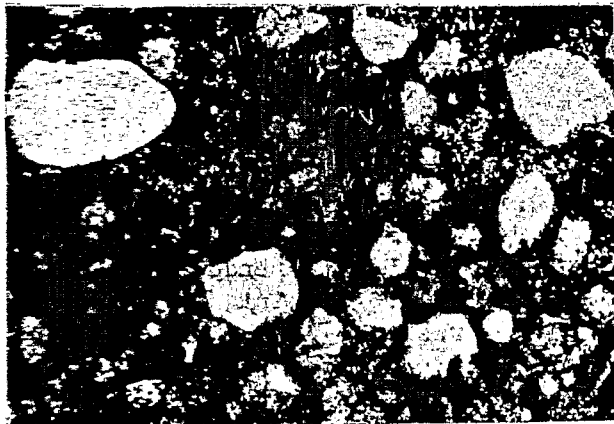


Photo 1 : Sphérolithes de calcite dans la matrice pulvérisante de l'horizon Kh (en blanc, grains de quartz).

50  $\mu$ 

Photo 2 : Croûte peu dense et poreuse (horizon Kh) - cristalliplasma micritique et sphérolithes

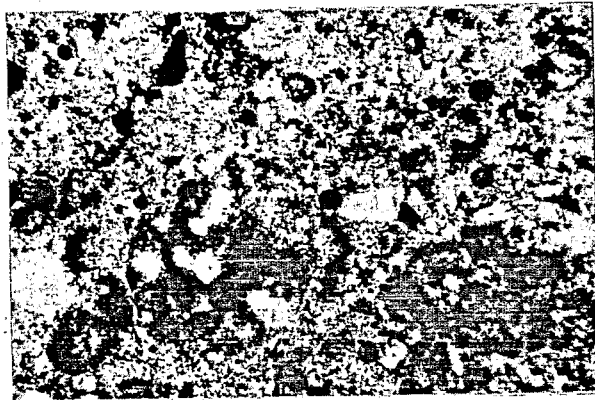
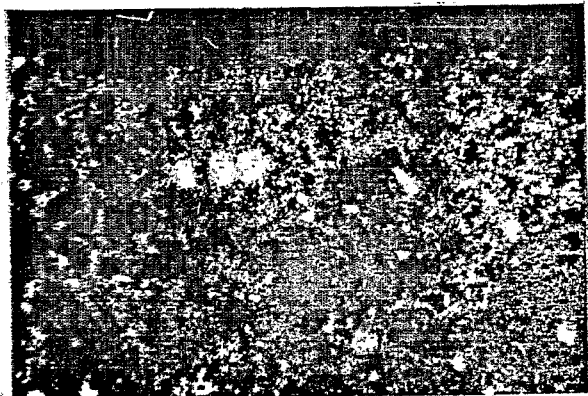
100  $\mu$ 100  $\mu$ 

Photo 3 : Pellicule rubanée (horizon Kh) - cristalliplasma très dense "taraudé" par de nombreux vides.

- Dans l'encroûtement Ke : très complexe, on observe la dominance d'un cristalliplasma de type micritique avec des géodes et des vides (sparite, lublinites, etc.).

- Dans l'horizon CCa : on reconnaît souvent les principaux processus d'épigenèse calcaire décrits récemment par MILLOT et al. (1977) :

- altération argileuse,
- calcitisation dans les lumières des microfissures (lublinites, micrite),
- épigénisation de la masse de l'horizon avec des "nuages" de micrite, etc.

En définitif, on constate une destruction des feuillets de croûte dans les horizons supérieurs A et Kh, mais aussi plus généralement dans les espaces interfeuillets.

## 2. OBSERVATIONS AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE (MET et MEB).

### 2.1. Aspects méthodologiques.

Au départ de cette étude nous n'avons pas eu la possibilité d'utiliser le microscope électronique à balayage (MEB). L'essentiel des observations a été effectué au microscope électronique de transmission (MET). Cependant, nous avons pris soin de faire un échantillonnage précis correspondant, non seulement aux différentes formes d'accumulations calcaires dans les horizons, mais aussi aux principaux traits pédologiques mis en évidence dans l'étude micro-morphologique.

Certes la liaison entre les observations, microscopie optique ordinaire-microscopie électronique de transmission, est difficile : grossissement très élevé du MET et surtout perturbation de l'échantillon occasionnée par le broyage et la mise en suspension (possibilité de recristallisation). C'est la raison pour laquelle il était nécessaire de compléter ces observations au microscope électronique à balayage sur un certain nombre d'échantillons, malheureusement encore trop restreint.

### 2.2. Les principaux faciès de calcite micritique.

On distingue deux faciès principaux de calcite <sup>(1)</sup> :

- en rhomboèdres
- et en bâtonnets.

#### 2.2.1. La calcite en rhomboèdres.

Plus ou moins nets et de taille variable, souvent de l'ordre du micron, ils caractérisent les dalles, les pellicules rubanées anciennes et plus généralement les "noyaux" indurés et compacts dans les horizons d'accumulation.

C'est le faciès le plus polymorphe et le plus répandu de calcite micritique.

#### 2.2.2. La calcite en bâtonnets.

Celle-ci correspond à des cristaux allongés de 0,1 à 2-3  $\mu$ , rarement davantage. Au MET (photo 4), ils apparaissent striés ou tachés de noir, souvent regroupés et enchevêtrés les uns dans les autres pour former des amas de plusieurs microns (aspect de "nid de pie").

Très abondants dans les sphérolithes de calcite (photo 5) et, plus généralement, dans la matrice pulvérulente de l'horizon Kh, ils sont aussi présents dans les parties poreuses et peu denses des feuillets de croûte et des encroûtements ainsi que dans les horizons laminaires grisâtres les plus récents ; les bâtonnets sont alors plus courts et irréguliers. Au MET, on ne les observe pas dans les dalles ni dans les horizons de profondeur (CCa).

## 3. QUELQUES HYPOTHESES SUR LES CONDITIONS DE DÉPÔT DE LA CALCITE.

Les récents travaux de R.DURAND (1978) permettent de préciser, au niveau des hypothèses, les conditions de dépôt de la calcite.

(1) Identification par microdiffraction d'électrons au MET (JEOL JEM 100 U).

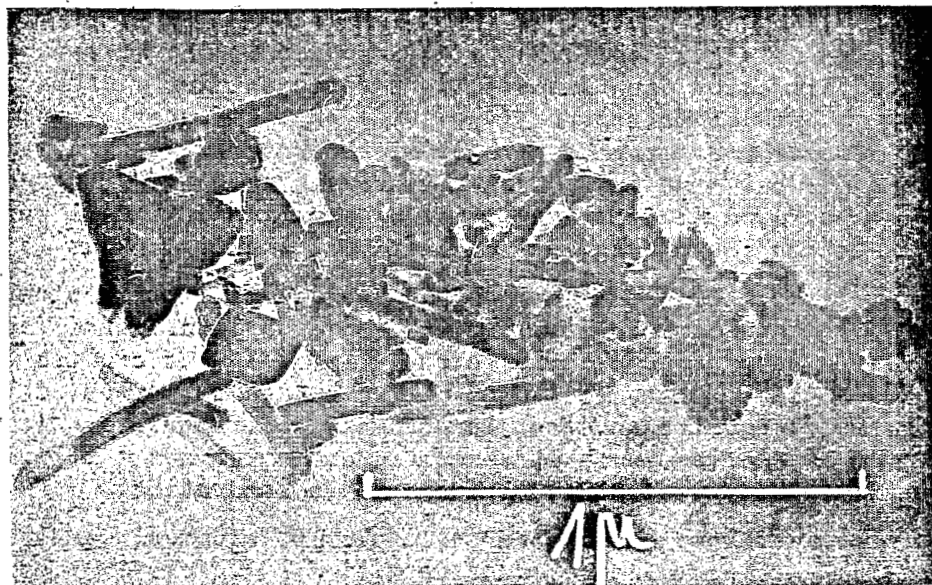


Photo 4 (MET) : Calcite en bâtonnets dans l'horizon Kh.

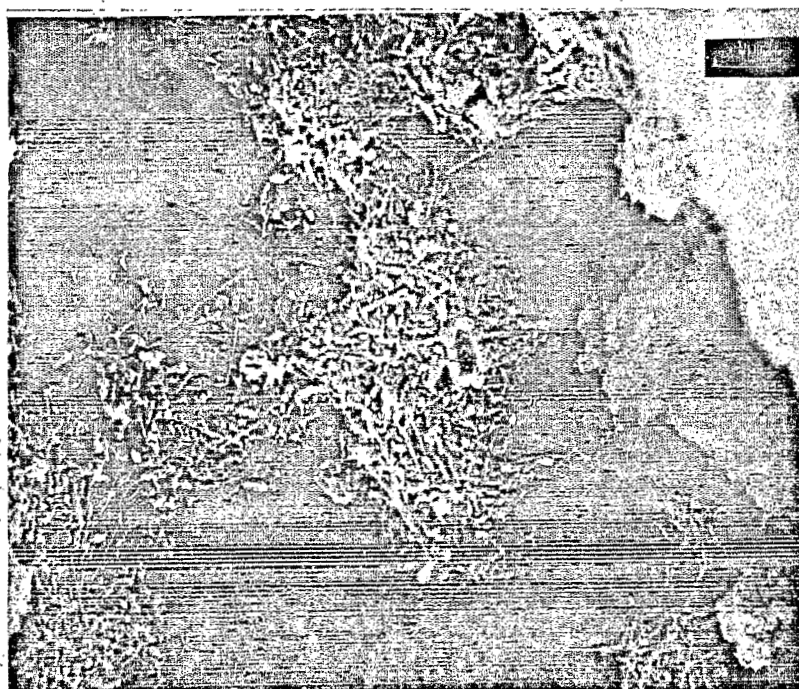


Photo 5 (MEB) : Calcite en bâtonnets dans une sphérolithe de la matrice pulvérolente de l'horizon Kh.

- La calcite en aiguilles (lublinite) supposerait une vitesse très rapide de cristallisation dans des solutions fortement sursaturées ; il en serait ainsi dans les macropores ( $\Phi > 10 \mu$ ) où l'évaporation est intense et où la diffusion est rapide vers la microporosité ( $\Phi < 0,2 \mu$ ). Il y aurait donc une certaine indépendance vis-à-vis de l'activité racinaire. En outre, la forme allongée des cristaux serait peut-être à rattacher à la présence d'ions étrangers, en particulier le magnésium (R.L.FOLK, 1974).
- La calcite micritique en rhomboèdres indiquerait, par contre, une vitesse très lente de cristallisation en dehors de l'influence racinaire directe et sans interférence d'ions étrangers (dalles et croûtes compactes, intérieur d'un agrégat, etc.). La diffusion des solutions se ferait lentement, les équilibres étant longs à s'établir à travers la microporosité. La concentration lente et régulière des solutions s'effectuerait, pour la calcite, dans une solution proche de la saturation.
- La calcite en bâtonnets s'observe le plus fréquemment dans la zone d'activité du système racinaire, dans un milieu à la fois très poreux, très calcaire et riche en matière organique. Trois facteurs seraient susceptibles d'intervenir pour expliquer la taille et la forme des cristaux :
  - . les alternances rapides (dissolution-dépôt) créent les conditions favorables pour une cristallisation en micrité d'autant qu'il existe de nombreux sites de croissance ;
  - . la présence d'ions étrangers peut favoriser la formation de cristaux allongés. Le magnésium est, en effet, assez abondant (destruction de l'attapulгите, salure souvent élevée) ;
  - . la présence de composés organiques adsorbés sur les sites de croissance est susceptible d'intervenir (R.DURAND, 1978), compte tenu de la teneur et de la nature de la matière organique dans ces horizons.

## CONCLUSIONS.

La microscopie électronique (MET et MEB) permet de préciser certains faciès de calcite micritique dans les sols à croûte calcaire. Parmi ces faciès, la calcite en bâtonnets se révèle comme étant, semble-t-il, originale.

Les observations de terrain et l'étude micromorphologique, brièvement esquissées ici, conduisent à établir une certaine relation entre la présence de ce type de cristallisation et l'activité du système racinaire de la végétation steppique. Aussi, la calcite en bâtonnets serait un faciès de cristallisation secondaire provenant de la destruction des feuillets de croûte dans les horizons Kh et les espaces interfeuillets.

Il s'agit vraisemblablement d'une forme de calcite très soluble, non seulement à cause de la taille des cristaux mais bien davantage de leur arrangement en "nid de pie" qui augmente la fréquence des "joints" intercristallites et règle les processus de dissolution (M.POCHON in KUBLER B., 1977).

Il en résulte des conséquences importantes concernant l'évolution actuelle des sols à croûte calcaire dans les steppes algériennes (M.POUGET, 1980). D'autre part, ce faciès de calcite représenterait, par excellence, une forme de "calcaire actif" susceptible d'intervenir dans les phénomènes de chlorose. Il serait intéressant de vérifier s'il existe dans d'autres types de sol.



## BIBLIOGRAPHIE.

- BAL L. (1975) - Carbonate in soil. A theoretical consideration on, and proposal for its fabric analysis. I. Crystic, calcic and fibrous plasmic fabric ; II. Crystal tubes, intercalary crystals, K-fabric. *Neth.J.Agric.Sci.*, 23.
- DURAND R. (1978) - La pédogénèse d'une rendzine encroûtée développée sur la craie à poches de cryoturbation en Champagne. Thèse Doctorat-Etat, Strasbourg.
- FOLK R.L. (1974) - The natural history of cristalline calcium carbonate. Effect of magnesium content and salinity. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44, 1, 40-53.
- FOURNET A. (1969) - Etude pédologique de la dorsale tunisienne (transversale Kebir-Bargou-Serj-Ousseltia). Service Pédologie, Tunis, 116 p.
- GILE L.H., PETERSON F.F. and GROSSMAN R.B. (1965) - The K horizon. A master soil horizon of carbonate accumulation. *Soil Science (Baltimore)*, 99, 2, 74-82.
- KUBLER B. (1977) - Quelques réflexions sur la cristallinité et la stabilité des carbonates dans le milieu naturel. *Bull.Soc.Fr.Minéral.Cristallogr.*, 100, 100-104.
- MILLOT G., NAHON D., PAQUET H., RUELLAN A. et TARDY Y. (1977) - L'épigénie calcaire des roches silicatées dans les encroûtements carbonatés en pays sub-aride, AntiAtlas, Maroc. *Sci.Géol.Bull.*, Strasbourg, 30, 3, 129-152.
- POUJET M. (1980) - Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises. *Travaux et Documents ORSTOM*, 116, 555 p.
- RUELLAN A. (1970) - Les sols à profil calcaire différencié des plaines de Basse-Moulouya (Maroc oriental). Contribution à la connaissance des sols méditerranéens. *Mémoire ORSTOM*, 54, 302 p.
- SEHGAL J.L. and STOOPS G. (1972) - Pedogenetic calcite accumulation in arid and semi-arid regions of the Indo-gangetic alluvial plain of Erstwhile Punjab (India). Their morphology and origin. *Geoderma*, 8, 59-72.

Louget

BORDEAUX

1985

cristallisation

déformation

dissolution

des

CARBONATES

INSTITUT DE GEODYNAMIQUE

1985

- 1 AVRIL 1985

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 17.241 → 17.242 ex 1

Cpte 1

SGE-AGSO-SFMC-SGF-AGSO-SFMC-SGF-AGSO-SFMC

Société Géologique de France - Association des Géologues du Sud-Ouest - Société Française de Minéralogie et de Cristallographie