

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE
DIVISION DES SOLS

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE-MER

MISSION EN TUNISIE

L'EPIGENIE CALCAIRE EN MILIEU MEDITERRANEEN SEMI-ARIDE

(Jebel Semmama - Tunisie Centrale)

DELHOUME Jean-Pierre
Pédologue ORSTOM

Communication pour la réunion "Cristallisation-Déformation -
Dissolution des Carbonates" organisée les 17-18 novembre 1980
à l'Institut de Géodynamique de l'Université de Bordeaux III.

JUIN 1980

Copyright ORSTOM Tunls.

24 DEC. 1980
O. R. S. T. O. M.
Collection de Référence
n° B-10. 171 Pedo

L'EPIGENIE CALCAIRE EN MILIEU MEDITERRANEEN SEMI-ARIDE
(Jebel Semmama - Tunisie Centrale)

J.P. DELHOUME*

- * Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Mission en Tunisie, Section de Pédologie, 18 Avenue Charles Nicolle - 1002 Tunis-Belvédère/Tunisie.

Résumé - L'épigenie calcaire dans les sols a fait l'objet de plusieurs travaux ces dernières années (R. BOULET, G. MILLOT, D. NAHON, H. PAQUET, A. RUELLAN, Y. TARDY ...). Ce processus est décrit essentiellement au Maroc, au Sénégal, en Mauritanie et en Haute-Volta. A l'aide d'un exemple, nous essayons de montrer l'existence de ce phénomène en milieu méditerranéen semi-aride de Tunisie Centrale.

Dans un profil de sol on observe actuellement un encroûtement calcaire se développant dans un matériau sableux originellement non calcaire, constituant la roche-mère. Ce calcaire secondaire allochtone est venu se substituer progressivement au matériau quartzieux autochtone, par épigenie : il y aurait eu dissolution et élimination de la silice, puis précipitation et dépôt de calcaire dans l'espace laissé libre par la silice.

Mots clés - Carbonate - Calcification - Epigenie

THE CALCAREOUS EPIGENESIS UNDER SUB-ARID MEDITERRANEAN CLIMATE
(Jebel Semmama - Central Tunisia)

Abstract - The calcareous epigenesis in the soils were studied during these last years by R. BOULET, G. MILLOT, D. NAHON, H. PAQUET, A. RUELLAN, Y. TARDY essentially in Morocco, Senegal, Mauritania and Upper-Volta. One example will try to show this natural phenomena under sub-arid mediterranean climat in Central Tunisia.

Studying one profile, we note it is actually affected by a calcareous incrustation in an originally uncalcareous environment considering as the mother-rock. This non autochtional secondary calcareous is progressively taking the place of the autochtional siliceous material.

Key-words - Carbonate - Calcitization - Epigenesis

Le carbonate de calcium est un des éléments majeurs des sols de Tunisie centrale, où il se présente essentiellement sous forme d'accumulations soient continues (croûtes, encroûtements, dalles), soient discontinues (pseudo-mycélium, amas, nodules). Ces accumulations résultent de redistributions du calcaire dans le paysage durant l'ère Quaternaire et sont régies par les conditions physico-chimiques des milieux d'accueil et de transfert du carbonate, et en particulier par quelques facteurs interdépendants : teneurs en gaz carbonique, températures, pH.

L'un des mécanismes se produisant lors des phases de calcification est l'épigénèse de minéraux, en général silicatés, par la calcite. Ce processus a déjà été décrit par plusieurs auteurs : BOULET (1974) en Haute-Volta, NAHON (1976) au Sénégal et en Mauritanie, MILLOT et al. (1977) au Maroc, RUELLAN et al. (1977). Nous nous proposons de le mettre en évidence en Tunisie centrale par l'étude d'un type d'accumulation calcaire caractéristique des sols de la région.

1 - LE MILIEU

Le paysage général des "Hautes Steppes" de Tunisie centrale est constitué d'un ensemble de massifs montagneux qui dominent un système de glacis et de plaines façonné durant l'ère Quaternaire.

1.1. - Climat - Bioclimat - Végétation

Le climat du centre tunisien est fortement marqué par la continentalité ; il se caractérise par des saisons contrastées : étés chauds et secs, hivers frais. Les pluies sont très irrégulières, mais présentent le plus souvent des maximums en automne et au printemps.

La région étudiée se situe dans l'étage bioclimatique méditerranéen semi-aride inférieur et reçoit une pluviométrie annuelle de 300 à 400 mm.

La végétation naturelle est très dégradée sous l'effet de diverses activités humaines (coupes, surpâturages, incendies ...). La forêt primitive de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) n'existe pratiquement plus dans les zones de piedmont, où elle est remplacée par l'Alfa (*Stipa tenacissima*), qui tend à disparaître par suite des défrichements en vue de la mise en culture, au profit de groupements végétaux variés à Armoise blanche (*Artemisia herba alba*) ou à Armoise champêtre (*Artemisia campestris*).

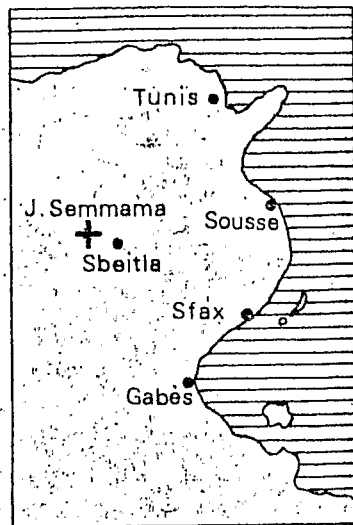


Fig.1: SITUATION

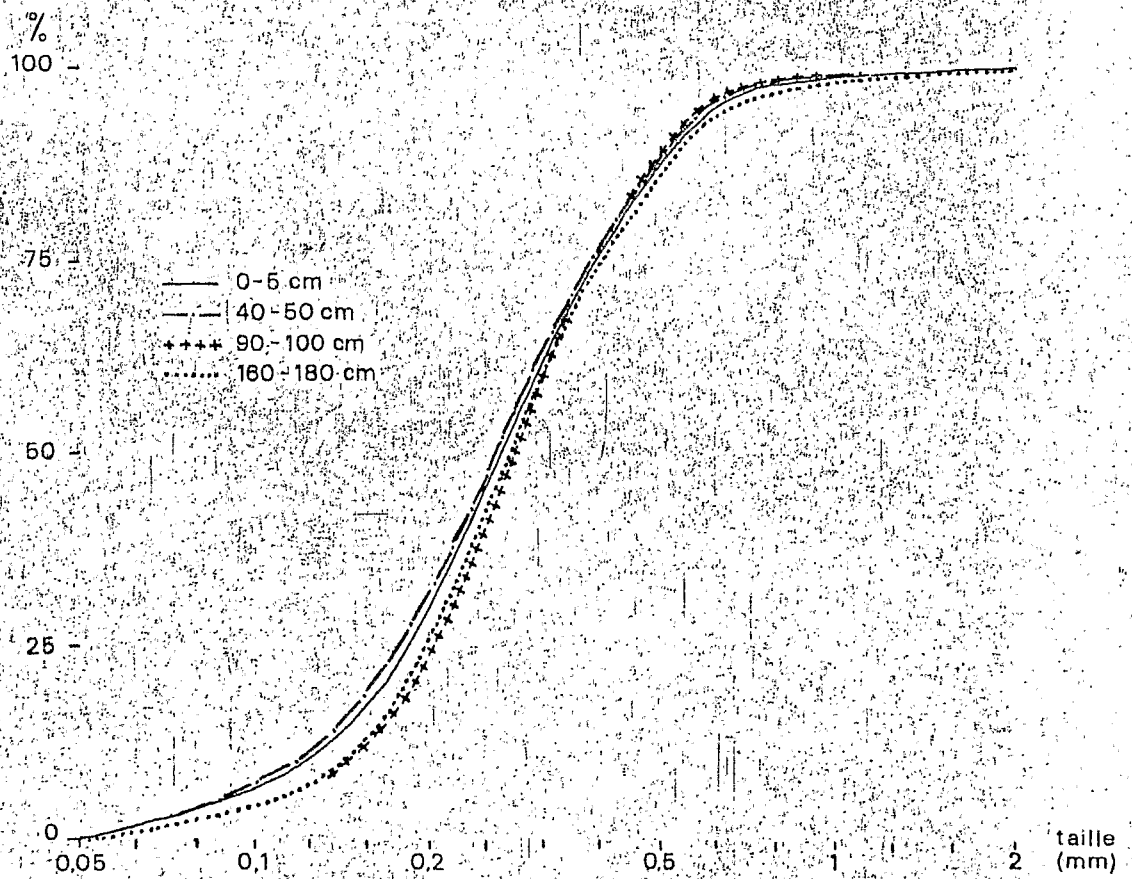


Fig2 - SPECTRES GRANULOMETRIQUES DE LA FRACTION SABLEUSE DECARBONATEE (échelle semi-logarithmique)

1.2. - Géologie - Géomorphologie - Pédologie

Les reliefs montagneux sont constitués essentiellement de calcaires et de marnes. Ils ont donné naissance à un ensemble de glacis étagés dont le façonnement s'est effectué durant les différentes périodes pluviales du Quaternaire, par épandage d'épaisses formations alluviales hétérogènes sur un matériau géologique d'origine continentale d'âge miocène. Ces formations ont subi des phases successives de calcitisation qui ont abouti aux diverses formes d'accumulations que l'on observe actuellement (BONVALLOT, DELHOUME - 1978).

Les sols sont essentiellement calcimorphes, développés en zone montagneuse et en zone de piedmont sur des matériaux variés (calcaires, marnes, grès, sables). Les plaines sont occupées par des sols bruns isohumiques et par des sols peu évolués d'apport alluvial, tandis que dans les dépressions sont localisés des sols salés à alcalis et des vertisols.

II - ETUDE D'UN TYPE D'ACCUMULATION DE CALCAIRE

II.1. - Situation

Le sol étudié est situé dans le piedmont sud-est du Jebel Semmama, près de Sbeitla, au lieu-dit Bou Faroua à proximité d'une station d'étude du ruissellement et de l'érosion (fig. 1).

II.2. - Environnement

Le profil se trouve à l'aval d'un versant d'érosion d'une centaine de mètres de longueur, qui raccorde le niveau quaternaire moyen au niveau quaternaire récent. La végétation est constituée surtout d'Armoise et d'Alfa avec un recouvrement global très faible de l'ordre de 10 %. La surface du sol est couverte à 30-40 % d'éléments grossiers de calcaire, de la taille des graviers et des cailloux. La pente est de 4 %.

II.3. - Organisation morphologique du sol

De 0 à 30/35 cm :

7,5 YR 8/2 sec, gris brunâtre clair en surface passant très graduellement à 10 YR 8/2 sec, gris brunâtre jaune clair vers la base de l'horizon - teneur très faible en matière organique, non directement décelable - forte effervescence, généralisée - éléments figurés sous forme d'un encroûtement calcaire massif - pas d'éléments grossiers - texture limono-sableuse - structure massive à débit anguleux - peu poreux, porosité intergranulaire - peu fragile - très

peu de racines, très fines et fines, dans la masse - très faible activité biologique - transition graduelle et régulière.

De 30/35 à 55/60 cm :

2,5 Y 8/2 sec, gris jaunâtre clair - matière organique non directement décelable - forte effervescence, généralisée - éléments figurés, de calcaire, diffus et en amas, avec une répartition généralisée à l'ensemble de l'horizon - pas d'éléments grossiers - texture limono-sableuse - structure massive à débit anguleux - poreux, porosité intergranulaire - peu fragile - rares racines, très fines et fines - pas de traces d'activité biologique - transition distincte et légèrement ondulée.

De 55/60 à 90/100 cm :

10 YR 7/4 sec, orange jaunâtre gris en surface passant progressivement à 7,5 YR 7/4 sec, orange gris vers la base de l'horizon - non organique - effervescence, généralisée - éléments figurés, de calcaire, diffus, en pseudo-mycélium et en amas, avec une répartition généralisée à l'ensemble de l'horizon - pas d'éléments grossiers - texture sablo-limoneuse à sableuse - structure massive à débit anguleux - poreux, porosité intergranulaire - très peu fragile - pas de racines - transition distincte et légèrement ondulée.

De 90/100 à 200 cm observé :

7,5 YR 7/6 sec, brun orange vif - non organique - très faible effervescence - pas d'éléments grossiers - texture sableuse - structure particulière - très poreux, porosité intergranulaire - très peu fragile.

11.4. - Données analytiques (tableau 1)

La teneur en carbonate de calcium augmente très graduellement de la base au sommet du profil : de 3 à 60 %. Parallèlement, on note une augmentation de la teneur en éléments fins de la terre fine non décarbonatée (fractions argile et limon fin) avec corrélativement une diminution de la teneur de la fraction sableuse.

Les spectres granulométriques de la fraction sableuse décarbonatée (obtenue après une attaque acide lente et ménagée) des différents échantillons sont très voisins (fig. 2). Ils indiquent que de bas en haut du profil, nous sommes en présence d'un même matériau sableux.

Profondeur (cm)	0-5	15-25	40-50	60-75	90-100	160-180
Argille (0-2 μ)	19,0	16,5	21,5	17,0	16,5	10,5
Limon fin (2-20 μ)	18,5	19,0	17,5	9,5	7,0	6,5
Limon grossier (20-50 μ)	7,5	11,0	4,0	4,5	4,5	5,0
Sable (50-2000 μ)	53,0	52,0	55,5	68,0	70,0	77,0
Argille + limon fin	37,5	35,5	39,0	26,5	23,0	17,0
Calcaire total	60	49	34	18	12	3
Calcaire actif	28	19	10	4	-	-

Tableau I - Données analytiques : granulométrie et calcaire
(en % de la terre fine)

Le sol décrit ci-dessus présente un profil calcaire très différencié correspondant à une accumulation de type encroûtement massif dans la partie supérieure passant progressivement à une accumulation diffuse à moyenne profondeur puis à la roche-mère non calcaire formée par un matériau sableux. Celui-ci constitue le milieu d'accueil dans lequel s'est développé la totalité du profil du sol.

11.5. - Données minéralogiques

L'étude des minéraux argileux par diffraction des R.X. de la fraction fine décarbonatée (0-2 microns), montre qu'il n'y a aucune variation dans la composition de la fraction argileuse de bas en haut du profil :

- montmorillonite très abondante : 70 à 80 %
- Illite : 10 à 20 %
- chlorite ou interstratifié illite-chlorite : 10 à 20 %.

11.6. - Observations micromorphologiques

Des lames minces ont été réalisées à différents niveaux du profil décrit ; leur étude vient compléter les données analytiques et observations microscopiques ci-dessus.

matériau sableux de profondeur (180 cm) :

Le matériau sableux est constitué d'éléments comprenant le squelette, le plasma et les vides, l'ensemble formant le fond matriciel.

Les minéraux primaires constituant le squelette sont uniquement des grains de quartz de formes arrondies. Le plasma correspond à une phase essentiellement argileuse (plasma argilasépique) formée de plages brunâtres sans orientation préférentielle (plasma asépique). Il occupe l'espace entre les grains de quartz de manière lâche et incomplète, ce qui correspond à un assemblage de type aggloméroplasmique. Les vides sont relativement nombreux, avec des formes rondes et du type fissures.

Cette organisation microscopique schématique du matériau sableux est identique jusqu'au sommet du profil, mais des traits pédologiques vont apparaître progressivement et vont prendre un grand développement.

niveau de moyenne profondeur (95/100 cm) :

A côté du fond matriciel semblable à celui décrit ci-dessus, apparaît un élément secondaire (trait pédologique), la calcite, qui se présente d'une part sous forme de microcristaux sans orientation préférentielle (cristalliplasma calcitasépique) dispersés dans le plasma argilasépique, d'autre part sous forme de microcristaux répartis autour de quelques vides.

D'une manière générale, les microcristaux du cristalliplasma et des vides se distinguent nettement par leur couleur plus claire et plus vive.

base de l'encroûtement calcaire (30/35 cm) :

Le cristalliplasma calcitasépique prend un grand développement ainsi que les microcristaux de calcite qui tapissent les parois des vides. Les grains de quartz sont entourés d'un liseré clair et continu de microcristaux de calcite et c'est à ce niveau que l'on observe le plus grand nombre de quartz présentant cette auréole de calcite. Quelques-uns de ces quartz montrent des golfes et saillants de dissolution et sont souvent ponctués dans leur masse de microcristaux de calcite. Des concentrations de cristalliplasma rappellent par leur limite la forme d'anciens grains de quartz.

sommet de l'encroûtement calcaire (0/5 cm) :

La description à ce niveau est très semblable à celle ci-dessus, avec toutefois un cristalliplasma calcitasépique plus développé.

Aux quatre niveaux d'observations ci-dessus, nous avons déterminé par comptage de points la proportion relative des différents éléments constitutifs : squelette (quartz uniquement), vides, plasma et traits pédologiques (tableau 2). Nous n'avons pas différencié ces deux derniers éléments, mais la teneur en calcaire total et celle de l'argile (rappelées dans le tableau 2) permettent de juger de l'importance relative des traits pédologiques (calcite) et du plasma argilasépique.

Niveaux	Squelette (quartz)	Plasma + traits pédologiques	Vides
0 - 5 cm	21,6	70,1	8,3
30-35 cm	29,8	54,5	15,7
95-100 cm	48,6	34,2	17,2
180 cm	63,2	17,2	19,6

Tableau 2 - Eléments constitutifs du sol
déterminés par comptage de points
(en % de la surface des lames minces)

Calcaire total	Argille granulo.
60	19,0
42	16,5
12	16,5
3	10,5

Rappel
(en % de la terre fine)

III - INTERPRETATIONS

A partir des résultats et observations ci-dessus, nous pouvons tenter d'analyser et d'interpréter les mécanismes et processus ayant abouti au profil de sol que l'on observe actuellement.

Sur les deux mètres d'épaisseur du sol décrit, nous avons un même matériau sableux (fig. 2) qui constitue la roche-mère. Ce matériau primaire autochtone, qui est originellement non calcaire, a été envahi progressivement par un minéral secondaire allochtone, la calcite, ayant abouti à une accumulation à profil calcaire très différencié du haut vers le bas du profil.

La calcite provient du démantèlement et de l'érosion chimique d'une croûte calcaire plus ancienne (quaternaire moyen) située à l'amont du profil étudié. Par une dynamique transversale, les solutions chargées en bicarbonate de calcium se déplacent le long du versant et viennent enrichir la zone aval en calcite par précipitation, en fonction des conditions physico-chimiques des milieux d'accueil.

La quantification de la proportion des éléments constitutifs à différents niveaux du profil (tableau 2) permet de suivre l'envahissement du matériau sableux originel par la calcite. En profondeur, le matériau contient 63,2 % de quartz et 19,6 % de vides, les 17,2 % restants formant une phase argilleuse constituée surtout de montmorillonite. Celle-ci résulte probablement d'une altération géochimique ancienne du matériau, car à plus grande profondeur le sable est composé presque exclusivement de grains de quartz plus ou moins consolidés entre eux par un ciment quartzeux.

La proportion de quartz et de vides diminue jusqu'à la surface ; ils passent respectivement de 63,2 % à 21,6 % et de 19,6 % à 8,3 %. Corrélativement la proportion de plasma et des traits pédologiques (calcite) augmentent de façon notable : de 17,2 % à 70,1 %, mais c'est surtout la calcite qui augmente passant de 3 % à 60 % alors que l'argille granulométrique varie dans une proportion moindre : de 10,5 % à 19 %.

La calcite va se "loger" d'abord dans les espaces libres ou vides. Cet espace poral est cependant limité et son volume ne suffit pas à lui seul pour contenir la totalité de la calcite.

Il faut donc faire intervenir un autre processus pour "loger" la calcite. Or toutes les observations ci-dessus, aussi bien à l'échelle macroscopique que microscopique, montrent qu'il y a respect des formes, des structures et des assemblages sur toute l'épaisseur du profil observé. L'envahissement du matériau sableux par la calcite est donc isovolume et il faut alors admettre que le mécanisme mis en jeu lors de la calcitisation correspond à une épigénie, c'est-à-dire au remplacement d'un minéral par un autre dans un volume conservé.

L'observations microscopique montre que cette altération épigénique affecte le quartz et le plasma argileux, et ce sont surtout les grains quartzeux qui sont les plus concernés par cette altération. Ceux-ci subissent au préalable une dissolution chimique. La solubilité de la silice devient notable à partir de pH élevés. De tels pH, compris entre 9 et 10, ont déjà été mesurés en laboratoire à partir de mélanges de calcite pure et d'eau avec des conditions physico-chimiques variées (CALLOT-1978).

Nous avons effectué de telles mesures, mais "in situ", dans un sol brun isohumique contenant 10 % de calcaire total, situé dans la même région. Celles-ci ont donné des valeurs voisines de 9 au cours de phases d'humectation du sol. Il est probable que dans des matériaux plus carbonatés, les pH atteignent des valeurs encore plus élevées.

La dissolution de la silice est donc un processus tout à fait possible dans notre milieu d'étude et l'épigénie du quartz par la calcite correspond à un mécanisme d'altération géochimique qui aboutit à une modification importante des milieux d'accueil.

IV - CONCLUSION -

Bien que ne provenant que de l'étude d'un seul profil, les observations ci-dessus peuvent être généralisées à l'ensemble des sols calcimorphes de Tunisie centrale. Malgré sa faible solubilité, le calcaire a une dynamique très active dans le paysage et en particulier l'altération par épigénie est un processus fondamental de la formation et de l'évolution des sols à accumulations carbonatées. Dans ce mécanisme, le problème restant à résoudre est celui du sort des produits de l'hydrolyse : la dynamique étant surtout latérale, il y a tout lieu de penser que les éléments dissous sont redistribués vers les zones avales.

BIBLIOGRAPHIE

- BONVALLOT J., DELHOUME J.P. (1978) - Etude de différentes accumulations carbonatées d'une toposéquence du centre tunisien (Djebel Semmama). Actes du 103^è Congrès nat. des soc. sav., Nancy, 1978, fasc. IV, pp. 281-292.
- BOULET R. (1974) - Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta : équilibres dynamiques et bioclimats. Thèse Sci., Strasbourg, multigr., 330 p.
- CALLOT G., DUPUIS M., CHAMAYOU H. (1978) - Variations du pH de la solution des matériaux calcaires, en relation avec la cinétique de dissolution du carbonate de calcium et du gaz carbonique. Rôle de la dilution et de la perméabilité du sol. Ann. Agron., 29, (1), pp. 37-57.
- CARTE PHYTO-ÉCOLOGIQUE DE LA TUNISIE SEPTENTRIONALE (1967) - Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie, vol. 40, fasc. 2, 426 p.
- MILLOT G., NAHON D., PAQUET H., RUELLAN A., TARDY Y. (1977) - L'épigénie calcaire des roches silicatées dans les encroûtements carbonatés en pays subaride. Antiatlas, Maroc - Sci. Géol., Bull., 30, 3, pp. 129-152.
- NAHON D. (1976) - Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal occidental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs : géochimie, structures, relais et coexistence. Thèse Sci., Marseille et Sci. Géol., Mém., 44, 232 p.
- RUELLAN A., NAHON D., PAQUET H., MILLOT G. (1977) - Géochimie de la surface et formes du relief. VI - Rôle des encroûtements et épigénies calcaires dans le façonnement du modelé en pays aride. Sci. Géol., Bull., 30, 4, pp. 283-288.