

Accumulations carbonatées dans une toposéquence de sols de l'ouest de la France : organisation et distribution dans le paysage

P. BUTEL* et J. DUCLOUX*

SOMMAIRE

Les auteurs étudient une toposéquence de sols à accumulations carbonatées dans la Plaine Poitevine calcaire. Ils démontrent qu'il existe une relation entre la différenciation morphologique des horizons carbonatés et la minéralogie de leurs carbonates.

Les accumulations carbonatées sont particulièrement développées dans les sols et les altérations des zones arides et subarides, suivant des séquences verticales et latérales bien définies (GILE, 1961 ; GILE et al., 1966 ; RUELLAN, 1970). Cependant, leur généralisation dans ces paysages ne doit pas faire oublier qu'il en existe dans les régions calcaires des climats tempérés humides comme l'Ouest de la France, où elles sont assez bien différenciées. Elles se développent alors fréquemment dans des formations superficielles graveleuses et calcaires qui, issues de la gélifraction d'assises jurassiques, constituent par leur perméabilité d'excellents pièges pour les carbonates supergènes (BLÜMEL, 1982).

Ce travail se présente comme une contribution à leur étude.

LE SITE

Les observations ont été effectuées à Vouillé, petite localité à 15 kilomètres à l'Ouest de Poitiers (Vienne). Le paysage est constitué par un plateau calcaire compris entre 120 et 145 mètres d'altitude, coupé de nombreux vallons secs dont les bas de pente sont souvent encombrés par des dépôts graveleux. L'étude a porté sur l'un de ces vallons.

Situé entre 125 et 118 mètres, orienté Nord-Sud, ce vallon présente une dissymétrie typiquement périglaciaire. Le versant Est est abrupt (20 à 30°) et court (40 m environ). Le substratum calcaire bajocien affleure sous 15 cm de terre de labour. Le talweg, à fond faiblement concave, est tapissé de colluvions brun-rougeâtre, argileuses en profondeur. Le versant Ouest accuse une pente douce. Dans les deux tiers supérieurs, de pente 3 à 5°, le calcaire est peu profond (15-20 cm), cryoclasté et faiblement cryoturbé. Dans le tiers inférieur, de pente 9 à 10°, la roche a été profondément affectée par la cryoclastie périglaciaire. Un dépôt de pente, type « grèze litée » (Guillien, 1953) s'est étalé par ruissellement jusqu'au bas du versant. Les éléments grossiers sont localisés à la « tête de grèze », alors que les plus fins ont été triés. Il en résulte un sédiment présentant une succession de lits assez bien calibrés à l'aval, tantôt grossiers (lits maigres), tantôt plus argilo-limoneux (lits gras). C'est dans ces matériaux que l'on peut observer les principales accumulations carbonatées.

(*) Université de Poitiers - Laboratoire de Pédagogie - E.R.A. 220 du C.N.R.S., 40, avenue du Recteur Pineau - 86022 POITIERES CEDEX.

LES SOLS DU VERSANT

Le long de ce versant, et selon la roche-mère, deux ensembles de sols s'individualisent :

DESCRIPTION

— Sur le plateau et une bonne partie de la pente, des sols épais (15 à 20 cm), à un seul horizon (A/R), de couleur brun rouge (7,5 YR), reposent sur le substratum calcaire bajocien peu cryoclasté. Faiblement carbonatés (environ 10 % de CaCO_3 dans la terre fine), pratiquement sans calcaire actif, ils sont à classer dans les rendzines pauvres en calcaire fin.

Dans la région, ils sont appelés « terres de groie » en raison de leur charge en cailloux et blocs calcaires.

Le profil P_1 de la figure 1 en est un représentant.

— Dans toute la partie basse du versant, les sols se développent dans le gélifract pléistocène (figure 1). Ce sont des rendzines, parfois des sols bruns calcaires, de 30 cm d'épaisseur environ, de teinte brune (10 YR). Ils reposent sur la « tête de grèze » en amont (profil P_2 , figure 1), sur la grèze litée en aval (profil P_3 , figure 1). Les teneurs en calcaire total des horizons A augmentent régulièrement vers le talweg : 20 % de CaCO_3 dans la terre fine du profil P_2 , 27 % dans le profil P_3 .

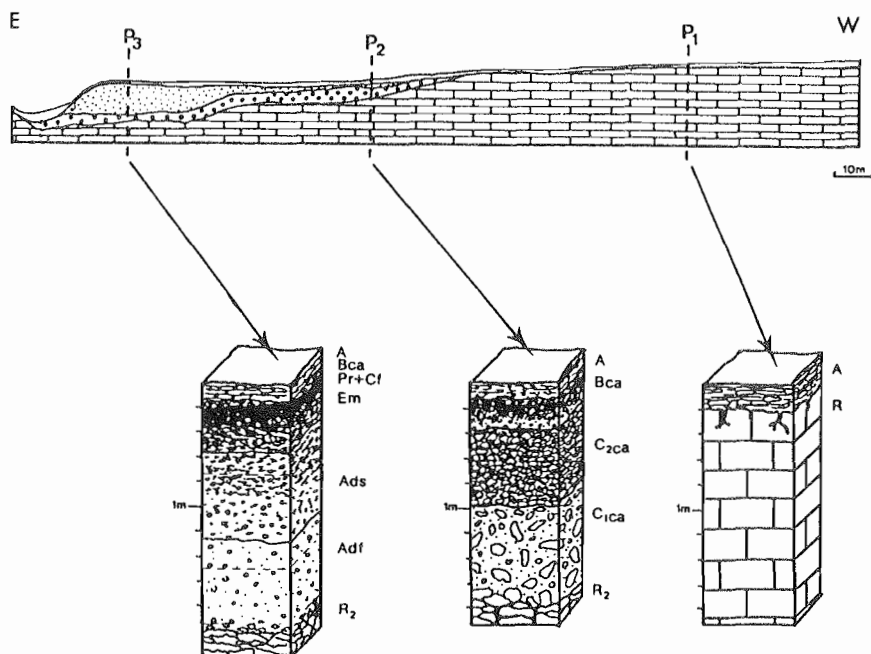


FIGURE 1. Profils étudiés sur le versant Ouest.

P_1 : Rendzine sur calcaire.

P_2 : Rendzine à accumulation calcaire peu différenciée sur la « tête » graveleuse du dépôt de pente.

P_3 : Rendzine à accumulation calcaire très différenciée sur grèze.

FIGURE 1. Studied profiles of the West slope.

P_1 : Rendzine on limestone.

P_2 : Rendzine with few differentiated carbonate accumulation, developed on the top of the gravelous slope deposit.

P_3 : Rendzine with differentiated carbonate accumulation developed on the « grèze ».

Une gravière, en cours d'exploitation, révèle, sur 3 à 5 mètres d'épaisseur, l'existence d'accumulations carbonatées sous les horizons A (et sous les horizons B quand ils existent).

L'un de nous (BUTEL, 1982) a pu ainsi décrire les différents horizons d'accumulation des carbonates en utilisant la nomenclature proposée par RUELLAN (1970). Nous en rappelons ici l'essentiel.

LES HORIZONS D'ACCUMULATION DES CARBONATES

De l'amont vers l'aval, ces horizons se distribuent de la manière suivante :

En amont, sous les horizons A reposant sur la « tête de grèze », ils sont peu différenciés. On observe ainsi, de bas en haut dans les profils (profil P₂) :

- une accumulation diffuse;
- une accumulation discontinue.

En aval, sur la grèze litée, ils deviennent très différenciés avec, de bas en haut (profil P₃) :

- une accumulation diffuse;
- une accumulation discontinue;
- une accumulation continue constituée :
 - d'un encroûtement massif;
 - d'une croûte feuilletée;
 - d'une pellicule rubanée.

– L'accumulation diffuse (Adf) : ce type d'accumulation discret est peu visible à l'œil nu. Il se concrétise cependant à la base des horizons A, mais surtout dans le système poral intergranulaire de la grèze, sous la forme de taches blanches cotonneuses. A l'aval, elle est identifiable à la base de la coupe.

– L'accumulation discontinue (Ads) : ce sont des amas friables, millimétriques à centimétriques, ayant l'aspect de mycélium. Ils occupent surtout la macroporosité des bancs graveleux. Ils sont bien représentés dans la partie amont où ils succèdent latéralement à l'accumulation diffuse. En descendant le long de la coupe, l'accumulation discontinue « s'enfoncé » dans les profils, mais reste toujours au-dessus de l'accumulation diffuse.

La transition entre les deux types se fait de façon progressive, verticalement et latéralement.

– Les accumulations continues : elles sont l'expression maximale de l'accumulation carbonatée. Surtout présente près du talweg, elles comportent, de bas en haut :

- un encroûtement massif (Em), caractérisé par un blanchiment quasi général de l'horizon graveleux, mais sans induration. Les carbonates secondaires occupent la porosité intergranulaire. Dans la partie médiane de la coupe, on peut noter le passage latéral progressif de l'accumulation discontinue à ce type; vers l'aval, il la surmonte.

- une croûte feuilletée (Cf) : les graviers calcaires sont cimentés par les carbonates secondaires. A l'impact du marteau, elle présente des plans de rupture plus ou moins horizontaux qui la débitent en amandes et feuilletés de 2 à 5 cm d'épaisseur. Elle apparaît au-dessus de l'encroûtement massif, de plus en plus nettement vers l'aval.

- une pellicule rubanée (Pr), constituée par un empilement de lamines horizontales claires et sombres. Totalement absente à l'amont, elle ne se développe à l'aval que lorsque la croûte feuilletée existe. Elle s'épaissit alors et peut atteindre 1 cm. Elle atteint son développement maximum lorsqu'elle est surmontée du seul horizon A. Elle est plus mince quand un horizon Bca s'intercale.

- un horizon Bca : c'est un horizon discontinu à l'échelle de la coupe et il se développe sur la pellicule rubanée ou directement sur la croûte feuilletée quand la première est absente. La matrice, à l'origine organo-minérale, est fortement carbonatée mais sans induration. Les parois des pores et des agrégats polyédriques sont carbonatées. Cet horizon présente les mêmes caractéristiques que l'encroûtement calcaire situé sous la croûte feuilletée. Cependant, la structure polyédrique d'origine pédologique le différencie; aussi l'appelons-nous « encroûtement massif à caractères pédologiques dominants ».

Au total, nous constatons que ces divers horizons carbonatés s'organisent, du haut vers le bas du versant, en une toposéquence d'accumulation très analogue à celles décrites notamment par GILE et al. (1966) et RUELLAN (1970).

De l'amont vers l'aval, la différenciation est de plus en plus poussée et chaque nouvel horizon se superpose au précédent. Il s'établit donc un classement (figure 2) :

- l'accumulation diffuse en amont et dans le bas des profils aval;
- puis, l'accumulation discontinue;
- enfin, les accumulations continues en aval dans le haut des profils.

Dans ces matériaux lités, les solutions carbonatées circulent verticalement « *per descensum* », mais empruntent également des voies latérales. Les carbonates secondaires venant de l'amont se déposent à l'aval où ils s'accumulent et se différencient de bas en haut.

Cette toposéquence peut donc être considérée comme une véritable séquence évolutive, verticale et latérale.

Les horizons d'accumulation des carbonates de calcium présentent une interdépendance chronologique tant à l'échelle du profil que de la séquence. Leur genèse ne résulte pas seulement des conditions particulières du milieu d'accueil (granulométrie ou porosité, comme semblent le suggérer WIEDER et YAALON, 1974) mais doit aussi être recherchée dans la notion d'interdépendance des horizons.

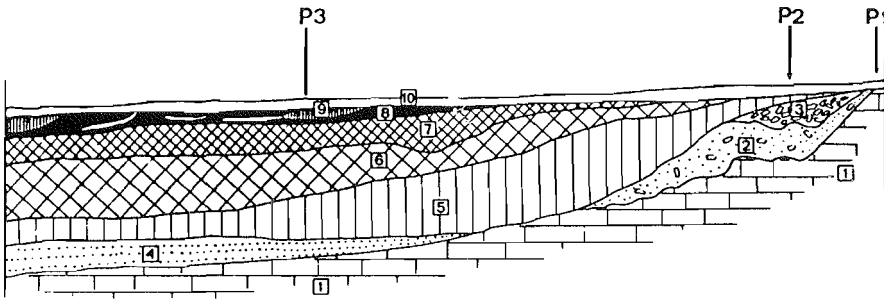


FIGURE 2. Toposéquence carbonatée synthétique de Vouillé (Vienne). P₁ à P₃ : situation des profils décrits.

1. Roche calcaire.
2. Roche calcaire gelifractée en dalles et plaquettes sans accumulation.
3. Accumulation discontinue sous forme de calcin.
4. Grèze litée sans accumulation.
5. Accumulation diffuse (Adf).
6. Accumulation discontinue (Ads).
7. Encroûtement massif (Em).
8. Croûte feuilletée + pellicule rubanée (Cf + Pr).
9. Encroûtement massif.
10. Horizon A.

Synthetic toposequence of Vouillé (Vienne). P₁ to P₃ : Studied profiles.

1. Limestone.
2. Gelifract.
3. « Accumulation discontinue » of the « calcin ».
4. Slope deposit : « grèze ».
5. « Accumulation diffuse » (Adf).
6. « Accumulation discontinue » (Ads).
7. « Encroûtement massif » (Em).
8. « Croûte feuilletée » + « pellicule rubanée » (Cf + Pr).
9. « Encroûtement massif ».
10. A horizon.

PETROLOGIE DES ACCUMULATIONS CARBONATEES

Les observations ont été effectuées sur plaques minces au microscope optique après inclusion dans la résine et sur échantillons non perturbés au microscope électronique à balayage après métallisation à l'or. La microdiffraction électronique a porté sur des préparations de cristaux dispersés dans l'alcool et déposés sur grille.

— LES ACCUMULATIONS DIFFUSES ET DISCONTINUES (Adf et Ads)

Dans les deux types d'horizons, l'accumulation calcaire, peu visible à l'œil nu, est représentée par des pseudomycéliums d'aiguilles qui occupent de manière discontinue les pores et les cavités en petits calcitanes. Toutes ces aiguilles ont une extinction oblique comprise entre 40 et 60° en lumière polarisée. Au microscope électronique à balayage, ces aiguilles se présentent sous plusieurs faciès, avec une longueur de 50 à 100 μm : elles peuvent être cylindriques, parfois cannelées, à section rectangulaire (figure 3.2), ou en X et H (figure 3.5). Elles ont souvent des bords denticulés provenant de croissance cristalline (figure 3.7) ou de dissolution (figure 3.6) (Verges, 1982; Verges et al., 1982). Ces aiguilles sont peu stables à l'impact du faisceau électronique qui induit de nombreuses boucles de dislocation. Cette instabilité doit traduire une mauvaise cristallinité résultant d'une croissance très rapide. Or, c'est bien par cristallisation rapide à partir de solutions sursaturées que l'on explique leur formation (Walton, 1967; Durand, 1978; Verges et al., 1982). En outre, les spectres de microdiffraction électronique montrent que toutes ces aiguilles sont calcitiques et qu'elles peuvent être soit mono, soit polycristallines (figure 3.4 : aiguille polycristalline composée de 3 baguettes monocristallines accolées). Enfin, entre ces aiguilles, des voiles opaques amorphes peuvent apparaître (figures 5.5 et 5.6). Les microanalyses montrent la présence de silicium avec de fortes teneurs en calcium.

Dans le haut de l'accumulation discontinue, de très fines aiguilles, du type « calcites en bâtonnets » de POUGET et RAMBAUD (1980), recouvrent les grandes aiguilles (Figure 5.1).

L'ENCROÛTEMENT MASSIF (Em).

Dans cet horizon, l'accumulation carbonatée se généralise. On y distingue :

- des calcitanes d'aiguilles de calcite, dont la forme s'estompe parfois sous les bâtonnets calcitiques; ces derniers lorsqu'ils sont abondants, constituent un enduit qui tapisse les parois de la porosité et enrobent les autres constituants;
- des néocalcitanes constituant l'imprégnation de la matrice; ils sont formés par l'enchevêtrement de bâtonnets et cristaux micritiques isodiamétriques de calcite. Cette carbonisation occasionne une épigénie des cristaux de calcite du squelette et des quartz;
- des cristallaria de grandes aiguilles et de bâtonnets;
- des amas organisés de cellules végétales calcitisées (DUCLOUX et BUTEL, 1983);
- des cristaux fibroradiés d'aragonite, rares, développés sur un support d'aiguilles.

LA CROÛTE FEUILLETÉE (Cf).

L'accumulation carbonatée est constituée de micrite calcitique et d'aiguilles dans les vides portant quelques cristaux d'aragonite. La micrite correspond, en fait, à des calcites en bâtonnets enchevêtrés sous lesquelles on peut reconnaître les grandes aiguilles déjà décrites (Figure 5.2). Des phases amorphes sont ici encore identifiables.

LA PELLICULE RUBANÉE (Pr).

Seul le microscope électronique à balayage en permet l'approche. En effet, elle est constituée par l'enchevêtrement de « calcites en bâtonnets » (Figures 5.3 et 5.4), auxquelles sont associées de nombreuses phases amorphes (BUTEL, 1982), donnant des images analogues à celles obtenues par RICH et al. (1982). Dans la porosité, des aiguilles de calcite longues portent quelques cristaux radiés d'aragonite. On observe enfin de nombreux filaments mycéliens calcitisés (KLAPPA, 1979).

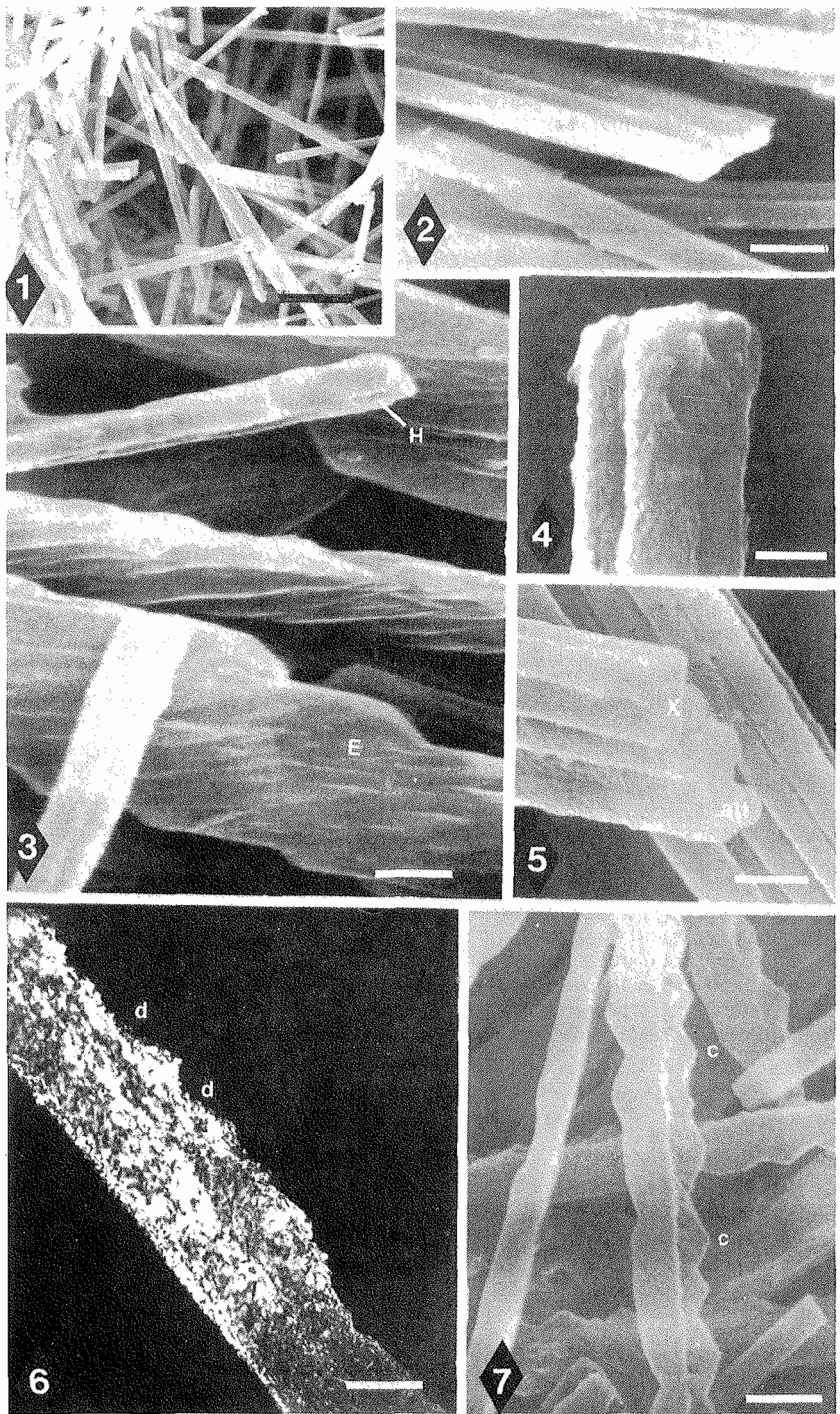


Figure 3.

Figure 3.

1. Calcite en aiguilles des pseudomycéliums.
Aiguilles à faciès cannelé. Barre : 20 μm .
2. Calcite en aiguilles des pseudomycéliums - accumulation diffuse.
Aiguilles en latte à section rectangulaire. Barre : 3 μm .
3. Calcite en aiguilles des pseudomycéliums - accumulation discontinue.
Aiguilles faciès en échelon (E) et section en H (H). Barre : 5 μm .
4. Calcite en aiguilles des pseudomycéliums - accumulation discontinue.
Aiguilles composées polycristallines. Barre : 1 μm .
5. Calcite en aiguilles de l'accumulation discontinue.
Aiguilles à section en X (X) et en haltère (alt). Barre : 3 μm .
6. Figure de microdiffraction électronique d'une aiguille monocristalline.
Bordure en cours de dissolution (de). Barre : 0,5 μm .
7. Calcite en aiguilles des pseudomycéliums.
Aiguilles à bords dentelés interprétés comme figures de croissance cristalline (c). Barre. 1 μm .

1 to 2 : Calcite whiskers of pseudomycelium - « accumulation diffuse ».

Respectively scales 20 μm and 3 μm .

3 to 5 : Calcite whiskers of the « accumulation discontinue ».

Scales : 5 μm , 1 μm , 3 μm .

6. Electronic microdiffraction of a monocristalline whisker.

Edge with dissolution feature (d). Scale; 0,5 μm .

7. Calcite whisker of pseudomycelium, with crystal growth features (c). Scale : 1 μm .

FIGURE 5.

1. Accumulation discontinue. Calcite en aiguilles polycristallines et bâtonnets. Barre : 1,5 μm .
2. Ciment calcitique de la croûte feuilletée. Calcite en aiguilles recouvertes de bâtonnets. Barre : 1,5 μm .
3. Pellicule rubanée. Ciment micritique en bâtonnets et voiles silicieux amorphes (V). P : microporosité issue de l'activité biologique (?). Barre : 0,8 μm .
4. Calcite en bâtonnet monocristalline, à strie longitudinale. Barre : 0,1 μm .
5. Accumulation discontinue. Calcite en aiguilles et voiles amorphes. Barre : 8 μm .
6. Accumulation discontinue. Figure de microdiffraction électronique d'aiguilles de calcite monocristallines (A) et voile amorphe (V). Barre : 1 μm .

1. « Accumulation discontinue ». Polycristalline whiskers of calcite and « bâtonnets ». Scale : 1,5 μm .

2. Calcitic cement of the « croûte feuilletée ». Calcite whiskers emballed with « bâtonnets ». Scale : 1,5 μm .

3. « Pellicule rubanée ». Micritic cement of « bâtonnets » and amorphous siliccous veils (V). P : microporosity. Scale : 0,8 μm .

4. Monocristalline « bâtonnets » of calcite. Scale : 0,1 μm .

5. « Accumulation discontinue ». Amorphous veils and whiskers. Scale : 8 μm .

6. « Accumulation discontinue ». Electronic microdiffraction feature of calcite whiskers (A) and amorphous veil. Scale : 1 μm .

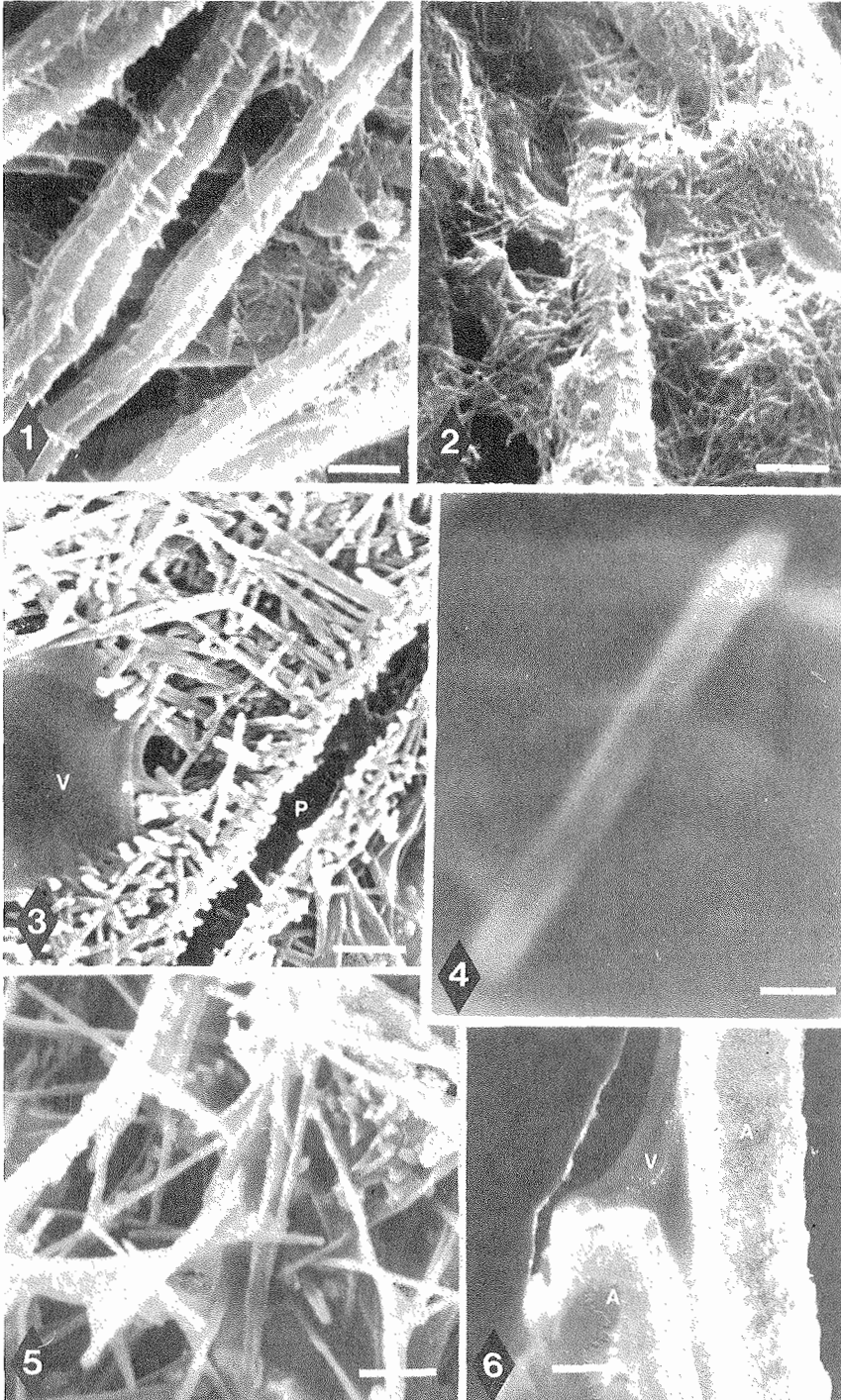


Figure 5.

L'HORIZON Bca.

Comme dans l'encroûtement massif sous-jacent, la carbonisation secondaire se présente sous plusieurs faciès :

- des aiguilles de calcite de 70-100 μm de long, à section rectangulaire, en X ou H; elles constituent des calcitanes et des cristallaria;
- quelques calcites en bâtonnets, couvrant partiellement les aiguilles longues précédentes;
- des cristaux radiés d'aragonites, de 20-50 μm , assez abondants, développés sur les aiguilles longues;
- des tubules cristallins de calcite résultant de la calcitisation de poils racinaires, de filaments mycéliens (KLAPPA, 1979);
- des groupes de calcite sparitique de pseudomorphose de cellules de racines.

Il en diffère cependant par la plus grande abondance des productions biologiques calcitisées et des cristaux d'aragonite.

L'HORIZON A.

Invisible à l'œil nu, la carbonatation secondaire est caractérisée à la base de l'horizon par des cristaux fibreux de 20-30 μm autour des agrégats (Figures 4.1 & 4.2). Ils sont constitués d'*aragonite* dont la nature minéralogique est confirmée par coloration spécifique (FIEGL, 1964) et par spectrométrie d'absorption infrarouge. On peut donc parler d'*aragonitanes*. Au M.E.B., cette aragonite apparaît sous forme d'efflorescences de petites aiguilles de 15 à 30 μm , analogues aux touffes cristallines observées par KULKE (1974) dans les croûtes algériennes.

Dans la macrosporité vacuolaire, des cristaux de calcite rhomboédrique isolés, à faces et arêtes régulières et peu altérées, se développent en petits groupes (Figure 4.4). D'après DURAND (1980 a & b), leur formation serait favorisée par la percolation de solutions voisines de la saturation et commandée par l'évapotranspiration. Cette hypothèse est très vraisemblable puisque ces cristaux n'apparaissent que dans cet horizon A, à forte activité biologique. Enfin, de nombreuses racines à cellules calcitisées conservent leur structure, alors que d'autres sont en voie de dissociation. D'après KLAPPA (1979), leur genèse procède de mécanismes biologiques d'absorption. Ces cristaux constituent en tout cas une part notable du squelette calcitique de l'horizon.

FIGURE 4.

1. Horizon A. Observation en microscope optique (L.P.).
Cristaux d'aragonite (Ar) développés en bordure d'agrégats (Ag) : aragonitanes. Barre : 100 μm .
2. Horizon Bca. Observation au microscope optique (L.P.).
Cristaux d'aragonite (Ar) développés sur un support de calcite aciculaire (A). Barre : 20 μm .
3. Horizon Bca. Cristaux d'aragonite. Barre : 5 μm .
4. Horizon Bca. Cristal de calcite rhomboédrique autigène. Barre : 7 μm .
5. Horizon Bca. Cellules de racines calcitisées. Barre : 15 μm .
6. Croûte feuilletée. Filament racinaire calcitisé (?). Barre : 7 μm .

1. A horizon. Optical microscope.
Aragonite crystals (Ar) around peds (Ag) : Aragonitans. Scale : 100 μm .
- 2 & 3. Bca horizon. Optical microscope.
Aragonite crystals (Ar) on calcite whiskers (A). Scales : 20 μm and 5 μm .
4. Bca horizon. Rhomboedral autigenic calcite. Scale : 7 μm .
5. Bca horizon. Calcitized roots cells. Scale : 15 μm .
6. « Croûte feuilletée ». Calcitized root (?). Scale : 7 μm .



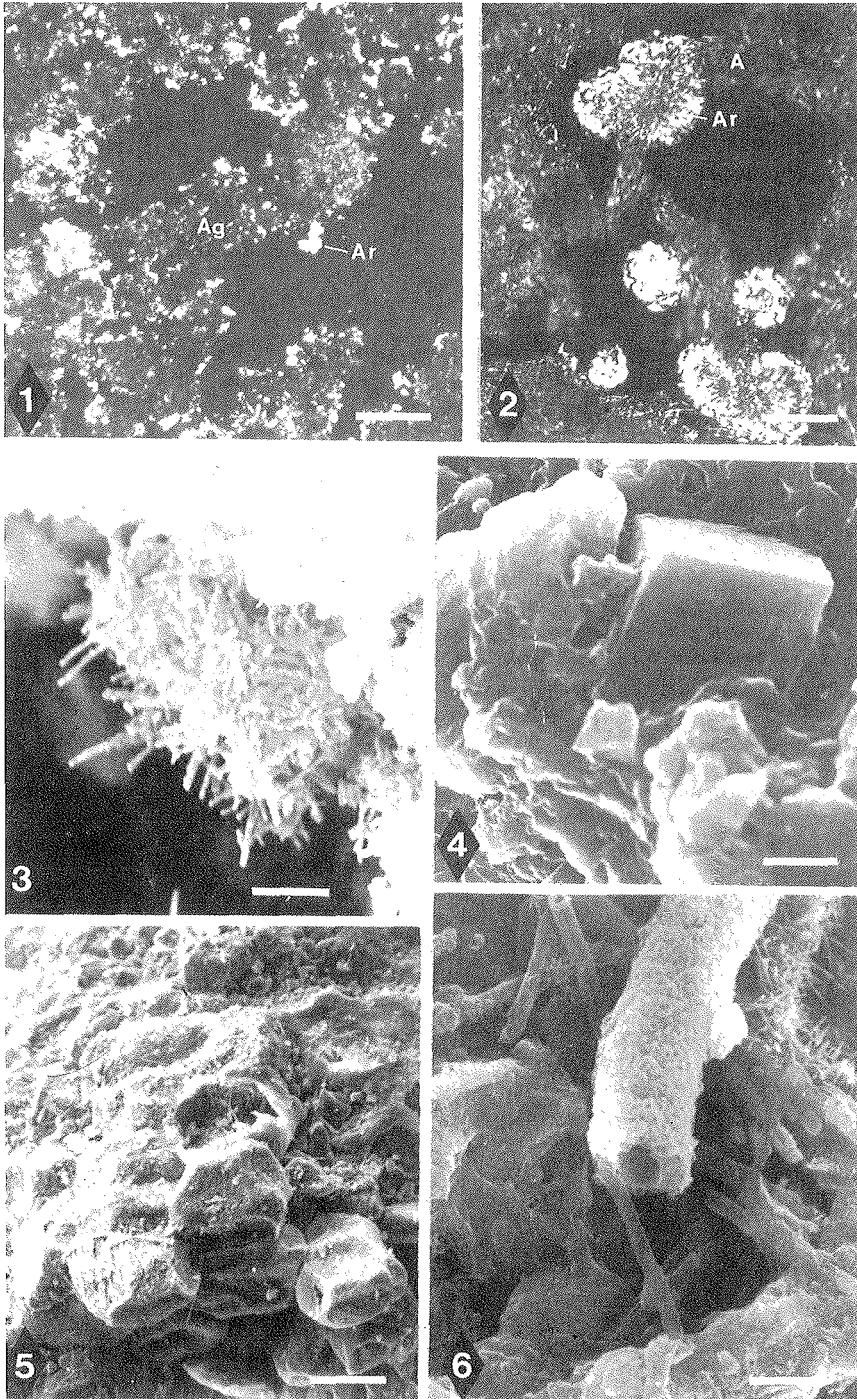


Figure 4.

CONCLUSION.

L'accumulation carbonatée s'effectue suivant une minéralogie complexe des carbonates.

Ainsi, aux différents horizons, morphologiquement bien caractérisés, correspondent des associations cristallines qualitativement, et semble-t-il quantitativement, définies. La figure 6 schématise cette organisation.

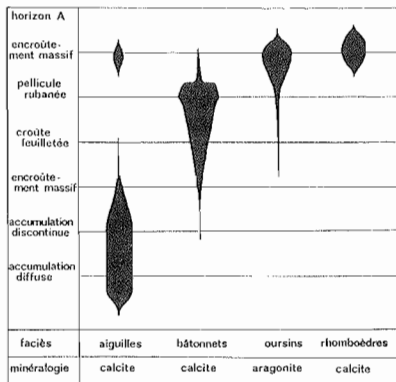


FIGURE 6.

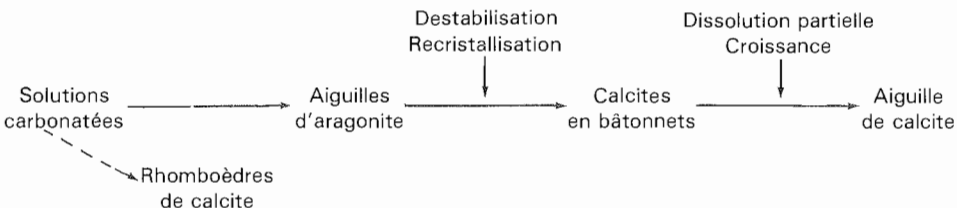
Minéralogie des différents horizons d'accumulation carbonatée.

Mineralogy of the carbonate accumulation.

En outre, parallèlement à la différenciation morphologique, ces cristaux s'ordonnent suivant une séquence minéralogique que nous avons déjà évoquée (NAHON et al., 1981).

A partir des solutions de sol, les premières cristallisations sont représentées par l'aragonite fibro-radiée, peu stable. Elle serait relayée par les calcites en bâtonnets, elles-mêmes par les aiguilles longues de calcite, monocristallines d'abord, puis polycristallines.

La séquence pourrait être ainsi tracée :



Il faut citer, enfin, les rhomboédres de calcite qui se formeraient directement à partir des solutions.

Grâce aux très nombreux travaux sur les encroûtements pédologiques, on sait qu'il existe une interdépendance morphologique et génétique des horizons d'accumulation des carbonates à l'échelle du paysage.

Nous venons de montrer qu'à ce caractère se couple une interdépendance d'associations minérales qui traduit, en fait, l'existence d'une véritable séquence minéralogique évolutive des carbonates de valeur générale (Nahon et al., 1981; Butel, 1982; Ducloux et Butel, 1983).

CARBONATE ACCUMULATIONS IN A SOIL SEQUENCE OF WESTERN FRANCE :
ORGANIZATION AND DISTRIBUTION.

SUMMARY

In the calcareous **Plaine Poitevine**, the carbonate accumulations along the slope of a valley are described according to Ruellan terminology. They are developed in limestone and in gravelous slope deposit (Fig. 1). They constitute a true toposequence (Fig. 2).

Microscopical observations show that carbonatations are constituted by several crystallizations which often appear with whisker morphology and facies (Fig. 3, 4 § 5).

It appears that the morphology and mineralogy of carbonate accumulations are closely in relation to their organization and their distribution in the land-scape (Fig. 6).

BIBLIOGRAPHIE

- BLÜMEN W.D., (1982). Calcretes in Namibia and S.E. Spain. Relations to substratum, soil formation and geomorphic factors. *Catena*, Suppl. 1 : Aridic soils and geomorphic processes, 67-82.
- BUTEL P., (1982). Formes et mécanismes de l'accumulation carbonatée dans les sols de la Plaine Poitevine. Thèse 3e cycle, Univ. Poitiers, n° 871. 123 p.
- DUCLoux J. et BUTEL P., (1983). Micromorphology of calcretes in a slope deposit in the Poitevine Plain, France. *C.R. Soil Meet. Micromorph.*, Londres, 637-646.
- DURAND R., (1978). La pédogenèse en pays calcaire dans le Nord-Est de la France, Thèse Doct. Etat, n° 55 CNRS, 198 p.
- DURAND R., (1980.a). L'évolution d'une rendzine encroûtée sur la craie de Champagne. *Sci. Sol-Bull. AFES*, 3, 201-216.
- DURAND R., (1980.b). Variations saisonnières de la concentration des solutions et des gaz du sol en milieu crayeux. *Sci. Sol-Bull. AFES*, 3, 217-230.
- FIEGL F., (1954). Inorganic applications. Elsevier Publishing Company, vol. 1, 411-412.
- GILE L.H., (1961). A classification of Ca horizons in soils of a desert region, Dona Ana Country, New Mexico. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 25, 52-61.
- GILE L.H., PETERSON F.F. et GROSSMAN R.B., (1966). Morphological and genetic sequences of carbonates accumulation in desert soils. *Soil Sci.*, 101, 5, 347-360.
- GUILLIEN Y., (1953). Interprétation générale des grèzes litées. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 6, III, 713-720.
- KLAPPA C.F., (1979). Calcified filaments in quaternary calcretes : organomineral interactions in the subaerial vadose environment. *Journ. Sed. Petr.*, 27, 613-629.
- KULKE H., (1974). Zur Geologie und Mineralogie der Kalk und Gipskrusten Algeriens. *Geologischen Rundschau*, 63, 3, 970-998.
- NAHON D., DUCLOUX J., BUTEL P., AUGAS C. ET PAQUET H., (1980). Néof ormation d'aragonite, première étape d'une suite minéralogique évolutive dans les encroûtements calcaires. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 291, 9 725-727.
- POUGET M. et RAMBAUD D., (1980). Quelques types de cristallisation de calcite dans les sols à croûtes calcaires (steppes algériennes). Apports de la microscopie électronique. *C.R. G.E.-S.C. Bordeaux*, 371-379.
- RICHE G., RAMBAUD D. et RIERA M., (1982). Etude morphologique d'un encroûtement calcaire. Région d'Irecê Bahia, Brésil. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, XIX, 3, 257-270.
- RUELLAN A., (1970). Les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya (Maroc). Thèse Doct., 447 p.
- RUELLAN A., (1980). Caractérisation des sols calcaires à régime hydrique xérique ou aridique. *11th Intern. Soil Classif. Workshop., Damascus, Syria*, 17 p.
- VERGES V., (1982). Contribution à l'analyse et à la représentation cartographique des formations pédologiques en moyenne montagne calcaire (Mont Ventoux, France). Thèse 3e cycle, Univ. Paris VII, 225 p.
- VERGES V., MADON M., BRUAND A. et BOCQUIER G., (1982). Morphologie et cristallo-genèse de microcristaux supergènes en calcite en aiguilles. *Bull. Minéral.*, 105, 351-356.
- WALTON A.G., (1967). The formation and properties of precipitates. Intern. Sci. Publishers, John Wiley and Sons, 232 p.
- WIEDER M. et YAALON D.H., (1974). Effect of matrix composition on carbonate nodule crystallization. *Geoderma*, 11, 2, 95-121.