

argile se manifeste très près de la surface ou en profondeur au contact de l'horizon Bca. Il trouve des arguments supplémentaires dans les études micromorphologiques de N. FEDOROFF. Celles-ci ont montré en effet des pellicules d'argile orientées autour des grains de sable et dans la masse du plasma, dont l'importance relative augmente en profondeur puis diminue quand le calcaire apparaît, dans le Bca.

*La nomenclature utilisée par A. RUELLAN pour désigner les horizons des sols à profils calcaires en fonction de la texture nous semble assez théorique:*

Aca: se subdivise en deux niveaux texturaux At et Bt.

Bca: se subdivise en deux niveaux texturaux difficiles à séparer Bt et Ct.

C: matériau originel.

2° *La couleur.*

Est plus rouge (2,5 YR) dans les sols peu calcaires et plus argileux. On note un éclaircissement de la surface (matière organique) vers la profondeur (calcaire).

3° *La structure.*

Est polyédrique muciforme dans les Aca, At et devient polyédrique angulaire dans les horizons Bt.

V. *Quelques propriétés chimiques des sols à profil calcaire.*

1° *La matière organique.*

Se répartit selon un profil qui est en relation avec le profil calcaire avec la couleur de l'horizon At.

*Les teneurs en matière organique se répartissent généralement de façon isohumique; c'est-à-dire en décroissant faiblement en profondeur. La décroissance est plus rapide si la couleur de l'At est claire et si les teneurs en calcaire de l'At et du Bt sont plus fortes.*

Parallèlement les taux d'humification diminuent tandis que les proportions d'acides fulviques et d'acides humiques bruns augmentent par rapport aux gris.

2° *Le fer.*

Les teneurs en fer libre et les rapports fer libre sur fer total sont plus élevés (rapports 0,5-0,7) dans les sols rouges (2,5 YR) que dans les sols brun-rouges (5 YR) calcaires dès la surface (rapports 0,4-0,5).

Cette différence se marque dans les horizons At comme dans les horizons Bt, généralement plus argileux. Ces teneurs semblent varier parallèlement avec les teneurs en argile sans que ce soit une règle absolue.

MILIEUX DE SEDIMENTATION. DOMAINE FLUVIO-LACUSTRE.

selon P. FREYTET, 1975.

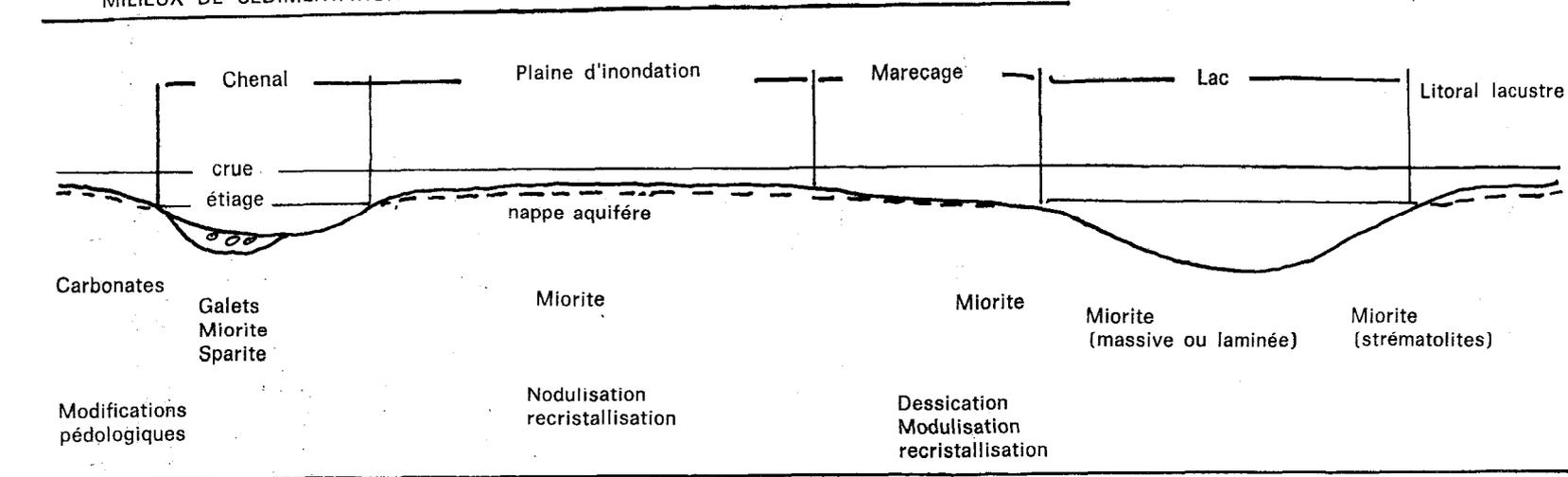


Figure 3.

En lame mince, le plasma des At ou Bt des sols non calcaires apparaît imprégné de « peinture rouge » de petits agrégats et concrétions ferrugineuses et les cutans sont souvent des ferriargilans.

## VI. *Les types d'argile et leur répartition.*

### 1° *L'illite.*

Est la plus fréquente. Elle est bien cristallisée dans les horizons Aca très calcaires et très clairs. Elle est altérée et ouverte dans les Aca non calcaire et At sombre. Le « baillement » des interfoliaires est réduit dans les horizons Bca et C.

### 2° *La vermiculite.*

Est absente. La montmorillonite est rare.

### 3° *La chlorite.*

Est toujours présente (10 à 20%). Elle est cristallisée dans les encroûtements et s'altère parallèlement à l'illite.

### 4° *La kaolinite.*

Est très peu représentée et semble héritée.

### 5° *L'attapulgitite constitue l'originalité minéralogique des sols à profil calcaire de la basse Moulouya.*

Elle est absente des horizons non calcaires et apparaît d'autant plus abondamment et superficiellement dans les sols que les horizons Bca sont plus développés et proches de la surface que les horizons At sont plus calcaires et plus clairs.

*Sa proportion ne dépasse jamais 50% des minéraux argileux. Elle est plus faible dans les encroûtements surmonté par un At sombre, dans les dalles compactes et croûtes lamellaires.*

C'est dans les encroûtements non feuilletés et dans les croûtes tendres qu'elle est la plus élevée (près de 100%). Elle diminue sous les encroûtements.

## VII. *L'influence des facteurs pédologiques intéressant la genèse des sols à profil calcaire.*

### 1° *L'influence du climat actuel.*

Le climat manifeste différemment son action d'une région à l'autre (influence de la proximité ou de l'éloignement de la mer, déterminant l'étage aride et semi-aride).

*Les horizons Aca-At sont en général plus décalcifiés, plus argileux, plus colorés (rouge) et plus sombres dans le semi-aride que dans l'aride. Le facteur roche-mère peut toutefois intervenir pour troubler ce schéma.*

2° *L'influence du modèle général résultant de l'histoire du Quaternaire.*

A. RUELLAN admet qu'un niveau classé selon la nomenclature classique du Quaternaire s'est façonné à un âge d'autant plus éloigné qu'il est plus élevé et qu'il en est même pour le développement des sols.

Il constate ainsi que:

- a) *L'accumulation du calcaire s'accroît avec l'âge des niveaux.*
- b) *L'accumulation du calcaire ne s'accompagne pas d'un appauvrissement, corrélatif des horizons Aca.*
- c) *Le profil textural argileux se différencie à partir du Rharbien ancien, en remontant vers les niveaux plus âgés; il est maximum sur les terrasses du Soltanien ancien.*
- d) *Le profil organique, la couleur des horizons de surface et leur structure apparaît au Rharbien ancien. et ne se modifie pas sur les autres niveaux plus anciens.*

e) *L'attapulгите se développe nettement en fonction de l'âge des surfaces.*

f) *Le profil structural, la rubéfaction des horizons B, la salure et l'alcalinisation des horizons B et C se marquent bien à partir du Soltanien dans le semi-aride.*

3° *L'influence du microrelief.*

*Sur un même niveau, terrasse ou glacis, l'horizon Bca peut changer de faciès selon les variations du microrelief.*

L'accumulation est maximum sur les bords du glacis ou de la terrasse, elle est minimum au centre. Pour expliquer ces variations A. RUELLAN fait appel à des axes de circulation préférentielle de l'eau et à des phénomènes de reprise d'érosion, provoquant un rajeunissement des formes d'accumulation.

*Une même surface peut donc porter des sols dont les différenciations sont diverses.*

VIII. *Les processus de migration latérale, responsable de la genèse des sols à profil calcaire différencié.*

*D'après A. RUELLAN, ces processus établissent au sein d'un bassin versant des relations étroites entre l'amont et l'aval, entre les matériaux, les mécanismes et les sols, ce qui a comme conséquence de transformer la notion de roche-mère.*

1° *La migration des matériaux.*

La mise en place des alluvions et colluvions s'est faite rapidement au cours de plusieurs périodes du Quaternaire. Ces matériaux proviennent surtout de l'érosion de sols édifiés en amont (sols rouges essentiellement).

Des remaniements se produisent pendant la différenciation des sols :

- a) en surface par érosion.
- b) en profondeur sous la forme de mouvements particuliers ou de masse.

A. RUELLAN considère ces mécanismes comme des processus actifs de la formation des sols car ils créent localement entre les horizons pédologiques de « fausses discontinuités lithologiques » petits cailloux lenticulaires, limites nettes souvent qualifiées de « ravinantes ».

*Ces mécanismes agissant aussi sur le façonnement du relief, A. RUELLAN, en conclut qu'il y a interdépendance étroite entre pédogenèse et morphogenèse.*

*Les remaniements ont été accélérés par l'érosion anthropique avec comme conséquence la mise en place des formations classiquement attribuées au Rharbien.*

### 2° *La migration des particules fines.*

*Les particules fines migrent dans les horizons superficiels, sous forme dispersée ou en suspension, d'autant mieux que les matériaux sont moins calcaires.*

*Ces migrations sont à l'origine de l'horizon At, appauvri en éléments fins, qui s'accumulent peu dans les sols.*

*L'horizon Bt est le résultat de l'altération in situ, qui entraîne la néoformation de minéraux argileux.*

### 3° *La migration des ions.*

*Le processus et son mode d'action.*

*Les ions migrent en solution, sur, dans et sous les sols.*

Les distances et les profondeurs atteintes dépendent de l'importance relative prise par les mouvements verticaux par rapport aux mouvements obliques. Ceux-ci dépendent de l'humidité du climat ou du pédoclimat et de la perméabilité.

*En climat aride les migrations sont donc moins profondes qu'en climat humide.*

*Le calcaire se concentre et s'accumule de façon discontinus en profondeur, dans les horizons C (roches altérées ou matériaux transportés).*

Les ions s'accumulent dans les zones d'aval, où ils dégradent les minéraux argileux. Le confinement qui résulte de l'aridité à la néoformation d'attapulgite.

*La genèse des horizons.*

*Deux types d'horizons apparaissent dans les sols: des horizons appauvris et des horizons d'accumulation.*

La *profondeur* de la limite entre l'horizon appauvri et l'horizon d'accumulation est *diffuse en général*. Elle dépend de la solubilité des sels, par conséquent elle est d'autant plus superficielle que le climat est aride.

Le calcaire d'origine latérale s'accumule et se concentre autour de la partie moyenne et inférieure du système racinaire puissant des forêts et des matorrals, en dehors des zones humides et subhumides où les carbonates sont éliminés profondément (paysage karstique, roches perméables, cfr. J. BOULAINÉ).

L'horizon Bca résultant se développe très lentement, ses faciès les plus puissants ont nécessité toute la durée du Quaternaire pour se former:

— L'accumulation est d'abord à distribution diffuse puis succèdent pseudomycéliums, amas friables et encroûtement. Ceux-ci se durcissent, se feuilletent en croûte et se pétrifient en dalles compactes.

— La pellicule rubanée (croûte zonaire) se développe enfin sur des surfaces dures et imperméables par ruissellement sub-superficiel.

L'action de ces processus suppose un régime hydrique contrasté (eaux suffisantes, circulation rapide)).

La profondeur d'accumulation est celle à laquelle la concentration des solutions par évaporation n'est plus compensée par l'action du CO<sub>2</sub> biologique.

— La décarbonatation de Aca n'accompagne pas la différenciation du Bca.

Son appauvrissement en CaCO<sub>3</sub> est contrarié. Il a tendance à s'amincir et se recalcariser quand la partie du Bca remonte puis à s'appauvrir par remaniement, par lente érosion aux dépens du Bca.

Il contient une teneur minimum en CaCO<sub>3</sub> et atteint une épaisseur variable avec les climats (mince si aride, épais si humide).

#### 45. CONCLUSION - SYNTHÈSE.

Les auteurs des divers travaux que nous venons d'examiner se montrent donc plus soucieux d'expliquer la place ou la genèse des croûtes dans le cadre du profil pédologique.

1. M. GIGOUT considère que la croûte zonaire qui couvre les grès du Maroc provient du lessivage du calcaire du limon rouge superficiel qui la couvre et d'un enrichissement à partir de la roche-mère.

Celui-ci se serait produit durant une période humide du Quaternaire récent. Le durcissement de la croûte se serait fait par diagenèse interne par circulation d'eau en profondeur ou en surface.

Cette interprétation qui ne résulte que d'une observation très localisée, retient cependant notre attention.

2. J. BOULAINE fait encore plus nettement appel à des processus pédogénétiques pour expliquer la genèse des carapaces calcaires non steppiques (selon sa terminologie). Ses arguments sont surtout tirés de ce qu'on pourrait qualifier de principe des causes actuelles.

En effet cet auteur explique surtout l'enrichissement en calcaire par l'action radiculaire de la végétation forestière en climat semi-aride, sur la base de ses observations sur l'accumulation du calcaire dans les pores radiculaires des sols alluviaux récents de la plaine du Chélif.

Pour pouvoir juger réellement du bien fondé des hypothèses de J. BOULAINE nous aurions souhaité plus de précisions de sa part dans la localisation des croûtes et encroûtements dans le paysage. Sinon, détachées de leur contexte réel, ces démonstrations restent trop théoriques.

Chez J. BOULAINE nous pensons qu'il existe une discordance entre les observations et les théories présentées. Cet auteur paraît accorder trop d'importance à certains détails (réels tels que la présence de racine) et ne plus tenir suffisamment compte des conditions générales de gisement des croûtes et encroûtements dans le modèle générale (glacis, terrasses, anciens lacs intérieurs où le calcaire a pu être précipité dans les sédiments, avant ou pendant la colonisation végétale de milieu hydromorphe, voir travaux de P. FREYET et G. CONRAD en 3).

3. Les conclusions du travail le plus récent, celui de A. RUELLAN ne nous satisfont pas d'avantage sur le plan de la stricte caractérisation de l'action des processus dits pédogénétiques dans la genèse des croûtes.

L'activité des processus identifiés par cet auteur nous paraît schématisée car présentée trop théoriquement détachée du cadre temporo-spatial fourni par l'étude soigneuse du modelé dans lequel les faits sont observés.

Entre A. RUELLAN et nous, il y a un obstacle au niveau de la conception de base que nous avons cru déceler à travers la terminologie utilisée, par cet auteur pour désigner les horizons et définir les processus pédogénétiques.

A. RUELLAN, selon les conceptions et les définitions que nous avons adoptées (voir J. TRICART, 1965), rassemble sous le terme de pédogenèse, des processus que nous considérons comme morphogénétiques: notamment mouvements latéraux des matériaux, sédimentation, ruissellement, etc....

L'adoption du sigle Bca pour désigner toutes les formations calcaires nous paraît spécialement délicate. Elle laisse entendre qu'il existe une relation entre les horizons appauvris de surface et cet horizon d'accumulation, du moins si on accorde une signification génétique aux sigles et non une signification écologique. Or il nous semble que c'est précisément le cas de A. RUELLAN.

Les autres sigles utilisés par cet auteur pour désigner les horizons qui surmontent les accumulations continues du type croûte (Aca, At, Bt) nous paraissent complexes et même confuses.

Ils nous paraissent essentiellement justifiés par le souci qu'a ce chercheur d'établir une relation entre les horizons de surface et de profondeur qu'il considère comme appartenant à un même profil « monogénique »: *le sol à profil calcaire différencié*.

*La classification morphologique de A. RUELLAN, la plus récente, nous a paru satisfaisante.* Elle est déjà le fruit d'une concertation de cet auteur avec d'autres pédologues (notamment S. HENIN et G. BOCQUIER). Elle a le mérite de regrouper selon une ordonnance systématique, presque taxonomique, les différentes formes d'accumulation du calcaire et de permettre le rattachement des nomenclatures utilisées dans les travaux antérieurs.

Nous n'avons pas éprouvé de difficultés pour l'adapter à nos propres observations bien que nous ayons utilisé au départ <sup>(1)</sup> une nomenclature plus proche de celle de J. WILBERT et J. H. DURAND.

Nous déplorons cependant qu'elle ne réserve pas une place aux conglomérats fréquemment liés sur le terrain à des formes bien spécifiques (glacis, terrasses, cônes).

*Nous nous demandons en outre si cet auteur n'a pas poussé le souci du détail, de la nuance jusqu'à l'excès, ce qui risque de conduire le pédologue trop scrupuleux à hésiter lors du classement et du tracé des limites de sol sur le terrain.*

Enfin, la question fondamentale que nous posons, est la suivante: *les accumulations calcaires* (les horizons d'accumulations calcaires (Bca) selon A. RUELLAN), *constituent-elles vraiment des horizons caractéristiques, diagnostiques, susceptibles de définir des sols actuels au point de vue génétique?*

Ce n'est pas semble-t-il l'avis des classificateurs américains et de la F.A.O. qui les considèrent comme des horizons secondaires.

Indépendamment de l'interprétation, nous sommes partisan de conserver une nomenclature préalablement bien définie, claire, simple, selon les normes classiques ou écologiques. Un langage complexe, réservé à des initiés risque de décourager les utilisateurs.

Dans le domaine des études pédogénétiques, le point important à préciser, est le lien, les rapports qui existent entre les horizons superficiels, la croûte et l'encroûtement dans les profils des sols actuels.

C'est dans ce but que nous avons entrepris l'étude qui fait l'objet de la deuxième partie.

---

(1) Cette classification a été publiée postérieurement à nos travaux sur terrain.