

Pédo

LES HORIZONS D'INDIVIDUALISATION ET
D'ACCUMULATION DU CALCAIRE DANS LES SOLS DU

M A R O C

par

Alain RUELLEAN
Pédologue; Maître de Recherches O.R.S.T.O.M.

Direction de la Mise en Valeur
Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire
RABAT-MAROC

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

1011 11307
n° B 11322 ex 1

Communication au
9^e Congrès International
de la Science du Sol
ADELAÏDE
Août 1968

Dans les sols méditerranéens, le calcaire est très souvent un élément fondamental de description et de classification. C'est en particulier le cas des sols isohumiques subtropicaux (sols bruns et châtaîns) et des sols rouges méditerranéens, auxquels nous limiterons notre étude; ces sols présentent toujours un horizon Bca ou Cca dans lequel le calcaire s'accumule et s'individualise sous des formes diverses, l'accumulation pouvant aller jusqu'à la formation de carapaces calcaires puissantes.

Sur la genèse des horizons d'accumulation du calcaire et surtout des carapaces, la bibliographie est déjà importante et les théories proposées en fonction des divers faciès existants, sont très variées. En particulier, beaucoup d'auteurs attribuent aux carapaces (dalles, croûtes, encroûtements) une origine essentiellement géologique (dépôts de sources, dépôts lacustres, ruissellement superficiel en nappe, apports éoliens). Par contre d'autres auteurs pensent plutôt à des phénomènes pédologiques : formation dans les sols par lessivage vertical, apports obliques et remontée capillaire du calcaire, ou formation au-dessus d'une nappe phréatique (croûtes de nappe).

Sans vouloir nier l'existence certaine au Maroc de carapaces d'origine géologique, nous pensons quant à nous qu'une très grande partie des horizons d'individualisation et d'accumulation du calcaire, dont les faciès sont très variés, sont, au Maroc, le résultat d'une même famille de processus pédologiques qui entrent dans le cadre de la formation des sols isohumiques subtropicaux et des sols rouges.

I.- DESCRIPTION DES FORMES D'INDIVIDUALISATION ET

d'ACCUMULATION DU CALCAIRE

Dans les sols et dans les dépôts quaternaires, l'accumulation ou l'individualisation du calcaire peut se réaliser sous les formes suivantes.

A - Accumulations diffuses

C'est un premier stade peu accentué de l'accumulation en profondeur dans un sol.

C'est une accumulation sans individualisation, le calcaire restant en éléments fins mais s'accumulant surtout dans la fraction 2-20 microns. Cependant, des pseudo-mycéliums peuvent apparaître, soulignant la porosité du sol (tracé des racines en particulier).

B - Amas friables, granules et nodules

Présents dans les dépôts quaternaires et dans les sols, ce sont des concentrations de calcaire dispersées dans la masse d'un ou plusieurs horizons.

De formes et de dimensions très variées (quelques mm à quelques cm), les granules et les nodules sont plus ou moins durcis alors que les amas friables ne le sont pas. Les granules ont un volume inférieur à 1 cm³.

Les amas friables, de couleur blanche à crème, ont des contours plus ou moins nets. Il peut s'agir d'une forte concentration de calcaire bien délimitée, très blanchie. Mais cela peut être aussi de fines pellicules pénétrant la micro-structure ou quelque chose de très diffus, une concentration assez faible du calcaire qui imprègne, en partie ou en totalité, un ou plusieurs agrégats.

Plus ou moins durcis (souvent en fonction de l'humidité), les granules et nodules sont de couleur saumon quand ils sont très durs et tendent vers le blanc quand ils sont plus tendres. Ils sont très riches en calcaire, mais leur constitution est souvent hétérogène.

C - Encroûtements

Quand, dans un horizon, l'accumulation du calcaire (diffuse, amas, granules ou nodules) devient telle qu'elle fait disparaître la couleur brune ou rougeâtre des sols et des dépôts, il y a encroûtement, la teneur en calcaire dépassant 60 %.

L'encroûtement peut être :

- crayeux ou tuffeux, de couleur claire assez homogène; la structure est massive ou polyédrique, parfois finement feuilletée; le durcissement est faible;

- nodulaire : c'est un horizon à granules et nodules pris dans une gangue très calcaire; la structure est à la fois nodulaire et polyédrique et peut être finement feuilletée; le durcissement est assez marqué.

D - Croûtes

La croûte calcaire est une formation très calcaire (plus de 70 %), durcie, à structure feuilletée : il s'agit de la superposition de feuillets, pouvant atteindre quelques cm d'épaisseur, mais

de plus en plus fins quand on va du sommet vers la base. Ces feuillets ne sont pas continus : ils sont séparés par des fentes sub-horizontales s'anastomosant entre elles, fentes de plus en plus fines quand on va du haut vers le bas.

La croûte est généralement de couleur blanc-crème; quand elle est très durcie, elle tend vers le rose : c'est la transformation de la croûte en dalle compacte.

Après une limite supérieure toujours très nette la teneur en calcaire et le durcissement de la croûte diminuent toujours du sommet vers la base où elle passe progressivement à un encroûtement.

E - Dalle compacte

La dalle compacte (plus de 90 % de calcaire) est constituée par un ou plusieurs feuillets de calcaire, très durs, de couleur grise ou saumon, chaque feuillet, généralement très continu, à structure massive, pouvant atteindre 10 à 20 cm d'épaisseur.

En profondeur, la dalle compacte passe progressivement à la croûte.

F - Pellicule rubanée

Il s'agit là d'une formation stratifiée, constituée par la superposition de lamelles très fines. Très calcaire (plus de 80 %) et très dure, son épaisseur varie de quelques mm à quelques cm. Elle est en général blanche ou saumon, mais présente toujours plusieurs filets plus ou moins sombres.

Cette pellicule ne se développe qu'au sommet des dalles compactes, des croûtes (quand la dalle compacte n'existe pas) ou des encroûtements (quand il n'y a pas de croûte).

Quand il s'agit d'une croûte dont le feuillet supérieur est brisé verticalement, ce qui est fréquent, la pellicule tapisse toutes les surfaces supérieures et latérales des morceaux du feuillet brisé, mais pas la base. Elle peut également se développer sur les parois inférieures des fentes subhorizontales les plus larges qui séparent les feuillets de croûte.

II.- INDIVIDUALISATION ET ACCUMULATION DANS LES DEPOTS

Dans les dépôts quaternaires, amas, granules et nodules peuvent être présents, seuls ou associés, sur toute l'épaisseur du dépôt (sauf en surface) ou seulement dans certains horizons. Cependant, fréquents dans le Quaternaire moyen et ancien, ils sont beaucoup plus rares dans le Quaternaire récent (Würm). Au contraire, encroûtements, croûtes et dalles sont généralement absents au-dessous de la zone de pédogénèse. Par ailleurs :

- Amas, granules et nodules sont fréquents dans des dépôts qui n'étaient pas calcaires à l'origine.

- Leur présence est souvent accompagnée par certains indices d'une hydromorphie ancienne qui fut probablement assez faible.

- La densité, la forme et la consistance de ces inclusions varient beaucoup en fonction de la texture du dépôt.

Nous ne pouvons pas ici insister sur l'origine de ces formations. Indiquons seulement qu'il s'agit en partie du résultat de variations d'hydromorphie plus ou moins accentuées, hydromorphie qui remanie le calcaire préexistant dans les dépôts et celui amené par la circulation des eaux.

III.- INDIVIDUALISATION ET ACCUMULATION DANS LES SOLS

Dans les sols, l'horizon d'accumulation peut être :

- Une accumulation diffuse (sols peu évolués) dont les limites sont invisibles.

- Un horizon à amas, granules ou nodules, seuls ou associés, généralement précédé et suivi par une accumulation diffuse, les limites entre les horizons étant progressives. D'ailleurs, l'accumulation diffuse se poursuit dans l'horizon à inclusions. Cependant, la présence seule d'amas friables n'implique pas forcément une accumulation de calcaire dans l'horizon : il peut s'agir seulement d'une concentration du calcaire déjà présent.

- Une carapace (10 à plus de 200 cm d'épaisseur) : sa limite supérieure est toujours nette et sa teneur en calcaire, maximum au sommet, décroît en profondeur. A sa base, elle passe progressivement à un horizon à amas, granules ou nodules. Cette carapace peut être :

. un encroûtement seul, pouvant être coiffé d'une pellicule rubanée;

. une croûte passant progressivement en profondeur à un encroûtement; la croûte peut être surmontée soit d'une pellicule rubanée, soit d'une dalle compacte qui peut elle-même porter une pellicule rubanée,

Il y a donc verticalement passage progressif entre les diverses formes d'accumulation qui sont disposées les unes par rapport aux autres selon des lois précises. De même les passages latéraux sont très fréquents : passage d'un horizon à amas à un horizon à granules et nodules; enrichissement de la partie supérieure d'un horizon à amas, granules ou nodules qui devient encroûtement; passage du sommet de cet encroûtement à une croûte qui va s'épaissir et dont les feuilletts supérieurs durciront de plus en plus jusqu'à devenir une dalle compacte.

A - Les horizons d'accumulation en fonction des facteurs
de la pédogénèse

Les principaux faits qui permettent de comprendre la formation des horizons d'individualisation et d'accumulation du calcaire dans les sols sont les suivants :

1^o) Quelle que soit la situation topographique, ces horizons ne sont jamais situés en surface et l'horizon qui les surmonte est d'une épaisseur assez constante, de l'ordre de quelques dizaines de cm.

2^o) Quand on passe latéralement d'une accumulation à amas, granules ou nodules, à une carapace, la limite avec l'horizon supérieur, progressive dans le 1^o cas, devient nette et brutale; mais l'horizon supérieur est le même et n'apparaît donc que rarement comme un apport allochtone sur la carapace.

3^o) L'épaisseur et la teneur en calcaire de l'horizon d'accumulation sont indépendantes de celles de l'horizon supérieur : au-dessus d'une carapace puissante, l'horizon supérieur peut être très calcaire ou pas du tout, quelle que soit son épaisseur. Le calcaire accumulé ne provient donc pas du lessivage de l'horizon situé au-dessus.

4^o) Quel que soit l'horizon d'accumulation, sa limite avec la roche-mère sous-jacente est toujours progressive. Par ailleurs, la morphologie des accumulations varie sensiblement avec la texture des roches-mères. Cependant, il n'y a aucun rapport entre la richesse en calcaire de la roche-mère et la puissance des accumulations, qui peuvent se développer dans des dépôts non calcaires. Les accumulations ne sont donc pas des apports allochtones, mais leur calcaire n'a pas été fourni par la roche-mère.

5^o) L'accumulation du calcaire s'accroît avec l'âge des sols. Sur les dépôts flandriens, les sols ne présentent qu'une accumulation diffuse ou à amas. Au Würm, les accumulations à amas et granules sont bien développées, mais les nodules et les carapaces n'apparaissent qu'au Riss. Enfin les carapaces les plus puissantes, avec dalle compacte, n'existent qu'au Villafranchien. Par contre la décalcarisation de l'horizon supérieur ne s'accroît pas avec l'âge.

6^o) Quand on va des régions à climat méditerranéen subhumide (500-700 mm) vers des climats de plus en plus secs :

- Les accumulations de calcaire se rapprochent progressivement de la surface et, pour un même âge, sont de moins en moins épaisses.

- Dans les dépôts récents (Würm et Flandrien), les accumulations à inclusions sont de plus en plus mal développées. Elles disparaissent vers 200 mm.

- Dans les sols anciens, les carapaces sont de plus en plus fréquentes. Par ailleurs, les croûtes et les dalles, souvent peu épaisses en région subhumide alors que les encroûtements peuvent y être puissants, se développent de mieux en mieux, au détriment des encroûtements, quand on va vers les climats arides. Les carapaces sont présentes jusqu'au Sahara.

- Les horizons supérieurs sont de plus en plus souvent très calcaires.

7^o) Les divers types d'accumulation peuvent se retrouver dans presque toutes les positions topographiques : tout dépend de l'âge du sol. Mais il est évident que pour les sols d'un même âge c'est le relief qui régit le passage d'un type à l'autre, qui régit également dans le détail leur puissance (épaisseur et teneur en calcaire). Par contre le relief n'a aucune influence sur le lessivage vertical du calcaire : dans les vallons les accumulations sont un peu plus profondes mais les horizons supérieurs ne sont pas plus décalcarisés.

8^o) L'accumulation du calcaire apparaît souvent comme s'étant faite et se faisant encore autour d'un système racinaire (disposition et alignement verticaux des amas, granules, nodules).

9^o) Les horizons d'accumulation présentent souvent des traces d'une hydromorphie légère.

B - Essai d'interprétation de la formation des accumulations de calcaire dans les sols.

Les faits que nous venons d'exposer (concernant les sols isohumiques subtropicaux et rouges méditerranéens) nous imposent cinq conclusions :

- Les différentes formes d'accumulation n'étant pas indépendantes les unes des autres, on ne peut imaginer pour chaque type des modes de formation très différents.
- Les accumulations de calcaire sont des horizons pédologiques liés aux horizons situés au-dessus et au-dessous d'eux. Il ne peut s'agir du résultat de phénomènes de dépôts ou de ruissellement superficiel.
- Le calcaire ne provient pas du lessivage des horizons supérieurs. Le lessivage vertical du calcaire est un phénomène limité, s'accroissant un peu avec l'humidité du climat mais pas avec l'âge : un équilibre est rapidement atteint, équilibre entre la descente et la remontée des solutions qui peuvent transporter le calcaire.
- Le calcaire n'est pas non plus fourni par la roche-mère.
- L'apport du calcaire est essentiellement latéral : d'une part par ruissellement superficiel d'une eau chargée en calcaire qui pénètre dans le sol et traverse les horizons superficiels sans les lessiver; d'autre part par circulation diffuse de l'eau calcaire dans le sol; enfin par les nappes phréatiques d'où l'eau calcaire peut remonter. Le dépôt du

calcaire, la morphologie, l'épaisseur et la profondeur des accumulations, sont alors le résultat :

- . de la quantité d'eau qui peut arriver et de sa richesse en calcaire;
- . de la vitesse à laquelle l'eau peut circuler;
- . de la vitesse à laquelle elle peut s'évaporer;
- . de la profondeur à laquelle l'eau venant de la surface peut pénétrer dans le sol;
- . de la quantité d'eau qui peut remonter des horizons profonds;
- . de l'importance de l'hydromorphie et de ses variations.

D'où le rôle essentiel des roches-mères (texture, perméabilité) et de la topographie. D'où le rôle également fondamental de la végétation qui facilite la pénétration de l'eau dans le sol et surtout qui est la pompe aspirante qui absorbe l'eau qui vient de toutes parts et qui concentre le calcaire autour de son système racinaire.

Le déroulement de la formation des accumulations de calcaire serait alors le suivant (nous négligerons le cas des croûtes de nappe qui peuvent se former dans la zone de battement d'une nappe phréatique : ils sont rares dans les sols qui nous intéressent ici) :

1^o) L'accumulation peut débuter dès que la végétation s'installe sur un nouveau dépôt : elle se fait au niveau des racines qui absorbent l'eau.

2^o) Le premier stade est l'accumulation diffuse et les pseudo-mycéliums. Puis apparaissent les amas calcaires : si le sol est assez humide, ces amas peuvent cependant s'individualiser avant toute accumulation.

3°) La profondeur à laquelle se fait l'accumulation dépend de la quantité d'eau qui percole verticalement (fonction du relief, de la perméabilité, du climat).

4°) Selon le régime hydrique du sol, l'accumulation et l'individualisation se poursuivront sous forme d'amas ou s'orienteront vers des formes concrétionnées qui nécessitent des périodes fréquentes d'assèchement prononcé. Ce régime hydrique dépend non seulement du climat, des roches-mères et du relief, mais aussi du type de végétation et de son enracinement.

5°) Si l'accumulation se poursuit pendant un temps très long (environ 20.000 ans : variable selon les autres conditions), les horizons à amas, granules ou nodules commenceront à se transformer en encroûtement (tuffeux ou nodulaire selon l'accumulation préexistante et le régime hydrique).

6°) Au fur et à mesure que l'encroûtement se développe, sa stérilité chimique et sa compacité obligent l'enracinement à être de plus en plus superficiel. Par ailleurs, l'encroûtement s'engorgeant facilement et la perméabilité diminuant, la circulation de l'eau devient de plus en plus superficielle : l'accumulation du calcaire affecte donc des horizons de plus en plus superficiels de l'encroûtement.

7°) L'enrichissement en calcaire du sommet de l'encroûtement, soumis par ailleurs à des variations importantes d'humidité dues à la proximité de la surface du sol et à l'enracinement, va bientôt s'accompagner d'un certain durcissement puis d'un début de feuilletage; c'est la croûte qui se forme, dont la morphologie et l'épaisseur dépendront du temps et de l'importance des variations d'humidité : la croûte sera d'autant plus feuilletée, plus durcie et plus épaisse que les alternances d'humidification et d'assèchement auront été plus fréquentes et plus accentuées pendant un temps plus long. L'aboutissement extrême de ces alternances semble être la formation de la dalle compacte qui a certainement nécessité, pour être bien développée comme celle du Villafranchien, plusieurs milliers d'années.

8^e) Enfin, au sommet de l'encroûtement durci, de la croûte ou de la dalle compacte, toujours enterrés, l'eau qui pénètre de plus en plus difficilement ruisselle et s'évapore en déposant de fines lamelles de calcaire; c'est la formation de la pellicule rubanée.

En ce qui concerne les conditions climatiques qui ont permis la formation des accumulations calcaires et en particulier des carapaces :

- Dans les régions actuellement semi-arides, ces conditions ont dû être voisines du climat actuel, permettant le développement d'une végétation forestière : elles ^{se} sont reproduites à chaque pluvial Quaternaire pendant des temps plus ou moins longs (G. BEAUDET, G. MAURER, A. RUELLAN, 1966), le durcissement de la croûte et la formation de la dalle devant correspondre à une modification du régime pluviométrique et à une dégradation de la végétation quand on passe du pluvial à l'interpluvial.

- Dans les régions actuellement arides ou sahariennes, les carapaces sont les témoins de climats semi-arides correspondant aux pluviaux quaternaires.

Enfin, à partir du moment où une carapace durcie est formée, il se produit une rupture dans le sol qui isole l'horizon superficiel : cet horizon ne va plus évoluer en fonction de sa roche-mère, qui est située sous la carapace, mais seulement en fonction de lui-même et de la carapace qu'il surmonte :

- Si cet horizon est suffisamment épais (plus de 30-40 cm) un nouveau sol isohumique peut, par exemple, s'y développer avec un nouvel horizon d'accumulation de calcaire qui peut devenir une carapace superposée à la première.

- Si l'horizon est peu épais (aminci par l'érosion) ou si la carapace est un encroûtement ou une croûte peu consolidée, s'altérant facilement, l'horizon évoluera plutôt comme un sol brun-calcaire ou une rendzine.

BIBLIOGRAPHIE

- AUDERT G. (1960) : "Les sols de la zone aride : étude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation". Actes Col. UNESCO Paris sur les problèmes de la zone aride; pp.127-150.
- BEAUDET G., MAURER G. et RUELLAN A. (1967) : "Le Quaternaire Marocain; Observations et hypothèses nouvelles". Rev. de Géogr. Phys. et Géol. Dyn. S.E.S.; Alger; 582 p.
- BOULAIN J. (1957) : "Etude des sols des plaines du Chélif" S.E.S.; Alger; 582 p.
- DURAND J.H. (1959) : "Les sols rouges et les croûtes en Algérie" S.E.S.; Alger; Et. Gén. n°7; 188 p.
- RUELLAN A. (1966) : "Les sols isohumiques subtropicaux au Maroc" Communication Conférence de Pédologie Méditerranéenne. Madrid (en cours de publication).
- RUELLAN A. (1967) : "Individualisation et Accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts quaternaires du Maroc". Cahiers de Pédologie de l'ORSTOM.
- WILBERT J. (1962) : "Croûtes et encroûtements calcaires au Maroc" Al Awamia; n°3; pp. 175-192.