

## Encroûtements, croûtes et carapaces calcaires dans la région de Madrid\*

par JEAN VAUDOUR \*\*

### RÉSUMÉ

Sur les plateaux semi-arides castillans on observe des accumulations calcaires variées sur tous les substrats. Elles n'ont qu'un lien indirect avec le climat actuel. Les plus puissantes d'entre elles sont villafranchiennes (croûtes bréchiques et multirubanées du "páramo" de la Alcarria) ou fini-miocènes (encroûtements massifs du pédiment de Tolède sur migmatites et granodiorites). L'individualisation du calcaire dans les zones de battement de nappes, le ruissellement hypodermique et la sédimentation palustre en milieu semi-endoréique ont joué un rôle aussi important que les processus pédologiques dans leur élaboration.

### SUMMARY

Upon the Castilian semi-arid plateaus, varied calcareous accumulations are observed throughout all the lithologic formations. Their link to the present day climate is rather weak. The thickest crusts were formed during the Villafranchian time (brecciae crusts and travertines of the calcareous "páramo") or during the upper Miocene (thick encrusting of the Toledo pediment, originated from migmatites or granodiorites). The individualization of limestone within these fluctuating nappes, the hypodermic run-off and the swampy sedimentation under semi endoreic conditions have played a role as important as the pedologic processes, restricted meaning.

### EXTENSION ET LOCALISATION

Sous climat méditerranéen continental semi-aride (T voisin de 14 °C, 450 mm > P > 350 mm, 4 mois secs) on observe des accumulations calcaires sur la plupart des topographies planes ou peu inclinées et sur tous les substrats (granodiorites et migmatites des Monts de Tolède, gypses vindoboniens, calcaires pontiens, formations détritiques plio-villafranchiennes, alluvions pléistocènes). Leur extension coïncide avec celle des sols à montmorillonite prédominante. Elles disparaissent au-dessus de 900 m. Dans la Cordillère centrale, sous climat déjà subhumide, les hétérosols rouges ne présentent pas la moindre trace d'encroûtement. On note par contre des altérations à kaolinite, métahalloysite et produits amorphes sur les granites

calco-alcalins; à kaolinite, vermiculite et interstratifiés illite-vermiculite sur les gneiss et les micaschistes.

Le lien étroit entre les accumulations calcaires et le domaine semi-aride actuel ne nous renseigne guère sur les conditions climatiques qui ont présidé à leur élaboration. Dans les vallées la basse terrasse porte des sols à profil calcaire non différencié. Dans les Monts de Tolède, seuls les aplanissements tertiaires portent une altération à calcite ou montmorillonite ou des encroûtements tandis que les niveaux villafranchiens rubéfiés sont dépourvus, comme le modelé d'entaille quaternaire, de carbonates. Sur le socle granito-gneissique le climat actuel, à la suite des climats pléistocènes, favorise la conservation des encroûtements miocènes qui n'ont pas été liquidés au Pliocène et au Villafranchien. Il ne semble guère favorable à l'hydrolyse des roches silicatées. Au contraire, sur les roches sédimentaires du fossé du Tage, à solubilité élevée (gypses, dolomies, argiles à sépiolite, calcaires) les climats pléistocènes ont permis à certaines époques le déplacement et l'accumulation à faible distance des éléments calci-magnésiques.

### REPARTITION REGIONALE ET PLACE STRATIGRAPHIQUE

On distingue 6 ensembles :

1.º *Altérations à calcite et encroûtements sur le socle ancien des Monts des Tolède.* Au sud du Tage s'étendent en position d'interfluve, de vastes aplanissements sur les migmatites de l'unité de Polan-Nambroca et les granodiorites du batholite de Galvez-Sonseca. Ils représentent les lambeaux d'une "pédiplaine" tertiaire dominée par des inselberge de quartzite. Ils sont caractérisés par une altération à calcite et montmorillonite de 10-20 m d'épaisseur, développée dans la roche en place, ou par des encroûtements blanchâtres, pulvérulents ou médiocrement indurés.

2.º *Encroûtements en grillage sur la bordure détritique du bassin tertiaire.* Quelquefois présents dans

\* Communication présentée au Colloque "Types de croûtes calcaires et leur répartition régionale", Strasbourg (9-11 janvier 1975).

\*\* Professeur agrégé, Institut de Géographie d'Aix-en-Provence.

les arènes du socle au sud du Tage, ces encroûtements prédominent dans les formations chaotiques de Torrelodones et de Tolède, ainsi que dans les sables feldspathiques de Madrid et de Bargas, auxquels j'attribue un âge pliocène et plio-villafranchien. Ils sont anciens car ils n'apparaissent pas dans les alluvions sablo-feldspathique du Pléistocène supérieur. Par ailleurs ils sont fréquemment fossilisés par un colluvium qui porte un sol lessivé dont l'évolution remonte au moins au Riss-Würm.

3.° *Accumulations à pédodes et septarias des hauts niveaux villafranchiens.* Sous la "raña" du piedmont de la Somosierra, dans sa partie W, et dans les environs de Navahermosa (Monts de Tolède), on remarque un horizon bariolé à pseudo-gley au sein duquel s'individualisent des pédodes et des septarias de 5 à 8 cm de diamètre. Sur le "paramo" de la Alcarria des formations meubles rubéfiées à gros amas de calcaire blanc pulvérulent s'intercalent entre la carapace villafranchienne et le calcaire pontien. Ces accumulations jalonnent des topographies planes antérieures au creusement quaternaire.

4.° *Les carapaces complexes de la Alcarria,* les plus épaisses et les plus dures de la région, fossilisent la terra-rossa plio-villafranchienne développée aux dépens du calcaire pontien. Leurs aspects sont variés. Dans certaines coupes les horizons calcaires sont de plus en plus continus et consolidés de bas en haut. Ailleurs les accumulations ont une allure bréchiqque et elles sont massives. Dans les environs de Chinchon les carapaces sont constituées par un empilement de dalles multirubanées beiges et brun pâle, associées à des dalles roses ou mouchetées. La pétrification, très élevée, est constante de bas en haut des coupes.

5.° *Accumulations des terrasses et des glacis pléistocènes.* Dans le bassin tertiaire, les encroûtements sont partout présents mais peu développés sur substrat non calcaire et faiblement calcique, d'autant plus que les rivières drainent un amont granito-gneissique (vallées du Guadarrama et du Manzanares). Au contraire, sur substrat calcaire ou fortement calcique (vallées du Jarama à l'aval, du Henares et du Tage), les encroûtements sont épais, variés, et les carapaces fortement indurées comportent des éléments saumon associés ou non à de éléments brun très pâle. Si des ébauches de croûte feuilletée apparaissent sur le niveau T3 (Riss?), les croûtes zonées à éléments de symétrie caractérisent les niveaux T4 et T5 (Mindel?). Elles sont associées aux sols rouges et localisées comme eux dans les secteurs drainés, notamment à l'approche des rebords de terrasses ou de glacis. Dans les secteurs mal drainés on observe des sols vertiques et des encroûtements diffus.

6.° *Accumulations calcaires et gypseuses du domaine des évaporites.* Sur les faciès centraux marnogypseux et gypseux vindoboniens, entre Madrid et

Aranjuez, les sols peu évolués (xéro-rendzines, siérozems) comportent un encroûtement calcaire et gypseux surmontant un encroûtement gypseux plus profond. Ces encroûtements sont généralement pulvérulents et de couleur jaune orange IOYR7/3 ou gris jaune 2,5Y7/2 (à sec). Des fragments de dalle gypseuse jaune pâle 5Y8/3, de 4 à 8 cm d'épaisseur, à structure vacuolaire, représentent sur les "mesas" les témoins de carapaces démantelées par l'érosion. Il n'existe pas d'encroûtement gypseux en dehors des régions à affleurements de gypses.

#### LES CARAPACES SAUMON. LEURS RAPPORTS AVEC LA TERRA ROSSA ET LES SOLS ROUGÈS FERSIALITTIQUES

Les carapaces saumon ou rougeâtres sont associées directement ou indirectement aux mêmes paysages que les sols rouges. Elles supposent au moins un amont calcaire karstifié.

#### A) Typologie des carapaces.

Les différents termes "amas", "nodules", "pédodes", "encroûtements", etc... ont été empruntés au Glossaire de l'ORSTOM (1969). Le mot "croûte, expressif mais ambigu, est employé avec des réserves sur son usage. Il désigne tantôt des structures élémentaires centimétriques (croûtes s. s.), tantôt des structures complexes de l'ordre métrique (croûtes s.l. ou carapaces).

1.° *Les éléments de carapace.* Ils sont massifs ou lamellaires, indurés ou pétrifiés. A l'exception de la pellicule rubanée ils sont séparés des éléments voisins par des joints non cimentés. On distingue :

— *pellicule rubanée.* Accumulation cutanique brun pâle IOYR8/4. Epouse toutes les formes au sommet des carapaces. Teneur en  $\text{CaCO}_3 > 92\%$ . Perte au feu élevée (42%). Résidu insoluble et taux d'oxydes de fer faibles.

— *croûte multirubanée ou "travertineuse".* Superposition rythmique de rubans millimétriques beiges et brun pâle, non clivables. Tonalité de l'échantillon broyé IOYR8/4. Peu d'impuretés. Teneur élevée en  $\text{CaCO}_3$ .

— *dalle massive,* blanc rose 7,5YR8/2, parfois mouchetée, pétrifiée. Perte au feu voisine de 41%. Résidu insoluble et oxydes de fer relativement plus abondants que dans les dalles multirubanées.

— *croûte feuilletée,* d'aspect marbré, rouge et blanche. Echantillon broyé rose 7,5YR8/4 ou 5YR8/4. Non pétrifiée, moins dure que la dalle, se clive au couteau. Résidu insoluble et oxydes de fer abondants.

— *croûte mixte à zonation symétrique.* Observée en milieu drainé, elle offre une zonation centimétrique de part et d'autre d'un plan médian. Zones internes rouges ou roses constituées par des micrites argileuses.

Zones externes et intermédiaires, de tonalité crème ou brun très pâle, plus riches en calcaire et plus pauvres en impuretés. La zone médiane est une ancienne fissure (ou un joint) comblée par de la sparite et jalonnée de géodes.

— *croûte bréchique rougeâtre*. Epaisse et massive, d'aspect craquelé. Forte teneur en oxydes résiduels.

2.° *Les carapaces*. Elles associent des structures élémentaires indurées et des encroûtements diffus, à amas, etc... On distingue :

— les *carapaces ordonnées*, à induration croissante de bas en haut (exemple : Cerro Ecce Homo). Elles correspondent aux "croûtes s.l." décrites au Maroc par A. RUELLAN (1971).

— Les *carapaces complexes* offrent des combinaisons variées, sans ordre apparent. Dans les environs de Chinchon, elles sont constituées par un empilement de dalles travertineuses et de dalles massives saumon, uniformément indurées et pétrifiées de haut en bas des profils.

B) Carapaces saumon, terra rossa, sols rouges fersiallitiques.

Il existe une remarquable parenté minéralogique entre le calcaire pontien, la terra rossa plio-villafranchienne et les carapaces villafranchiennes de la Alcarria. Les matrices microcristallines des carapaces saumon doivent leur nature argileuse et leurs imprégnations ferrugineuses à la terra rossa et aux sols rouges remaniés qu'elles intègrent. Les carapaces se comportent comme des calcaires durs et servent de roches-mères à des sols rouges. Le passage d'une carapace non altérée crème ou rose à une carapace altérée rougeâtre est marqué par un enrichissement en silice, une légère concentration en fer et en alumine. Le passage de la carapace altérée au B du sol rouge confirme ces tendances. Les teneurs en  $Al_2O_3$  et  $Fe_2O_3$  s'élèvent à 19 % et 7 %, tandis que les rapports  $SiO_2/R_2O_3$  et  $SiO_2/Al_2O_3$  diminuent encore mais restent supérieurs à 2. C'est une altération de type pelliculaire accompagnée d'une fersiallisation (LAMOUROUX, 1965).

## GENÈSE DES ACCUMULATIONS CALCAIRES ET GYPSEUSES

### A) Origine des carbonates et des sulfates.

1.° Dans les bassins-versants où affleurent des roches carbonatées et des calcaires durs, les incrustations représentent la phase soluble de la décarbonatation superficielle des sols (chronoséquences allant des sols calcimagnésiques aux sols rouges fersiallitiques). Sur le "paramo" les carapaces sont corrélatives de l'élaboration d'une surface de corrosion karstique plio-villafranchienne, en ambiance biostatique (dalles travertineuses) ou hétérostatique (croûtes bréchiques rougeâtres, croûtes saumon).

2.° Les carbonates et les sulfates des encroûtements calcaires et gypseux proviennent essentiellement des évaporites du substrat, même si les limons gypseux qui résultent de l'altération pelliculaire des gypses offrent un matériau de choix à la déflation éolienne.

3.° Sur le socle granito-gneissique (Monts de Tolède), dans un domaine pauvre en calcium, les carbonates proviennent de l'hydrolyse de minéraux tels que la hornblende et les feldspates calco-sodiques. L'altération à calcite et montmorillonite est particulièrement significative sur les granites. Elle s'inscrit en Afrique occidentale dans une grande séquence climatique. L'ambiance morphoclimatique qui régnait vraisemblablement en Nouvelle Castille au Vindobonien est celle de la frange septentrionale du domaine des savanes et de la pédimentation.

4.° Dans les régions sablo-feldspathiques de bordure, les carbonates libérés préalablement par l'altération à calcite miocène, ont été redistribués dans le paysage par différenciation du profil calcaire des sols, et lessivage oblique à faible profondeur. On est ramené à une évolution pléistocène identique à celle des bassins-versants à roches carbonatées.

### B) Les mécanismes.

1.° *Les mécanismes pédologiques* prédominent dans les milieux drainés. Ils conduisent à la différenciation du profil calcaire ou gypseux et à la formation d'horizons Bca à amas et nodules puis de carapaces ordonnées. La genèse des croûtes à zonation symétrique s'explique par une circulation intradermique et hypodermique intervenant dans une croûte feuilletée.

2.° *Les mécanismes hydrogéologiques* prédominent dans les milieux mal drainés. Dans la zone de battement des nappes aquifères se forment des encroûtements massifs d'oued (ou de rambla), des ciments "phréatiques" de cailloutis alluviaux, des accumulations à pédodes et septarias de pseudo-gley.

3.° *La sédimentation carbonatée palustre*. Elle prédomine dans les cuvettes semi-endoréiques ou endoréiques. On lui doit des encroûtements massifs de faciès crème (Monts de Tolède, km 21 de la route d'Aragon) lorsque le dépôt s'est effectué dans un milieu inondé en permanence. Au contraire, lorsque la sédimentation s'est effectuée selon un rythme saisonnier dans une dépression inondée puis asséchée, la carapace est constituée par une superposition de microcyclothèmes dont l'induration, très forte, est uniforme de bas en haut des profils (environs de Chinchon).

## CONCLUSIONS

1.° Le plus grand soin doit être apporté à l'examen de la polarité de l'incrustation et de l'induration des

croûtes et des carapaces. Dans la région de Madrid les carapaces ordonnées à polarité orientée de bas en haut ne constituent qu'un cas parmi d'autres.

2.° La répartition régionale des accumulations calcaires de faciès crème ou blanchâtre coïncide avec le domaine des substrats non calcaires et des sols peu rubéfiés (socle granito-gneissique des Monts de Tolède, bordures sablo-feldspathiques du bassin tertiaire). Les faciès saumon sont liés au contraire aux affleurements de calcaire dur et au domaine de la terra rossa et des sols rouges fersiallitiques (Alcarria, vallées du Henares, du Jarama et du Tage), même si la relation n'est qu'indirecte.

3.° L'accumulation des carbonates et des sulfates s'inscrit dans le contexte climatique semi-aride méditerranéen. Elle est sous la triple dépendance de phénomènes pédologiques, hydrogéologiques et sédimentologiques qui interfèrent constamment. Sur les hauts niveaux mal drainés et dans les cuvettes semi-endoréiques prédominent les formes d'accumulation hydromorphes ou palustres. Sur les topographies mieux drainées (terrasses et glacis, particulièrement sur les rebords) les accumulations pédologiques l'emportent. Les interprétations doivent être replacées dans le cadre des vastes séquences géochimiques et morphoclimatiques.

4.° Le contexte morphoclimatique le plus favorable à l'élaboration des carapaces semble se situer dans l'Epi-Villafranchien. L'allure du couvert végétal à cette époque est mal connue. La présence de phytolites suggère que les Graminées tenaient une place non négligeable.

#### BIBLIOGRAFÍA

- ERHART, H. (1967): *La genèse des sols en tant que phénomène géologique*. Paris, Masson éd., 2<sup>e</sup> éd., 117 pp.
- FREYET, P. (1973): Caractères distinctifs et essai de classification des carbonates fluviaux, lacustres et palustres, *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 276, pp. 1.937-1.940.
- GUERRA, A. et MONTURIOL, F. (1956): Quelques considérations sur la formation des sols de la région d'Extremadura (Espagne), *VI<sup>e</sup> Congrès Intern. Sc. du Sol*, Paris, V, 73, pp. 443-446.
- LAMOUREUX, M. (1971): *Étude de sols formés sur roches carbonatées. Pédogenèse fersiallitique au Liban*. Thèse Sciences Strasbourg, Mém. ORSTOM, 56, 1972, 266 pp.
- PÉREZ MATEOS, et VAUDOUR, J. (1971): Estudio mineralógico de las formaciones superficiales del páramo calizo (Cantera de Carrabilla, Alcalá de Henares, Madrid). *An. Edaf. y Agrobio.*, C.S.I.C., Madrid, pp. 243-260.
- ROQUERO, C. et ONTAÑÓN, J.-M. (1966): Une forme d'accumulation des carbonates calcique et magnésique en bandes horizontales et "grillages" sous climat semi-aride méditerranéen, *C.R. Conférence sur les sols méditerranéens*, Madrid, pp. 465-471.

---

Recibido para su publicación: 2 febrero 1975.