



DEUX PALÉOSOLS A PÉDOGENÈSES DIFFÉRENTES
DANS LES SÉDIMENTS CONTINENTAUX PALÉOGÈNES
DU BASSIN DU PUY-EN-VELAY (MASSIF CENTRAL FRANÇAIS)

Philippe LARQUÉ*, Jean-Claude LEPRUN** et Francis WEBER*

RÉSUMÉ — A la base des sédiments stampiens du bassin du Puy-en-Velay (Massif Central français), dans des sables argileux, deux types de paléaltérations sont étudiés. Les observations macroscopiques des profils et les études micromorphologiques, minéralogiques et physico-chimiques permettent d'établir qu'il s'agit de paléaltérations pédologiques en place : le paléosol rubéfié de La Collange - Besseyre-Basse peut être rangé dans la catégorie des sols fersiallitiques, le paléosol du Bois-de-l'Herm parmi les sols calcimorphes. La succession de ces deux types d'altérations différentes est en accord avec les grandes variations climatiques de cette période, mais il n'est pas totalement exclu qu'elle soit due à des variations locales stationnelles.

Le bassin du Puy-en-Velay comporte des sédiments continentaux paléogènes (BOULE, 1892) dans lesquels on peut individualiser, de bas en haut, trois grandes séquences (LARQUÉ et WEBER, 1978).

- La première séquence est formée des arkoses de Brives-Charensac, datées par une flore fossile de l'Eocène moyen (SAPORTA, 1870).
- La seconde comporte des sables argileux rouges et verts, riches en kaolinite et surmontés de niveaux argileux illitiques (GABIS, 1963), et se termine par des marnes à gypse auxquelles la faune fossile du Mont Anis permet d'attribuer un âge Ludien.
- La troisième débute par des sables argileux fluviatiles gris et beiges, auxquels succèdent des marnes et des calcaires lacustres (calcaire de Ronzon) datés du Stampien inférieur par une faune de mammifères fossiles. Les marnes et calcaires surtout répartis au centre du bassin sont, du moins en partie, l'équivalent latéral des sables argileux qui occupent les zones périphériques du bassin.

Des paléosols ont été identifiés dans les formations sableuses de cette troisième séquence ; ils constituent l'objet de cette étude.

Nous avons pu, en remontant le cours de la rivière Laussonne sur une dizaine de kilomètres en amont du village d'Arsac-en-Velay, observer et étudier en continu les sables de la base de cette séquence sédimentaire en contact normal sur le granite, et leur passage au calcaire, du type calcaire de Ronzon. Ces sables argileux fluviatiles comportent de nombreuses traces d'actions pédologiques et peuvent être globalement divisés en deux ensembles distincts.

Le premier, formé d'une alternance de sables gris à gris-bleu et de sables argileux beiges comportant parfois des marmorisations orange, commence sur le granite peu altéré et se termine par des niveaux rubéfiés pisolitiques. A La Collange, le niveau rubéfié le plus puissant constitue la surface d'érosion actuelle du sol et est modérément induré (Pl. I, 1). Toute cette première partie des sables de la Laussonne ne contient pas de carbonates.

Le deuxième ensemble sableux ravine les niveaux rubéfiés et, dans ses premières assises, contient des pisolites rouges, brisés pour un grand nombre et dispersés dans une matrice de sables argileux beiges à orange (Pont-de-Mouli-

* Centre de Sédimentologie et Géochimie de la Surface (CNRS), Institut de Géologie, 1 rue Blessig, 67084 Strasbourg Cedex.

** Mission ORSTOM, C.P. 1418, 50 000 Recife (P.E.), Brésil.

28 NOV. 1983

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 3937 ex 1

Cote : B

nes). Ces sables sont caractérisés par des marmorisations ocre dans les niveaux argileux qui séparent les chenaux plus sableux, ainsi que par des encroûtements calcaires qui peuvent être bien développés. Cet ensemble sablo-argileux est également caractérisé par la présence croissante de calcaire en montant dans la série et en allant vers le centre du bassin. Il se termine d'ailleurs par des niveaux de calcaire lacustre (calcaire de Ronzon) au Gros-de-Brives, à environ 1,5 km en amont d'Arsac-en-Velay.

Il faut noter que, mise à part l'invasion de la sédimentation par la calcite, la composition minéralogique de ces séries sableuses est globalement homogène et monotone : les sables sont quartzo-feldspathiques et les argiles composées de smectite dominante, d'illite et d'un peu de kaolinite.

I – LES NIVEAUX D'ALTÉRATION RUBÉFIANTE

1. Description

C'est dans les pentes d'un ravin formé par un ruisseau qui entaille profondément les sédiments sablo-argileux, entre le village de La Collange et le Pont-de-Moulines, que plusieurs passées rouges séparées par des sables verts et beiges ont été échantillonnées.

Le profil étudié (Pl. I, 2) comporte le niveau rouge le plus bas dans la série et le plus épais (près de 2,5 m) ; il est observable dans un petit ressaut au tiers inférieur de la pente.

- 0 - 40 cm, niveau 1 : sables argileux gris-vert (5Y 8/2) à gris-blanc (5Y 8/1), à taches et nodules rouges. Structure polyédrique fine à particulaire. Cohésion faible. La totalité de la pigmentation rouge est rassemblée dans les taches et nodules qui sont fragiles dans l'ensemble. Nombreuses petites racines actuelles. Les sables gris-vert sont ravinnés à leur sommet par une autre passée sableuse, et passent au niveau 2 par une limite nette subhorizontale et presque linéaire.
- 40 - 210 cm, niveau 2 : argile sableuse rouge vif (7,5R 4/8) à rouge sombre (5R 3/4). Structure polyédrique massive à subnodulaire (nodules de 2 à 3 cm). Cohésion d'ensemble forte, cohésion de motte moyenne devenant très forte en sec. Zone de concentration nodulaire maximale vers 130 cm. Les nodules peuvent être en partie coalescents ; ils possèdent des « coiffes » argileuses et siliceuses, alors qu'ils sont argilo-sableux à l'intérieur.
- 210 - 280 cm, niveau 3 : sables argileux, dans lesquels la couleur passe de rouge uniforme à un maillage de rouge, puis d'orangé et de beige, de plus en plus lâche, enserrant un pourcentage croissant de sables argileux gris-blanc (5Y 7/1). Structure polyédrique à cubique moyenne (éléments de 2 à 3 cm). Les faces de ces éléments structuraux sont tapissées d'un matériel blanchâtre (silice).
- 280 - 330 cm, niveau 4 : sables argileux blanchâtres à faibles marmorisations beige clair (5Y 8/2). Structure prismatique. Cohésion très faible. Passent de façon insensible à la masse des sédiments sablo-argileux sous-jacents qui ne présentent pas de caractère d'altération pédologique.

2. Etude micromorphologique

De bas en haut, les observations sont les suivantes.

Lame 114

Cette lame correspond au niveau 4, matériel de départ qui présente un assemblage porphyrosquelique très peu aggloméroplasmique, un squelette constitué de quartz anguleux, de feldspaths potassiques altérés et de plagioclases très altérés mais assez nombreux, un plasma argilosépique gris (environ 80 %) et squelsépique jaune-brun. Les vides sont très fins, nombreux, et délimitent des polyèdres. Les traits pédologiques sont peu nombreux. Il s'agit d'argilanes illuviés orientés quelquefois en gros amas légèrement ferrugineux (argiloferranes) et de ferriargilanes et papules de diffé-

rentes tailles, rares mais toujours situés dans des plages en discontinuité avec le fond matriciel porphyrosquelique.

Le matériel de départ est un grès arkosique argileux, provenant d'une arène peu éloignée. Il correspond à un horizon C.

Lame 115

Cette lame est taillée dans le sommet du niveau 3, où le matériel initial est entièrement repris, réorganisé ; l'assemblage est porphyrosquelique, le fond matriciel présente un plasma brun-rouge squeletérique et argilosépique. Le squelette, plus abondant que dans l'horizon inférieur, est entièrement porphyrosquelique. Les quartz sont le plus souvent corrodés, les feldspaths potassiques très altérés et il n'y a plus de plagioclases reconnaissables. Les vides, peu nombreux, sont fissurés. Les traits pédologiques sont très abondants : grande concentration plasmique des argilanes et ferriargilanes goethitiques formant des papules de différentes tailles ; concrétions qui sont des argilanes concentriques autour d'un nucleus, d'un grain de quartz ou de feldspath (Pl. I, 3) ; enfin, nodules simples ou complexes (Pl. I, 4), plus gros, renfermant des papules et des concrétions.

Le niveau 3, montrant une réorganisation du fond matriciel et la présence de traits pédologiques très abondants, est marqué par l'altération et la rubéfaction ; il correspond à un horizon B.

Lame 116

La lame indique que, vers le milieu du niveau 2, le matériel présente un assemblage intertextique à porphyrosquelique, et qu'en général il ne se différencie du niveau inférieur (lame 115) que par la grande abondance de vides, qui sont surtout des lacunes vacuolaires (40 à 50 %). Ces vides perturbent l'arrangement initial, isolent des îlots de fond matriciel et libèrent les quartz du squelette.

Le niveau 2 est caractérisé par le soutirage du plasma par des plages d'horizon A₂ ; il peut être assimilé à un horizon A₂(B).

Lame 117

Cette lame révèle qu'au sommet du niveau 2, les caractéristiques sont très voisines, mais les vides sont moins nombreux (20 %) et les fissures et lacunes ne sont pas jointives (Pl. I, 5). Ici peut être observé le début du lessivage décrit pour le niveau précédent.

Le sommet du niveau 2 représente le tout début d'un horizon A₂, qui sera appelé (A₂B).

Lame 118

Cette lame correspond au niveau 1, caractérisé par des zones gris-jaune et des zones rouges, et qui présente sensiblement le même assemblage que le niveau sous-jacent, ainsi qu'un plasma coloré en rouge (80 %) et en gris-jaune pâle (20 %). Des plages de plasma gris recoupent le plasma rouge, et des îlots constitués de papules et de nodules rouges subsistent dans le plasma gris. En lumière réfléchie, des halos de leucoxène peuvent être observés autour des grains et nodules dans les zones grises. Ces différents caractères montrent que la couleur gris-jaune est secondaire par rapport au rouge et provient d'une phase chimique de réduction du fer des argiloferranes.

Le niveau 1 correspond à un horizon A₁₂.

En conclusion, cet ensemble peut être considéré comme un profil résultant d'une pédogenèse rubéfiante appliquée à un sable argileux feldspathique ; une deuxième évolution s'est surimposée et est caractérisée par la réduction et la décoloration de l'horizon supérieur. A la fin de l'exondation, un épisode érosif a tronqué le sommet du profil ; en effet, on ne retrouve pas l'horizon humifère initial.

La suite des horizons serait donc la suivante : A₁₂ - (A₂B) - A₂(B) - B - C.

3. Analyses de laboratoire

a) Analyses minéralogiques

Les teneurs en quartz, feldspaths et argiles de la roche totale ont été calculées grâce à la méthode des poudres désorientées et les proportions des différents minéraux argileux estimées par examen de pâtes de matériel inférieur à $2\ \mu\text{m}$ orienté (tabl. I).

Tableau I
Dosage quantitatif du quartz et des feldspaths. Estimation des argiles

N° éch.	horizon	Q	F	indosés	kaolinite	illite	smectite
118	A ₁ 2	50	6	44	55	20	25
117	(A ₂ B)	49	6	45	64	16	20
116	A ₂ (B)	40	11	49	47	23	30
115	B	40	9	51	54	10	36
114	C	24	17	62	25	15	60

Les échantillons 115 (sommet du niveau 3), 116 et 117 (niveau 2), et 118 (niveau 1) comportent plus de quartz, moins de feldspath et moins d'argile que l'échantillon 114 (niveau 4, matériel de départ non altéré). Simultanément, de la kaolinite apparaît dans ces horizons et constitue le minéral argileux prédominant.

b) Analyses pédologiques

Granulométrie des sables

La similitude des courbes granulométriques obtenues à des niveaux différents de ce profil (fig. 1) est un argument montrant l'homogénéité de tout ce matériel.

Granulométrie de la terre fine

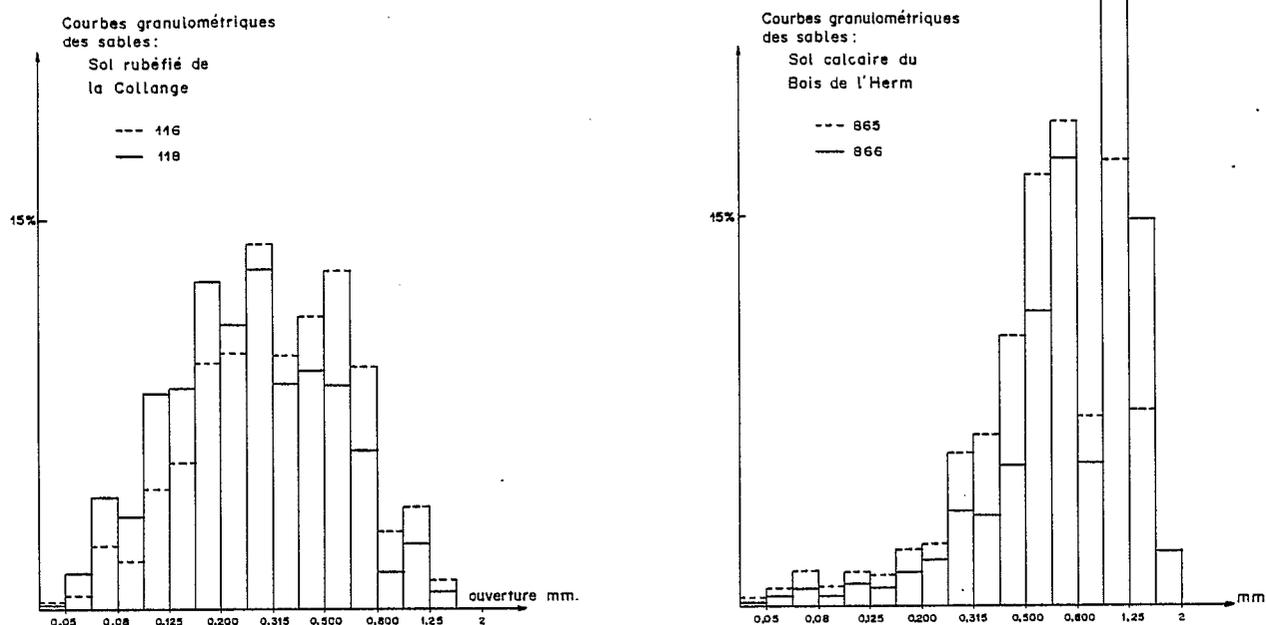
Les analyses granulométriques de la terre fine montrent, en particulier, que l'évolution du pourcentage de la fraction argileuse ($0-2\ \mu\text{m}$) est en très bon accord avec les observations de micromorphologie. Elles indiquent, en effet, une diminution importante de la proportion d'argile dans les niveaux altérés (tabl. II).

Tableau II
Pourcentage de la fraction inférieure à $2\ \mu\text{m}$

N° éch.	114	115	116	117	118
($0-2\ \mu\text{m}$) %	50	27	16	17	26

D'après les résultats des tableaux I et II, on observe une diminution du pourcentage d'argile dans tous les horizons situés au-dessus du matériel de départ, avec une diminution très préférentielle des smectites. La chute plus importante du taux d'argile dans les échantillons 116 et 117 incline à penser, comme les observations micromorphologiques le laissent supposer, que l'on a affaire ici à des horizons A₂.

Figure 1



Etude du complexe absorbant

L'étude des valeurs en Ca, Mg, K et Na échangeables fait apparaître une désaturation importante des échantillons 115, 116, 117 et 118 par rapport à l'échantillon 114 (tabl. III).

Tableau III
Teneurs en bases échangeables

N° échantillon	114	115	116	117	118
horizon	C	B	A ₂ (B)	(A ₂ B)	A ₁₂
ions extractibles (méc/100 g de sol sec)					
Ca ⁺⁺	12,62	3,62	3,75	3,87	4,25
Mg ⁺⁺	7,00	2,06	2,13	2,00	2,38
Na ⁺	0,61	0,34	0,30	0,29	0,33
K ⁺	0,16	0,14	0,12	0,13	0,13
Total = S	20,39	6,16	6,30	6,29	7,09

L'examen des tableaux II et III permet d'observer que, s'il y a diminution de 20 à 30 % de la proportion d'argile, il y a diminution de 70 % de la teneur en bases échangeables : cette désaturation traduit le relais des smectites par la kaolinite dans les horizons altérés, ainsi que la diminution absolue du taux d'argile.

Répartition et comportement du fer (tabl. IV)

Tableau IV
Le fer dans les différents niveaux du profil

N° échantillon	114	115	116	117	118	
horizon	C	B	A ₂ (B)	(A ₂ B)	A ₁₂	
fer total, analyse chimique fusion alcaline	1	5,0	2,60	2,5	2,5	3,8
fer total extractible HCl	2	3,32	1,95	2,07	2,40	2,95
fer extractible UV (DEENOREDY)	3	1,14	1,57	1,69	2,08	2,04
rapport 3/1		0,228	0,604	0,675	0,833	0,537
rapport 3/2		0,34	0,81	0,82	0,87	0,69
rapport 2/1		0,67	0,75	0,83	0,96	0,78

A la lecture du tableau IV, on peut faire les observations suivantes.

1. De l'horizon C (échantillon 114) à l'horizon A₁₂ (échantillon 118), il y a diminution du fer total. Etant donné la rareté des micas et des minéraux ferro-magnésiens en général, dans l'échantillon 114, cette diminution peut être expliquée par le relais de smectites de type alumino-ferrique par la kaolinite qui ne contient pas de fer dans son réseau.

2. Il y a augmentation du fer très facilement extractible (3) ou «fer libre» dans les niveaux soumis à l'altération pédogénétique. Ce fer qui se présente sous forme de goëthite et d'hydroxydes très hydratés est en grande partie responsable de la coloration rouge des niveaux correspondant aux échantillons 115, 116 et 117 : il est en très faible quantité, mais forme un revêtement, une «peinture» sur les argiles et les détritiques. Les rapports fer «libre» / fer total et fer total extractible / fer total traduisent globalement le même phénomène, c'est-à-dire l'accroissement du fer libre par rapport au fer fortement retenu vers le haut du profil.

4. Conclusion

Les observations de terrain, les descriptions micromorphologiques et les analyses de laboratoire nous permettent de faire les propositions suivantes.

1. Les niveaux rouges de La Collange constituent un profil pédologique.
2. Ce profil pédologique, raviné et tronqué puisqu'il y manque l'horizon humifère, est en place et correspond à une surface topographique exondée attribuée au début du Stampien.
3. La pédogenèse qui a donné naissance au profil étudié ici était intense, type kaolinisante et rubéfiante.
4. Cette pédogenèse comporte un lessivage mécanique des argiles, mais aussi une destruction des minéraux argileux, en particulier celle des smectites. Les éléments libérés par cette destruction sont en partie évacués et en partie recombinaison : silice et alumine engendrent la kaolinite ; de faibles quantités de silice peuvent apparaître sous forme d'opaïe CT dans les «coiffes» de nodules à la base du profil ; une partie du fer libéré à partir des réseaux de smectite s'individualise sous forme d'hydroxydes très hydratés de revêtement.
5. Le profil étudié peut être classé parmi les sols fersiallitiques.

II — LE PALÉOSOL CALCAIRE

1. Description

Environ 1 km en aval, au Bois-de-l'Herm, la Laussonne entaille des sables gris et beiges, sur une vingtaine de mètres de hauteur, formant une falaise subverticale (Pl. II, 1). Sur le front de taille de cette falaise, on peut caractériser toute une succession de profils pédologiques plus ou moins complets et ravinés. Du bas de la falaise vers le haut, les individualisations calcaires sont de plus en plus importantes et se terminent par un véritable encroûtement calcaire.

Le profil étudié ici (Pl. II, 2) est pris à la base de la falaise, à environ 4 à 5 m du lit mineur de la Laussonne. L'horizon supérieur est légèrement raviné par un chenal de sable blanc.

0 - 18 cm, niveau 1 : gris à gris pâle (5Y 5/1 à 5Y 6/1), légèrement humifère, à passées biologiques crème et blanches, verticales, et à rares marmorisations ocre. Texture argilo-limoneuse. Structure polyédrique moyenne à fine, très anguleuse, bien développée. Cohésion d'ensemble faible, cohésion des mottes un peu plus forte. Porosité fine faible. Passage rapide, plan à légèrement ondulé, au niveau suivant.

18 - 41 cm, niveau 2 : gris-blanc (5Y 6/1 à 5Y 7/1), à ségrégations calcaires blanches et légères marmorisations ocre plus nombreuses. Même texture, mais structure polyédrique moins bien développée. Cohésion d'ensemble assez forte, cohésion des mottes forte, devenant très forte en sec. Porosité fine très faible. Ségrégations calcaires diffuses et en amas friables, localisées surtout dans les fissures verticales, mais aussi en ponctuations dans la masse. Frais. Passage très rapide et plan au niveau suivant.

41 - 61 cm, niveau 3 : même couleur, mais plus blanc (5Y 8/1 à 5Y 8/2), cendreuse. Même texture, mais un peu moins argileux. La fraction sableuse très grossière est constituée de quartz anguleux et de feldspaths blanc crayeux de plusieurs millimètres. Structure polyédrique moyenne faiblement développée, localement particulière. Porosité fine moyenne à faible. Pas de racines. Nodules calcaires blanc-crème très abondants, de 2 à 3 cm de haut et 1 cm de diamètre, verticaux, tubéreux, devenant coalescents localement, ce qui détermine alors un encroûtement discontinu. Limite tranchée peu ondulée.

61 - 94 cm, niveau 4 : sables très peu argileux, blanc-beige (5Y 7/2 ; 5Y 8/3), à structure particulière, très feldspathiques. Humide. Quelques fines racines actuelles. La limite inférieure tranchée est en discordance de ravinement avec le niveau sablo-argileux sous-jacent.

Les observations permettent d'assimiler les niveaux 1, 2, 3 et 4 à une suite d'horizons A, (ABC_a), (B)_{Ca} et C correspondant à un sol calcimorphe.

2. Etude micromorphologique

Niveau 2 - horizon (ABC_a)

Dans cette lame de matériel argilo-sableux, la calcite se manifeste de façons diverses.

- Elle forme des plages de micrite qui semblent se développer au détriment de la matrice argileuse.
- Dans d'autres zones, elle consiste en une très fine micrite constituant des micronodules primaires : c'est le début de la nodulification (Pl. II, 3).
- De nombreuses formes rondes, ovales ou tubulaires, constituées de microsparite ou de sparite entourée de micrite brune en lumière naturelle, pourraient correspondre à des manchons racinaires (Pl. II, 4, 5).
- De la microsparite borde le plus souvent les détritiques ; parfois, elle se trouve développée entre les éléments de grains de quartz « éclatés ».

De nombreux grains de quartz et feldspaths noyés dans la matrice calcitique ou argileuse présentent un aspect corrodé, alors que des grains voisins sont parfaitement intacts.

Niveau 3 - horizon (B)Ca

La lame, taillée dans un nodule, permet d'observer, dans sa plus grande partie, des micronodules primaires de micrite relativement sombre pris dans une matrice micritique plus claire. Les fissures entourant les micronodules lors de leur individualisation sont le plus souvent colmatées par de la microsparite.

Dans certaines zones, de petits blocs micritiques, contenant ou non des micronodules, présentent un aspect microbréchiq. Dans certains cas, ces blocs semblent être un peu déplacés et « tombés » dans des fentes de dissolution (Pl. II, 6) ou microkarsts existant à l'intérieur du nodule et qui sont colmatés par de la microsparite. Dans d'autres cas, il est possible qu'il n'y ait que de simples tassements dans le nodule, entraînant la formation de cette pseudobrèche.

Notons encore que les détritiques sont rares à l'intérieur du nodule et repoussés vers la périphérie ; ils sont fortement corrodés par la calcite qui se présente alors à leur contact sous forme de microsparite bien cristallisée ou sous forme de micrite.

3. Analyses de laboratoire

a) Analyses minéralogiques

Le quartz, les feldspaths et la calcite sont dosés en % de la roche totale (WEBER et LARQUÉ, 1973) et les valeurs indiquées pour la kaolinite, l'illite et les smectites sont les hauteurs rapportées à 100 du pic principal de ces minéraux, hauteurs calculées sur les diagrammes réalisés sur pâte orientée de la fraction inférieure à 2 μm (tabl. V).

Tableau V
Dosage quantitatif du quartz, des feldspaths et de la calcite. Estimation des argiles

N° éch.	horizon	Q	F	C	indosés	kaolinite	illite	smectite
863	A	30	21	4	45	10	16	74
864	(ABCa)	29	18	8	45	10	16	74
865	(B)Ca	18	15	31	36	13	10	77
866	C	40	37	5	18	15	12	73

La proportion de feldspaths, égale à celle du quartz à la base du profil (éch. 866, horizon C), diminue beaucoup dans les autres horizons. Les feldspaths sont altérés par la pédogenèse mais ici, nous ne voyons pas s'accroître simultanément la proportion de kaolinite comme dans le sol rubéfié décrit précédemment : il y a augmentation de la quantité absolue d'argile au détriment des feldspaths et diminution de la proportion de kaolinite dans la fraction argileuse ; au total, la proportion de smectite dans la roche s'accroît. La calcite, très peu importante dans ces sables, augmente dans les échantillons 864 et surtout 865 (horizons (ABCa) et (B)Ca).

*b) Analyses pédologiques**Granulométrie des sables*

Les courbes granulométriques obtenues pour les échantillons 866 et 865, horizons C et (B)Ca, sont très voisines, en dépit des différences importantes de proportions des détritiques dans la roche (77 % pour 866 et 33 % pour 865) (fig. 1) ; ceci montre une très bonne homogénéité du matériel à partir duquel s'est développé le profil.

Granulométrie de la terre fine (tabl. VI)

On peut noter une nette augmentation de la fraction argileuse de la base du profil jusqu'à sa partie supérieure. Ce sol s'étant développé à partir d'un matériau homogène, cet accroissement de l'argile vers le haut est à mettre au compte de l'altération qui transforme les minéraux primaires en produits secondaires argileux.

Tableau VI
Pourcentage de la fraction inférieure à 2 μ m

N° éch.	866	865	864	863
(0-2 μ m)%	14,6	36,5	40,3	43,0

Etudes chimiques

1. Les résultats du dosage des bases échangeables sont donnés au tableau VII dont la lecture permet deux remarques.

— Le complexe adsorbant est essentiellement dominé par le calcium.

— La somme des cations est plus élevée dans les horizons supérieurs que dans le matériel originel. Le maximum est atteint dans l'encroûtement calcaire (B)_{Ca} (éch. 865).

Tableau VII
Teneurs en bases échangeables Ca, Mg, K et Na

N° échantillon	866	865	864	863
horizon	C	(B) _{Ca}	(AB) _{Ca}	A
ions extractibles (még/100 g de sol sec)				
Ca ⁺⁺	18,25	26,25	21,25	21,75
Mg ⁺⁺	1,25	3,25	3,88	3,75
K ⁺ + Na ⁺	0,47	0,75	0,64	0,78
Total = S	19,37	30,25	25,77	26,28

2. Le dosage du CaCO₃ total indique également une très nette décarbonatation de l'horizon supérieur du profil (éch. 863) et, au contraire, une forte accumulation dans l'horizon B_{Ca} (éch. 865) (tabl. VIII).

Tableau VIII
Dosage du CaCO₃ total

N° échantillon	866	865	864	863
horizon	C	(B) _{Ca}	(AB) _{Ca}	A
CaCO ₃ total				
10 ⁻³ du sol sec	31,6	243,2	31,6	0,7

3. La matière organique est peu abondante, — et ceci est probablement dû au fait que le sol a continué à évoluer après son recouvrement —, mais ses variations dans le profil sont caractéristiques (tabl. IX). En effet, il y a décroissance du taux de matière organique totale du haut du profil (éch. 863) vers le bas (éch. 865), l'échantillon 866 étant considéré comme le sédiment originel non altéré. Il y a également diminution lente du rapport C/N, de la matière humique totale, des acides humiques, des acides fulviques et du taux d'humidification : ce sol présente donc une nette tendance isohumique.

Tableau IX
Dosage de la matière organique

N° éch.	866	865	864	863
horizon	C	(B)Ca	(AB)Ca	A
C	1,64		1,32	4,00
N	0,04		0,09	0,16
C/N	—		14,7	25,00

4. Conclusion

Les différentes caractéristiques morphologiques, minéralogiques et chimiques de ce paléosol calcaire amènent à le classer dans la catégorie des sols calcimorphes de type rendzine.

Les conditions favorables à la formation de tels sols se sont vraisemblablement prolongées, puisque nous pouvons observer, superposés, environ une dizaine de ces «sols» dont la plupart sont tronqués. Le concrétionnement calcaire est plus développé dans les niveaux supérieurs, où les concrétions peuvent atteindre une dizaine de centimètres de diamètre et finissent même par former un encroûtement de calcaire gréseux, dans les ultimes niveaux observables de cet affleurement.

En aval, des marmorisations et des concrétionnements calcaires peuvent être observés dans tous les affleurements; tous ces dépôts ont été tantôt exondés et soumis à la pédogenèse, tantôt inondés, ravinés et recouverts par de nouveaux sédiments.

III — CONCLUSION GÉNÉRALE

Deux exemples de paléosols viennent d'être présentés. Une étude micromorphologique, minéralogique et physico-chimique permet de ranger, tels qu'ils nous apparaissent aujourd'hui, le paléosol rubéfié de La Collange - Besseyre-Basse dans la catégorie des sols fersiallitiques et le paléosol du Bois-de-l'Herm parmi les sols calcimorphes de type rendzine.

Il est intéressant de constater que, dans un intervalle de temps assez court, dans des conditions topographiques très voisines d'épandage fluviale, sur des matériaux presque identiques, ces deux types de paléosols se relaient.

Ce relais devrait pouvoir être expliqué par un changement climatique : les sols fersiallitiques se seraient formés sous un climat méditerranéen à subtropical et auraient été relayés par des sols calcimorphes, par suite de l'aridification du climat (RUELLAN, 1970). On peut aussi invoquer des variations locales stationnelles. En effet, il ne faut pas oublier que, si les conditions topographiques dans lesquelles ont pu se déposer les sédiments et se former ces deux paléosols paraissent très semblables, le sol calcaire est cependant situé à un kilomètre en aval du sol rouge, dans une position plus basse : les premiers affleurements de calcaire, témoins de la présence du lac stampien, ne sont situés qu'à environ un kilomètre et demi en aval.

Le changement climatique évoqué ci-dessus s'inscrit cependant bien dans le sens de l'évolution climatique décrite dans le Massif Central, comme dans le Bassin Parisien, au cours de cette période (CHATEAUNEUF, 1980). Tropical au Ludien inférieur, le climat tend à devenir subtropical au cours du Ludien et à se rafraîchir au Stampien inférieur, l'humidité décroissant progressivement.

Manuscrit déposé le 20 mai 1980

Summary

At the lower part of the Stampian sediments of the Puy-en-Velay basin (french «Massif Central»), in clayed sands, two types of paleoweathering are studied. The macroscopic observations and the micromorphological, mineralogical and physico-chemical studies of the profiles permit the authors to suggest that the latter represent autochthonous paleoweatherings. The reddening paleosol from La Collange - Besseyre-Basse can be classified among fersiallitic soils and the paleosol from Bois-de-l'Herm among calcimorphic soils. The succession of these two different weathering types fits in with the great climatic variations of this period but it is not definitively excluded that it might be a result from variations in local conditions.

Zusammenfassung

Aus dem Becken von Le Puy-en-Velay (französisches Zentralmassiv) wurden zwei Formen tertiärer Verwitterung untersucht, die sich im Bereich toniger Sande nahe der Basis der Sedimente des Stampien befinden. Die makroskopischen Beobachtungen der Profile und die mikromorphologischen, mineralogischen und physiko-chemischen Untersuchungen erlauben die Feststellung, dass diese Profile *in situ* Paläoböden darstellen: der rotgefärbte Paläoboden von La Collange - Besseyre-Basse kann in die Kategorie der fersiallitischen Böden eingeordnet werden und der von Bois-de-l'Herm unter die kalzimorphen Böden. Die Aneinanderfolge dieser beiden unterschiedlichen Verwitterungsformen steht im Einklang mit den grossen klimatischen Veränderungen jener Zeit, jedoch kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass der unterschiedliche Verwitterungsgrad durch unterschiedliche Standorte hervorgerufen wurde.

BIBLIOGRAPHIE

- BOULE M. (1892) — Description géologique du Velay. *Bull. Serv. Carte Géol. France*, 28, 4, 256 p.
- CHATEAUNEUF J.J. (1980) — Palynostratigraphie et paléoclimatologie de l'Eocène supérieur et de l'Oligocène du Bassin de Paris. Thèse Sci., Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, 383 p., multigr.
- GABIS V. (1963) — Etude minéralogique et géochimique de la série sédimentaire oligocène du Velay. *Bull. Soc. franç. Minéral. Cristallogr.*, LXXXVI, p. 315 - 354.
- LARQUÉ Ph. et WEBER F. (1978) — Séquences sédimentaires et lithostratigraphie de la série paléogène du Velay. *Sci. Géol., Bull.*, 31, 4, p. 151 - 155.
- RUELLAN A. (1970) — Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes: les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya (Maroc oriental). Thèse Sci., Strasbourg et *Mém. ORSTOM*, 54, (1971), 302 p.
- SAPORTA G. de (1870) — Remarques sur la flore des arkoses de Brives. *Bull. Soc. Géol. France*, (2), XXVI, p. 1078.
- WEBER F. et LARQUÉ Ph. (1973) — Mise au point d'une méthode d'analyse minéralogique quantitative par diffraction des rayons X. *Analisis*, 2, 1, p. 15 - 29.

PLANCHE I

LE PALEOSOL RUBÉFIÉ DE LA COLLANGE

- 1 — Bloc noduleux induré formant surface d'érosion à La Collange
- 2 — Profil étudié dans une coupe vive des sables
- 3 — Lamelle 115. Concrétion formée d'argilanes concentriques autour d'un nucleus feldspathique. L.N. x 150
- 4 — Lamelle 115. Nodule complexe renfermant des papules d'argile et des quartz très corrodés pris dans un plasma d'argile goethitique. L.N. x 150
- 5 — Lamelle 117. Lacunes contenant dans des golfes des argiles illuviées (fléchées sur la photo). L.N. x 150 (horizon (A₂B))

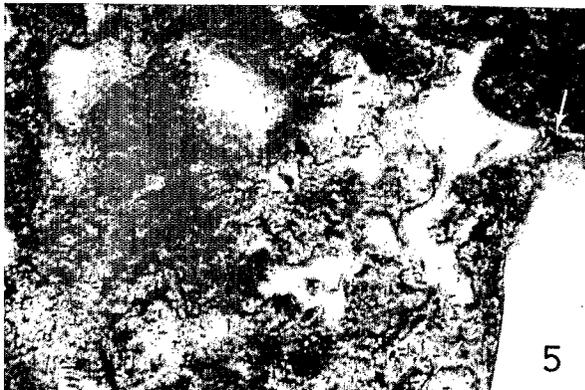
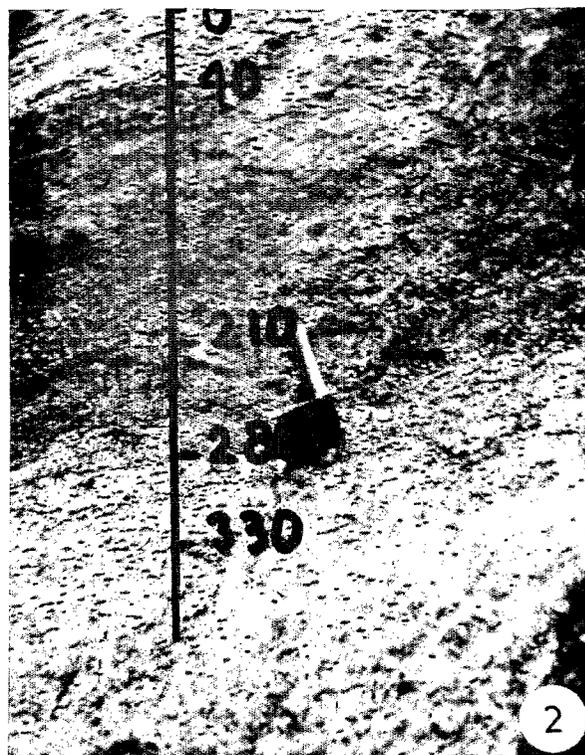


PLANCHE II

LE PALÉOSOL CALCAIRE DU BOIS-DE-L'HERM

- 1 — Affleurement du Bois-de-l'Herm : succession de profils, ravinements
- 2 — Le profil étudié, situé à la base de l'affleurement
- 3 — Dans l'horizon (ABC_a), micronodules de micrite sombre : début de la nodulification. L.N. x 70
- 4 — Manchon racinaire dans une plage de micrite : une auréole de très fine micrite brune est bordée de microsparite; le méat central est calcitisé en micrite. L.N. x 70
- 5 — Fin manchon racinaire de micrite brune dans lequel l'intérieur est cristallisé en sparite. L.N. x 70
- 6 — Horizon (B)_{C_a}. Fissures colmatées par de la microsparite. Les parties les plus sombres sont micritiques. L.N. x 70

