

# PRESENCE DE SOLS PODZOLISES A HORIZONS Bh ET Bs INVERSES SUR LE PLATEAU DE MILLEVACHES (MASSIF CENTRAL, FRANCE)

D. RIGHI <sup>(1)</sup> et J.-P. BOROT <sup>(1)</sup>

## RÉSUMÉ

*Des sols à horizon Bh noir surmonté d'un horizon Bs ocre ont été observés sur des surfaces subsommitales du Plateau de Millevaches (Massif Central, France). Les produits amorphes dans les horizons Bh sont organiques et alumineux, alors que les horizons Bs contiennent matière organique, fer, aluminium et silice amorphes. Ces deux types d'horizons se développent dans des matériaux plus ou moins différents au plan granulométrique. La formation de ces sols ferait appel à plusieurs phases pédogénétiques. Une première phase de podzolisation accentuée serait à l'origine des horizons Bh, ceux-ci sont ensuite recouverts par de nouveaux matériaux colluvionnés dans lesquels se développe une phase de podzolisation modérée ou commençante à l'origine des horizons Bs.*

## INTRODUCTION

Sur le Plateau de Millevaches, à l'ouest du Massif Central, on observe quelquefois des sols présentant une succession particulière et inhabituelle d'horizons. Aux horizons A1 humifères succède un horizon ocre, ferrifère, qui sera appelé Bs, lui-même surmontant un horizon noir humifère dénommé Bh. Cette disposition est l'inverse de celle observée habituellement dans les sols podzolisés où les horizons Bh plus humifères sont situés au-dessus des horizons Bs moins organiques mais riches en sesquioxydes.

Des sols présentant cette morphologie ont été également décrits dans le massif de l'Aigoual (LOSSAINT *et al.*, 1969 ; PLANCHAIS, 1973 ; WAREMBOURG *et al.*, 1973) ; il ne s'agit donc pas de sols exceptionnels ou anecdotiques, mais de témoins de phénomènes pédogénétiques ayant ou ayant eu une expansion spatiale importante.

LEGROS (1982) a rassemblé les différentes hypothèses qui ont été émises pour expliquer la formation de ces sols :

- 1° Recouvrement d'un ranker par colluvionnement, puis différenciation d'un sol ocre podzolique dans le matériel frais ainsi apporté.
- 2° Nouveau type de pédogenèse, non encore décrit jusqu'à présent, conduisant à l'apparition d'un Bh noir en dessous du Bfe.
- 3° Intervention d'un changement de végétation provoquant la minéralisation partielle et l'évolution du sol cryptopodzolique humifère vers le type ocre podzolique. Seule la matière organique de la base du profil subsisterait par suite d'une protection exercée par l'aluminium.

(1) Laboratoire de Pédologie, U.A. 721 du CNRS « Pédologie, Pétrologie et Métallogénie de la Surface », Faculté des Sciences, Université de Poitiers, 86022 POITIERS CEDEX.

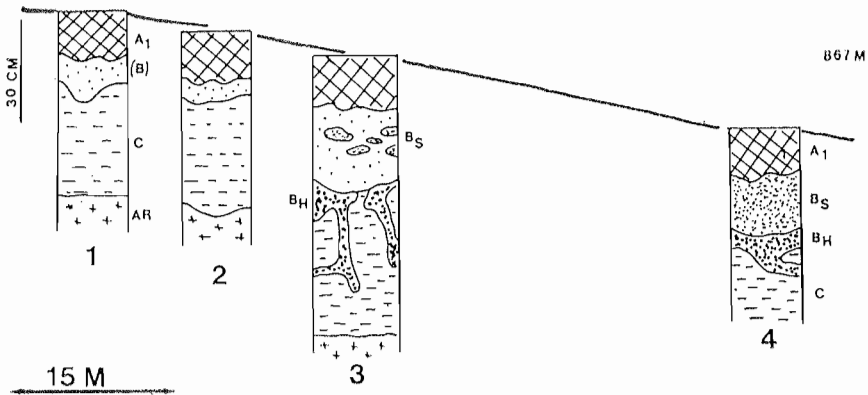
Nous présenterons ici l'étude d'une courte toposéquence comprenant ces sols particulier et nous tenterons d'expliquer leur genèse.

## I. PRÉSENTATION DE LA SEQUENCE ETUDIÉE

La séquence étudiée (fig. 1) est située sur un replat subhorizontal en haut de pente : c'est la position topographique caractéristique des sols à Bh et Bs inversés.

Le secteur choisi a fait l'objet d'une prospection détaillée sur une superficie d'environ 2 hectares, à raison d'un sondage tous les 2 mètres. A la suite de cette prospection, 4 sols ont été retenus ; ils forment une courte toposéquence d'une cinquantaine de mètres de long pour un dénivelé de 5 mètres environ.

872 M



**Figure 1 : Position topographique et caractères morphologiques des sols étudiés.**  
*Topographic situation and morphological charecters of the studied soils.*

Les 4 sols étudiés s'apparentent aux sols bruns acides, bruns ocreux et ocre podzolique, dans la mesure où l'on ne tient pas compte de la situation particulière des horizons Bh. Nous donnerons succinctement leurs principales caractéristiques morphologiques.

**Profil 1 :** sol brun ocreux avec la succession d'horizons suivants : A1, (B), C, arène. L'horizon (B), brun foncé (7,5 YR 3/2, humide) a une structure microagrégée. La dénomination de sol brun ocreux est donnée sur la base de la redistribution de l'aluminium.

**Profil 2 :** sol brun acide : A1, (B), C, arène. L'horizon (B), brun foncé (7,5 YR 3/2, humide) a une structure polyédrique subanguleuse à sous-structure grumeleuse.

**Profil 3 :** sol brun ocreux à profil complexe : A1, (B), Bs, Bh, C. L'horizon Bs brun rougeâtre foncé (5 YR 3/3, humide), microagrégé, est discontinu et sous forme de poches d'une dizaine de centimètres d'épaisseur incluses dans la partie supérieure de l'horizon (B), brun foncé (7,5 YR 3/2, humide) à structure subpolyédrique. L'horizon Bh, brun rougeâtre foncé (5 YR 3/2, humide), subpolyédrique, est également discontinu, recoupant l'horizon C sous-jacent.

**Profil 4 :** sol ocre podzolique à horizon Bh inversé : A1, Bs, Bh, C. L'horizon Bs brun-rougeâtre (5 YR 3/4, humide), microagrégé, occupe la partie médiane du profil. L'horizon Bh brun-rougeâtre foncé (5 YR 3/2, humide), subpolyédrique, est continu mais irrégulier.

Ce sont des sols acides (PH eau = 4,5 à 5,5) avec un taux de saturation de la capacité d'échange très faible, inférieur à 5 %. Le cation échangeable dominant est  $Al^{3+}$  (1 à 10 méq/100 g de sol). Les horizons A1 sont humifères : 10 à 20 % de matière organique ; cette dernière a un rapport C/N bas : 10 à 15.

## II. ETUDE GRANULOMETRIQUE DES MATERIAUX : HOMOGENEITE DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE

L'étude granulométrique a été effectuée afin de contrôler l'homogénéité des matériaux dans lesquels se sont développés les sols. La texture de ces matériaux est sableuse (arène) à sablo-limoneuse et limono-sableuse (horizons (B) et Bs).

### A) Trajets granulométriques dans un triangle de textures

Positionnés dans un triangle textural (GEPPA), les horizons analysés dessinent deux trajets granulométriques distincts (fig. 2). Selon LEGROS (1982), l'allure de ces trajets est caractéristique d'un processus de fragmentation : la granulométrie des horizons est acquise par la division mécanique progressive des particules grossières des arènes granitiques. Cette fragmentation importante pourrait être le résultat des chocs mécaniques subis par les particules au cours d'un déplacement.

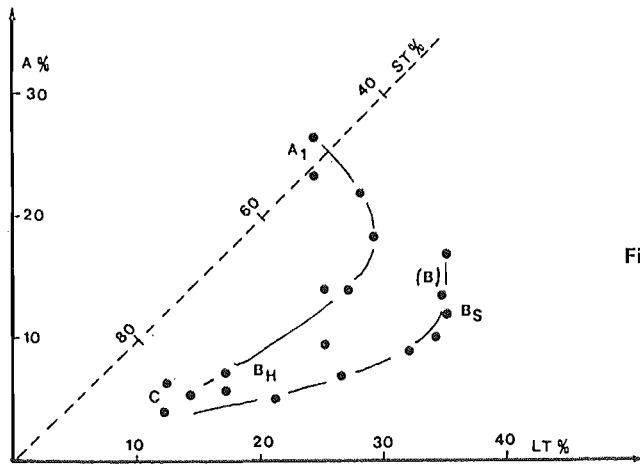


Figure 2 :

**Trajets granulométriques dans un triangle textural.**

*Changes in the particle size distribution.*

A : clay ; ST : total-sand ; LT : silt.

Bien que d'allure identique, le trajet conduisant des arènes aux horizons (B) et Bs est cependant nettement distinct de celui allant des arènes aux horizons A1. Il traduirait une fragmentation plus régulière, moins intense et affectant une proportion plus grande de particules.

En conclusion, les matériaux des différents horizons de la séquence étudiée proviennent tous de la fragmentation des sables de l'arène, mais les modalités de cette fragmentation seraient légèrement différentes pour le groupe des horizons (B) et Bs.

### B) Courbes granulométriques cumulatives

Les diagrammes obtenus pour les 4 sols analysés montrent, pour un sol donné, la présence systématique de deux familles de courbes (fig. 3) :

- la première famille est formée par des courbes de type concave ; ce sont celles des arènes, des horizons C et Bh des profils 3 et 4 ;
- la deuxième famille est celle des horizons (B), Bs, C (profils 1 et 2) et A1. Ces courbes ont une forme type « en palier ».

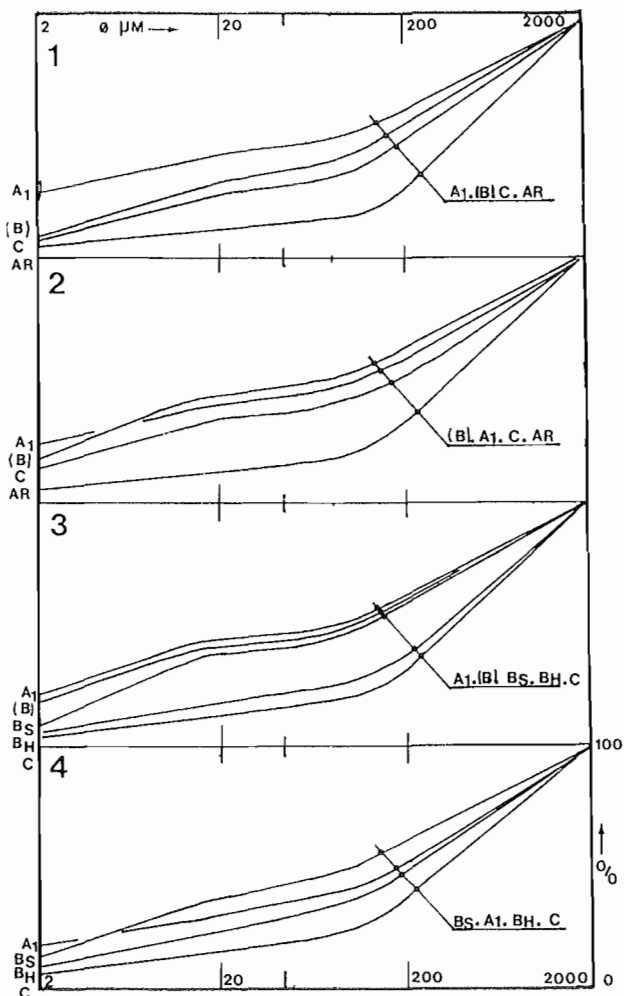


Figure 3 :

**Courbes granulométriques cumulatives**

*Cumulative particle size distribution curves.*

Selon LEGROS (1982), aucun des principaux processus de la pédogenèse (fragmentation, dissolution, illuviation, lavage) n'est susceptible de provoquer des changements de granulométrie conduisant à la transformation de courbes concaves en courbes « en palier ». Dans cette hypothèse, les horizons (B) et Bs ne pourraient donc pas provenir de la transformation des horizons C et arènes sous-jacents, ce qui implique alors la superposition de deux matériaux distincts, mis en place successivement.

D'autre part, l'inversion de l'ordre de succession des courbes granulométriques par rapport à l'ordre de succession des horizons traduirait, selon LELONG et SOUCHIER (1979), un phénomène de colluvionnement.

### C) Histogrammes de squelette granulométrique

L'homogénéité des matériaux au sein d'un solum peut également être testée au moyen des histogrammes de squelette (BAIZE, 1983) qui ne font intervenir que les fractions granulométriques grossières, l'argile étant exclue.

## SOLS PODZOLISÉS A HORIZONS Bh ET Bs INVERSÉS

Réalisés pour les 4 sols étudiés, les histogrammes de squelette montrent la présence de trois types de matériaux (fig. 4) :

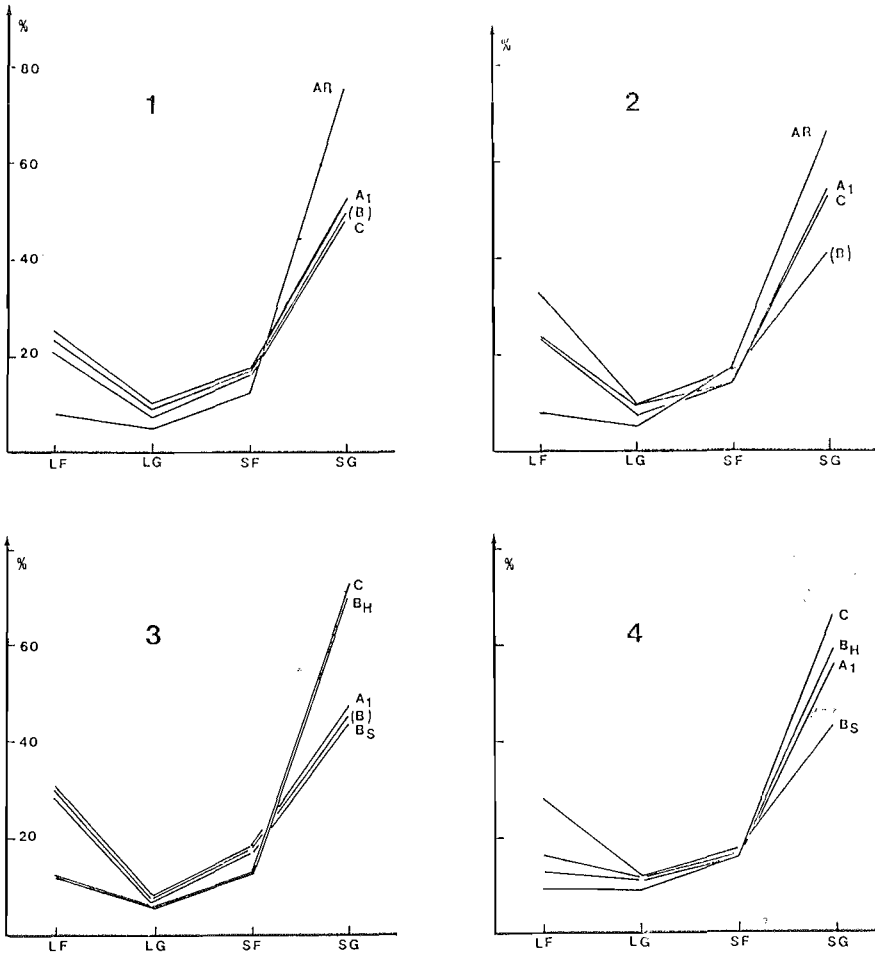


Figure 4 : Histogrammes de « squelette granulométrique ».

LF : limons fins ; SF : sables fins ; LG : limons grossiers ;  
 SG : sables grossiers.

« Granulometric skeleton » histograms.

LF : fine silt (2-20  $\mu\text{m}$ ) ; SF : fine sand (50-200  $\mu\text{m}$ ) ;

LG : coarse silt (20-50  $\mu\text{m}$ ) ; SG : coarse sand (200-2 000  $\mu\text{m}$ ).

- ceux du 1<sup>er</sup> type sont des sables grossiers ; ce sont les arènes et les horizons C et Bh des profils 3 et 4 ;
- le 2<sup>e</sup> type se distingue du précédent par une forte teneur en limons fins et une diminution corrélative du taux de sables grossiers ; ce sont les horizons (B) et Bs des profils 2, 3 et 4 ;
- le 3<sup>e</sup> type est intermédiaire entre les deux premiers : ce sont les horizons C des profils 1 et 2. Les différences portent toujours sur les teneurs en limons fins et en sables grossiers, les teneurs en limons grossiers et sables fins étant toujours faibles et pratiquement constantes.

Ces résultats confirment ceux obtenus avec les courbes granulométriques cumulatives :

- les matériaux du 1<sup>er</sup> type sont ceux qui présentent des courbes concaves ;
- les matériaux des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> types ont des courbes « en palier ».

## D) Synthèse de l'étude granulométrique

L'étude granulométrique révèle des discontinuités. Les variations granulométriques sont peu importantes, ce qui est logique. En effet, on se trouve au cœur d'une vaste plate-forme cristalline et tous les matériaux proviennent de la fragmentation des arènes granitiques et ont été redistribués, vraisemblablement sur de courtes distances, par des processus d'érosion et de colluvionnement. L'allochtonie de la partie supérieure du profil existe, mais elle n'a pas été perçue par les auteurs précédents, car difficile à démontrer.

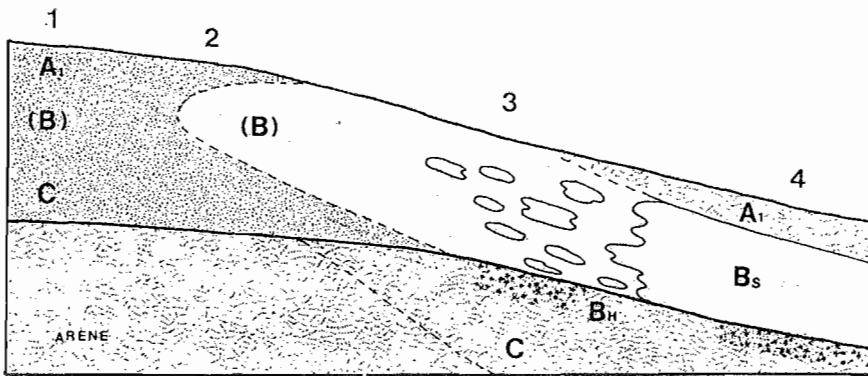


Figure 5 : Répartition des différents matériaux dans la toposéquence étudiée.  
*Spatial distribution of the different materials in the studied toposequence.*

Les horizons B<sub>H</sub> et B<sub>S</sub> des sols à B<sub>H</sub> et B<sub>S</sub> inversés sont développés dans deux matériaux distincts. La figure 5 indique leur distribution le long de la séquence étudiée.

## III. CARACTERISTIQUES DE LA MATIERE ORGANIQUE DES HORIZONS B<sub>H</sub>

L'étude granulométrique ayant montré la superposition de deux matériaux, les horizons organiques noirs profonds pourraient être, en réalité, d'anciens horizons A<sub>1</sub> remaniés et enfouis sous des colluvions. Pour vérifier ou réfuter cette hypothèse, nous avons effectué un fractionnement de la matière organique de ces horizons et comparé ses caractéristiques avec celles des horizons B<sub>S</sub> et A<sub>1</sub>.

### A) Méthodes

Les acides humiques (AH) et fulviques (AF) sont extraits par une solution 0,1 M de pyrophosphate Na ; la matière organique non transformée (MOF) est estimée par dissolution dans le bromure d'acétyle ; la fraction insoluble constitue l'humine (JAMBU, 1971).

## B) Résultats

La teneur en matière organique (tableau I) décroît avec la profondeur et les horizons Bh ont les teneurs les plus faibles. Ceci contredit l'hypothèse d'une minéralisation partielle en Bs suite à un changement de végétation.

**Tableau I : Fractionnement de la matière organique des horizons A1, Bs et Bh.**

*Table I : Fractionation of organic matter from A1, Bs and Bh horizons.*

<b>CE : carbone extractible</b>	<i>CE : extractable carbon</i>
<b>AF : acides fulviques</b>	<i>AF : fulvic acids</i>
<b>AH : acides humiques</b>	<i>AH : humic acids</i>
<b>HUM : humine</b>	<i>HUM : humin</i>
<b>MOF : matière organique non transformée</b>	<i>MOF : non transformed organic matter.</i>

Profils Horizons	C %(1)	C/N	CE(2)	AF(2)	AH(2)	HUM(2)	MOF(2)	AF/AH
A1	11,2	14	41,6	17,7	23,8	21,8	36,7	0,7
(3) Bs	5,4	12	51,2	29,4	21,8	17,6	31,2	1,3
Bh	2,9	17	75,6	40,9	34,7	19,6	4,8	1,2
A1	7,8	10	52,1	22,3	29,8	24,6	23,3	0,7
(4) Bs	5,2	19	54,3	40,7	13,6	14,1	31,6	3,0
Bh	4,6	20	66,2	39,4	26,6	17,0	17,0	1,5

Le rapport C/N des horizons Bh est plus élevé [17 à 20] que celui des horizons Bs ou A1. Les horizons Bs se distinguent également par un taux d'extraction (AH + AF) plus élevé et une teneur en matière organique non transformée (MOF) plus faible. Les AF y sont abondants, 40 % du carbone total. Ces caractéristiques sont incontestablement celles de matières organiques d'horizons Bh de podzols.

La matière organique des horizons Bs a des caractéristiques voisines, avec essentiellement une teneur plus élevée en MOF, liée à une colonisation racinaire plus abondante. Le taux d'AH est plus faible qu'en Bh. Comparées avec celles obtenues pour les horizons A1, ces données traduisent la redistribution des AF des horizons A1 vers les horizons Bs et Bh.

## IV. TENEURS EN Fe, Al et Si « EXTRACTIBLES »

Les horizons (B), Bs et Bh ont été ensuite comparés selon leur teneur en Fe, Al et Si « extractibles » dont la redistribution permet d'apprécier le développement du processus de podzolisation.

Les éléments sont extraits successivement par une solution de pyrophosphate de Na, 0,1 M (JEANROY, 1983), d'oxalate  $\text{NH}_4$  (SCHWERTMANN, 1964) et de citrate bicarbonate dithionite (MEHRA and JACKSON, 1960).

Les résultats sont donnés dans le tableau II. Les quantités maximales extraites (à l'oxalate pour Al et Si, au CBD pour Fe) séparent nettement les horizons (B), Bs et Bh :

- les horizons Bh ont très peu de fer extractible au CBD avec une teneur très inférieure à celle des horizons Bs et (B) ;
- les horizons Bh et Bs ont des teneurs en aluminium extractible à l'oxalate très voisines ; ces taux sont légèrement plus faibles dans les horizons (B) ;
- les horizons Bs montrent un taux de silice extractible à l'oxalate plus élevé que ceux des horizons (B) et Bh.

**Tableau II : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et SiO<sub>2</sub> extraits par différents réactifs (en p. cent de terre sèche à 105° C).**

*Table II : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> extracted by different reagents (p. cent of 105°C dry soil).*

**CBD : citrate bicarbonate dithionite**

**OX : oxalate d'ammonium**

**pyro : pyrophosphate de sodium**

Profils Horizons	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> pyro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> pyro/ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CBD	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CBD	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> OX	SiO <sub>2</sub> OX
1 (B)	0,20	0,33	0,60	1,63	0,38
2 (B)	0,70	0,58	1,20	1,40	0,59
3 (B)	0,39	0,53	0,73	1,07	0,46
3 Bs	0,96	0,74	1,29	1,36	0,52
4 Bs	1,02	0,72	1,42	2,53	0,94
3 Bh	0,29	0,67	0,43	1,50	0,36
4 Bh	0,33	0,67	0,49	2,35	0,53

Pour le fer, l'extraction par le pyrophosphate de Na permet de séparer les formes associées à la matière organique (complexes ou associations colloïdales) des formes cristallines ou amorphes non organiques. Dans les horizons Bh et Bs, les formes « organiques » du fer dominant (Fer pyro/fer CBD = 0,7); elles sont moins représentées dans les horizons (B) (Fer pyro/fer CBD = 0,3 à 0,6). Les formes organiques du fer sont les plus abondantes dans les horizons Bs.

En conclusion, si les horizons (B) ont des caractères d'horizon d'altération, Bs et Bh sont incontestablement des horizons spodiques. Cependant, ils ont des compositions nettement différentes :

- les Bh comprennent presque exclusivement matière organique et aluminium en tant que produits amorphes ;
- les Bs contiennent matière organique, fer, aluminium et silice amorphe.

Ils sont ou ont été le siège de dépôts de produits illuviaux différents, traduisant des pédogenèses ou des phases pédogénétiques différentes.

## V. DISCUSSION - CONCLUSION

Des sols présentant une morphologie comparable à celle de ceux que l'on vient de décrire ont été signalés par LOSSAINT *et al.* (1969) et WAREMBOURG *et al.* (1973) dans le massif du Mont Aigoual. A la ressemblance morphologique s'ajoutent les caractéristiques analytiques du complexe d'altération : les horizons noirs profonds sont également essentiellement alumineux. Il y a donc des indices pour envisager que des processus analogues sont à l'origine des sols du plateau de Millevaches et de ceux du Mont Aigoual.

La formation d'un horizon Bh alumineux à partir d'une roche-mère contenant des minéraux altérables ferrifères suppose l'intervention de plusieurs processus avec leurs conséquences sur l'organisation de la couverture pédologique :

- en présence d'une nappe phréatique acide et réductrice, le fer est exporté latéralement du fait de sa mobilité à l'état réduit; les horizons Bh sont alors essentiellement alumineux (RIGHI *et al.*, 1981);
- en milieu bien drainé, la formation d'un horizon spodique induré peut provoquer un engorgement temporaire à la partie supérieure de cet horizon, ce qui favorise une remobilisation du fer. Le résultat est l'apparition d'un microhorizon



ferrique (thin iron pan) situé sous un Bh alumineux (RIGHI *et al.*, 1982). Ces processus sont bien développés pour les podzols des climats très humides et frais (ANDERSON *et al.*, 1982).

En bref, la formation d'un horizon Bh uniquement alumineux nécessite l'exportation du fer, exportation rendue possible par la grande mobilité du fer à l'état réduit.

La superposition d'horizons observée ne semble donc pas pouvoir se justifier par le jeu des migrations différentielles, verticales ou latérales, du fer et de l'aluminium. L'étude de toposéquences montrant les passages latéraux entre horizons de sols bruns acides, sols ocre podzoliques et podzols (AUROUSSEAU, 1982) ne montre pas d'exemples d'inversion entre horizons Bs et Bh, en quelque position que ce soit de la toposéquence.

Les horizons alumineux se formant dans des sols dont la partie supérieure est fortement déferrifiée, la présence d'un horizon Bs riche en fer amorphe situé au-dessus des Bh noirs nécessite le remplacement de la partie supérieure du solum par de nouveaux matériaux contenant des minéraux altérables ferrifères : les résultats de l'étude granulométrique confirment cette hypothèse pour les sols du plateau de Millevaches. Pour les sols de l'Aigoual, une discontinuité granulométrique systématique n'a pas été mise en évidence. Il faut toutefois observer que les remaniements évoqués se font vraisemblablement sur des courtes distances avec des matériaux provenant tous d'arènes granitiques, donc granulométriques, très voisins.

En conclusion, au moins pour ceux du plateau de Millevaches, la formation des sols à horizons noirs alumineux pourrait se décrire comme suit : dans un premier matériaux, une phase de podzolisation a formé des horizons Bh caractérisés par une accumulation de matière organique et d'aluminium, ce qui traduit une podzolisation accentuée et/ou un pédoclimat très humide. Ces podzols sont ensuite partiellement érodés et recouverts de colluvions qui sont alors soumises à une podzolisation modérée. Celle-ci met en place des horizons Bs où s'accumulent matière organique, fer, aluminium et silice amorphe.

Reçu pour publication : mai 1985

Accepté pour publication : juin 1985

#### OCCURENCE OF PODZOLIC SOILS WITH REVERSED Bh AND Bs HORIZONS ON THE PLATEAU DE MILLEVACHES (MASSIF CENTRAL, FRANCE)

*Soils with an ochreous Bs horizon above a black Bh horizon have been observed on subsommital surfaces of the Plateau de Millevaches (fig. 1). Amorphous material in the Bh horizons are organic and aluminous (Table I). The Bs horizons contain organic matter, amorphous iron, aluminium and silica (Table II). These two types of horizons are developed in two different materials according to their particule size distribution (fig. 2, 3, 4).*

*The development of these soils involves more than one pedogenetic phase. A first phase would be a strong podzolization process leading to the formation of the black aluminous Bh horizons. Podzol profiles developed during this phase have been partially eroded and covered with new colluvial materials (fig. 5). A moderate podzolisation process, then affects these new materials leading to the formation of the Bs horizons.*

#### BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON M.A., BERROW M.L., FARMER V.C., HEPBURN A., RUSSELL J.D., WALKER A.D., 1982. — A reassessment of podzol formation processes. *Journal of Soil Science*, 33, pp. 125-136.
- AUROUSSEAU P., 1983. — Diagnostic properties and microfabrics of acid B horizons : comparisons with podzolic Bs, Cambic Bw and acid eluvial horizons, in *Soil Micromorphology*, vol. 2 : Soil genesis. Bullock P. and Murphy C.P. ad. AB Academic publishers, pp. 551-557.

- BAIZE D., 1981. — Les planosols de Champagne humide. Pédogenèse et fonctionnement. Thèse Doctorat ès Sciences naturelles, Université de Nancy I, 285 p.
- JAMBU P., 1971. — Contribution à l'étude de l'humification en milieu hydromorphe calcique. Les sols du marais poitevin. Thèse Doctorat ès Sciences naturelles, Université de Poitiers, 192 p.
- JEANROY E., 1983. — Diagnostic des formes du fer dans les pays tempérés. Evaluation par les réactifs chimiques d'extraction et apport de la spectrométrie Mössbauer. Thèse Université Nancy I, 186 p.
- LEGROS J.-P., 1982. — L'évolution granulométrique au cours de la pédogenèse. Approche par simulation sur ordinateur. Thèse Doctorat ès Sciences naturelles, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier II, 436 p.
- LELONG F. et SOUCHIER D., 1979. — Signification écologique du complexe d'altération. Importance relative des facteurs généraux et stationnels, in *Pédologie*, 2. Constituants et propriétés du sol. Bonneau M. et Souchier B., éd. Masson, Paris, pp. 73-96.
- LOSSAINT P., WAREMBOURG F. et BOTTNER P., 1969. — Note sur l'existence d'un sol ocre podzolique à horizon B2 noir alumineux dans les Cévennes méridionales siliceuses. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 269, D, 1621-1624.
- MEHRA O.P. and JACKSON M.L., 1960. — Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and clay miner.*, 7, 317-327.
- PLANCHAIS N., 1973. — Contribution à l'analyse pollinique des sols de l'Aigoual, étage du Hêtre et pelouse sommitale. *Pollen et Spores*, vol. XV, n° 2, pp. 293-309.
- RIGHI D., DUPUIS T., JAMBU P., 1981. — Dynamique du fer et de l'aluminium en milieu engorgé et podzolique. *C.R. Coll. int. CNRS « Migrations organo-minérales dans les sols tempérés »*, 57-64.
- RIGHI D., VAN RANST E., DE CONINCK F. and GUILLET B., 1982. — Microprobe study of a placohumod in the Antwerp Campine (N. Belgium). *Pédologie*, XXXII, 2, 117-134.
- SCHWERTMANN U., 1964. — Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat Lösung. *Zeitsch. Pflanzenern. Bodenk.* 98, 3, 197-203.
- WAREMBOURG F., LOSSAINT P. et BOTTNER P., 1973. — L'évolution des sols dans un séquence bioclimatique méditerranéo-montagnarde sur roche siliceuse. *Massif du Mont Aigoual. Sci. du Sol*, I, 49-62.