

# Genèse et évolution des sols podzolisés sur affleurements sableux du Bassin Parisien

## *I. - Rôle du matériau*

A.-M. ROBIN (1), B. GUILLET (2), F. DE CONINCK (3)

---

### SOMMAIRE

*L'étude des sols podzolisés du Bassin Parisien, sur roches mères sableuses et bien drainées, a permis de reconnaître quatre types principaux dont la genèse est liée essentiellement à la nature du matériau dans les cas extrêmes. Pour certains types intermédiaires, la végétation semble responsable de l'orientation de la pédogénèse.*

*Ces conclusions, ainsi que l'analyse de complexes organo-minéraux (cf. dans le même numéro : ROBIN et al., 1981), de même que l'histoire écologique de ces podzols (ROBIN et al., 1981), sont issus de la thèse de l'un d'entre nous (ROBIN Anne-Marie, 1979).*

---

(1) Laboratoire de Géographie Physique, tours 26-16, 4<sup>e</sup> étage, Université Pierre-et-Marie-Curie, 4, place Jussieu, 75230 Paris Cedex 05.

(2) Centre de Pédologie Biologique du C.N.R.S., B.P. 5, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex.

(3) Geologisch Institut, Krijgslaan 271, B-9000 Gand (Belgique).

## I. — INTRODUCTION.

La podzolisation se caractérise par la migration de substances organiques liées au fer et à l'aluminium extraits des feuillettes cristallins par complexolyse. L'insolubilisation de ces complexes organo-minéraux se fait donc en profondeur et déclenche la formation des horizons spodiques B<sub>n</sub> et B<sub>s</sub>.

Le B<sub>n</sub>, horizon caractéristique des podzols, se présente différemment au niveau morphologique, micromorphologique et même chimique, selon les types de podzols considérés ici.

Ainsi se dégagent deux types extrêmes : les podzols à B<sub>n</sub> meuble et les podzols à alios humique.

Entre ces deux types existe une succession de stades intermédiaires qui montrent un début de cimentation ou d'aliotisation. Ces podzols intermédiaires ressemblent à ceux qui ont été appelés « secondaires » par DUCHAUFOR (1948, 1977), DIMBLEBY (1952) et GALOUX (1954). Ces auteurs considèrent en effet que ces podzols sont issus de la dégradation de la forêt feuillue et de la multiplication des bruyères. Sur ce sujet, DE CONINCK (1980) attire l'attention sur le fait que beaucoup de sols situés sur matériau sableux grossier se trouvent sous bruyère, mais ne montrent aucune trace de formation d'un horizon spodique aliotique.

Les podzols à B<sub>n</sub> meuble correspondent pour leur part aux podzols que nous avons reconnus sous forêt de feuillus (ROBIN, 1968, 1970), à la suite de la mise en évidence de podzols « forestiers » par EDELMAN (1960), DIMBLEBY (1955) et MUNAUT (1967). Depuis lors, les recherches ont été tour à tour axées :

- sur le matériau : les études à implication régionale de DE CONINCK en Belgique (1969), SOUCHIER (1971) dans les Vosges, ainsi que TOUTAIN (1974), RIGHI (1977) dans le Médoc, permirent de préciser l'influence de certains éléments ;
- ou sur la végétation : GUILLET (1972) retrace toute l'histoire des podzols des Vosges.

Le but de ce premier article est de présenter le rôle du matériau dans la différenciation des podzols du Bassin Parisien, après l'étude synthétique dont ils ont fait l'objet (ROBIN, 1979).

## II. — ECOLOGIE DES SOLS PODZOLISES DU BASSIN PARISIEN.

— **Les affleurements géologiques** des diverses forêts du Bassin Parisien sont variés, mais il apparaît que **la podzolisation intervient toujours sur roches mères sableuses et bien drainées**. Nous avons choisi, pour notre étude, deux forêts qui présentent la gamme la plus complète de sols podzolisés, sur des affleurements sableux importants : sables Stampiens à Fontainebleau, sables de l'Auverisien à Villers-Cotterets. Ces sables ont été repris par le vent au Quaternaire et déposés, soit simplement à leur surface, soit sur les calcaires qui les couronnaient. Ces « sables soufflés » (appelés à tort limons des plateaux) peuvent aussi être podzolisés (BOUCHON et al., 1973).

— **Le climat Séquanien** caractérisé par une pluviosité annuelle de 630 à 690 mm et une évapotranspiration potentielle (ETP) de 606 à 613 mm (ROBIN, 1968, 1970) est semblable dans les deux forêts. Le drainage climatique qui s'effectue pendant les 5 mois d'hiver permet donc des migrations descendantes.

TABLEAU 1. — *Caractéristiques des écosystèmes types*

	Sol ocre podzologique	Podzol à B <sub>h</sub> meuble	*Podzol à B <sub>h</sub> semi-induré	Podzol à alios humique
Végétation actuelle	Hêtraie + Pteridium + Ilex	Hêtraie ou chênaie + Pteridium + Ilex	Pin sylvestre ou pin laricio + Pteridium + Calluna	Pin sylvestre et bouleau + Calluna + Pteridium
Profil	A <sub>0</sub> A <sub>1</sub> B <sub>h</sub> B <sub>s</sub>	A <sub>0</sub> A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> B <sub>h</sub> B <sub>s</sub>	A <sub>0</sub> A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> B <sub>h</sub> B <sub>s</sub>	A <sub>0</sub> A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> B <sub>h</sub>
Humus	Moder à dysmoder		Mor	Mor très épais
Matière organique en A <sub>1</sub>	2 à 5 %		5 %	8 %
C/N en A <sub>1</sub>	17 à 28		21	48
B <sub>h</sub>				
Profondeur	5 / 8 à 16 / 40	35 / 45 à 48 / 55	30 / 70 à 50 / 80	70 / 100 à 80 / 160
Teinte subjective	Teinte claire chocolat	Teinte claire chocolat	Claire et foncée, chocolat et brun	Foncée, noire brunâtre
Couleur	5 YR 5/3 - 4/2	5 YR 4/2,5 - 3,5/2	5 YR 3/1,5 - 2,5/1,5	5 YR 2,5/2 - 2,5/1
Consistance	Friable	Friable	Friable + parties fermes à cimentées	Ferme à cimentée
Microstructure MO	Polymorphe	Polymorphe+(monomorphe)	Monomorphe+(polymorphe)	Monomorphe
Matière organique	1 %		2,5 %	3 à 14 %
C/N	25		28	45
Al libre	0,3 à 0,7 ‰	0,4 à 0,7 ‰	0,9 ‰	2 à 5,7 ‰
Fe libre	1 à 3 ‰	1,6 à 1,7 ‰	2,9 ‰	0,6 à 2 ‰
Datation <sup>14</sup> C=TMR	Moderne		400 ans BP	1 800 à 3 000 ans BP

\* Ce type correspond à la dénomination de "Podzol intermédiaire" dans la thèse de A.M. ROBIN

— **Les écosystèmes forestiers sur sables « Stampiens » ou « Auversiens »** se regroupent selon 4 grands types. Nous n'avons pas considéré le type « sol podzologique » à cause de la différenciation très rapide des horizons  $A_2$ .

Les caractéristiques des 4 écosystèmes types sont résumées dans le tableau I, d'où il ressort clairement que la différenciation des sols apparaît surtout visible au niveau de l'horizon  $B_h$ .

Les sols ocre podzologiques et les podzols à  $B_h$  et  $B_c$  meubles, situés sous végétation climacique feuillue, s'opposent aux podzols à alios humique, en équilibre avec une végétation acidiphile de pin sylvestre, bouleau et callune. Entre ces termes extrêmes se situent des sols à différenciation podzologique prononcée qui portent des peuplements de pin (sylvestre ou laricio) aménagés par les forestiers. La particularité de ces podzols intermédiaires est de présenter au niveau des horizons spodiques, notamment en  $B_h$ , des caractéristiques aussi typiques des podzols meubles que des podzols aliotiques. En effet, la consistance des  $B_h$  y est, ponctuellement, tantôt friable, tantôt ferme à indurée.

**L'analyse micromorphologique** des horizons spodiques des sols types permet de préciser les mécanismes responsables de ces différences (ROBIN et DE CONINCK, 1978).

— **Les sols ocre podzologiques et les podzols à  $B_h$  meuble**, sous feuillus, ont des humus de type moder à dysmoder relativement actifs ( $C/N = 17$  à  $28$ ). La matière organique des horizons  $B_h$ , d'aspect polymorphe, est intégrée dans des agrégats organo-minéraux juxtaposés aux grains du squelette. L'aspect polymorphe et la formation des agrégats résultent de l'activité de la faune (DE CONINCK et al., 1974 ; RIGHI et DE CONINCK, 1974, 1977) et se trouve responsable de la consistance friable. Biologiquement, ces horizons sont actifs, comme le confirment les très faibles temps de résidence de la matière organique (GUILLET et ROBIN, 1972 ; ROBIN et al., 1981). **Les datations au  $^{14}C$**  témoignent donc d'un actif turn-over.

— **Les podzols à alios humique** ont des humus de type mor, pauvres en N organique ( $C/N = 48$ ). L'induration des horizons  $B_h$  est assurée par une matière organique monomorphe qui recouvre et cimente les grains du squelette. Les revêtements ainsi formés, dus à l'insolubilisation physico-chimique de complexes ayant migré, témoignent, par la persistance de leur aspect monomorphe, d'une action négligeable de la faune du sol. Biologiquement, ces horizons  $B_h$  sont peu actifs, et les temps de résidence très longs (2 à 3.000 ans) de la matière organique confirment bien le turn-over très lent (voire sa fossilisation, RIGHI et GUILLET, 1977).

— **Les podzols intermédiaires** sous peuplements aménagés de pins doivent leurs caractéristiques morphologiques mixtes en  $B_h$  à l'intervention cumulée, mais aussi ménagée, des deux types de processus, pratiquement antagonistes : celui, physico-chimique uniquement, qui est responsable de la cimentation des  $B_h$  aliotiques, et celui, biologique et chimique, qui caractérise, par une pédoturbation dominante, les  $B_h$  meubles.

En effet, tant que, et là où, l'action de la faune l'emporte sur le processus physico-chimique, il n'y a pas d'induration du  $B_h$ . Dès que, et là où, les migrations prédominent, la cimentation intervient.

Outre les caractères morphologiques de ces podzols, la répartition plus ou moins balancée de ces deux processus antagonistes au sein des mêmes  $B_h$ , sans une prédominance totale, est une des raisons qui justifie la dénomination de podzols « intermédiaires » à  $B_h$  semi-induré.

**Le problème important** que pose l'analyse des écosystèmes étudiés est celui de reconnaître quel est le facteur écologique qui a guidé l'orientation des pédogenèses podzologiques sur sables quartzeux du Bassin Parisien.

Les causes strictement climatiques pouvant être écartées, deux facteurs ont pu intervenir : la végétation et son histoire d'une part, la composition du complexe d'altération des matériaux soumis à pédogenèse d'autre part.

Les analyses palynologiques effectuées sur les principaux sols montrent :

- la permanence de la forêt feuillue depuis le Subatlantique pour les sols ocre podzoliques et les podzols à B, meuble (GUILLET et ROBIN, 1972 ; JACQUIOT et al., 1973) ;
- l'existence de la callune depuis une période antérieure au Subatlantique et son importance croissante, pour les podzols à alios humique (ROBIN et al., 1981) ;
- une rupture de l'équilibre climax pour les podzols intermédiaires, par dégradation de la forêt feuillue du Subatlantique, engendrant localement des landes à bruyère reboisées récemment en pins.

La permanence historique des deux écosystèmes extrêmes ne signifie pas que la végétation joue à elle seule le rôle pilote dans l'orientation de la pédogenèse. Le changement de végétation pour les podzols intermédiaires a pu être responsable d'une évolution du podzol de type meuble vers le type aliotique.

Ce constat sur l'histoire de la végétation doit donc être complété par une étude des roches mères. Les résultats qui suivent permettent d'évaluer l'influence du matériau sur l'orientation des pédogenèses.

### III. — LES METHODES DE L'ETUDE.

Chaque échantillon d'horizon a fait l'objet d'une analyse chimique totale.

Les analyses granulométriques et minéralogiques, puis la composition chimique des fractions argileuses ont été faites selon le protocole décrit par GUILLET et ROUILLER (1979) qui comprend les étapes successives suivantes :

1. Les formes amorphes de Fe et Al, complexées à la matière organique, ont été extraites par le tampon acide oxalique + oxalate  $\text{NH}_4^+$  à  $\text{pH}^4$  (SCHWERTMANN, 1964) et dosées par absorption atomique. La matière organique a ensuite été détruite par l'hypochlorite Na.

2. Après tamisage des sables et dispersion des fractions  $< 50\mu$  par résines  $\text{Na}^+$ , les taux de limons et argiles ont été déterminés par sédimentation et prélèvement à la pipette de Robinson.

3. La totalité de la fraction argileuse a été prélevée par siphonage répété. Les limons sont recueillis par centrifugation après épuisement des argiles. Sur des aliquotes de la fraction argileuse on procède à :

- l'étude minéralogique par diffraction X de lames d'argiles orientées saturées  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{Na}^{++}$  (ou  $\text{K}^+$ ) avec traitement naturel et glycolé, chauffage à 200, 450 et 500 °C ;
- l'extraction d'éléments libres, Al, Si et surtout Fe, par le réactif citrate Na + bicarbonate Na + dithionite Na et leur dosage. Le fer solubilisé correspond aux oxyhydroxydes de fer plus ou moins bien cristallisés ;
- l'analyse chimique totale par fusion au métaborate Sr (JEANROY, 1972) et dosages par absorption atomique. On déduit la composition exacte des réseaux des minéraux argileux en soustrayant de cette analyse totale les valeurs des éléments libres.

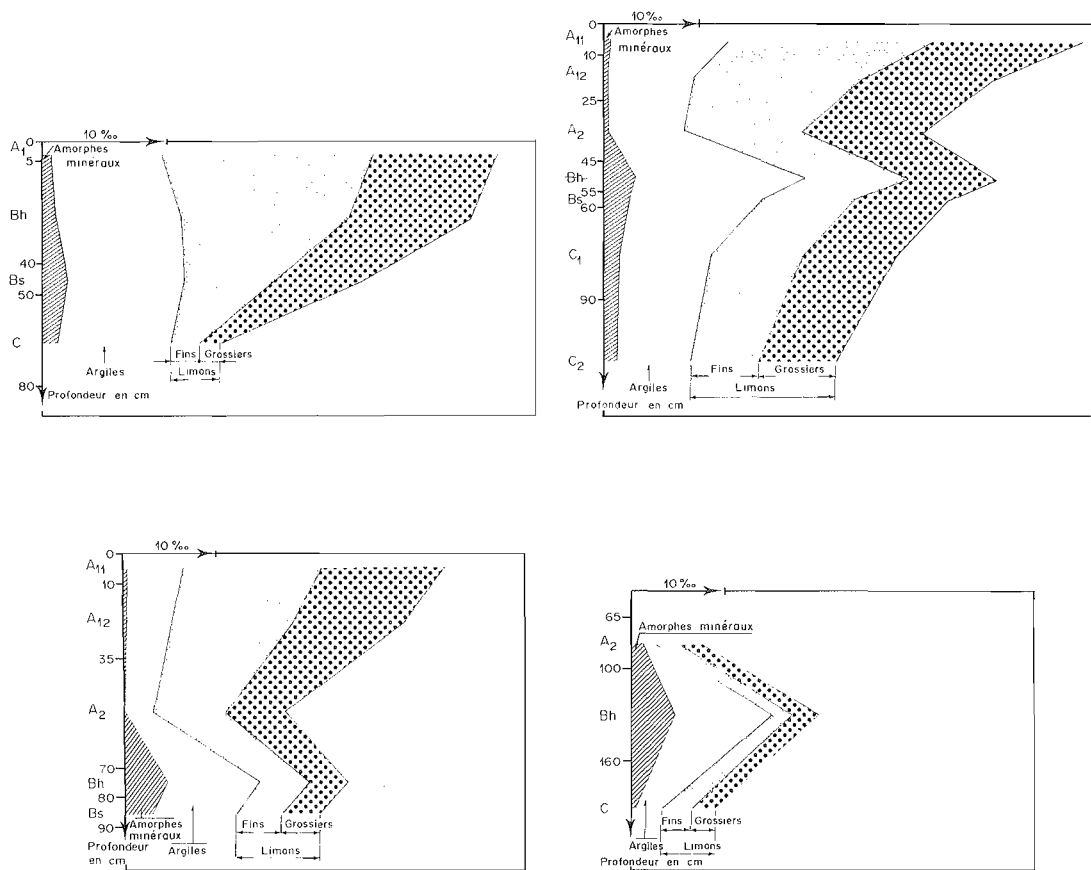


FIGURE I. — Répartition des fractions inférieures à 50  $\mu\text{m}$

a. Sol ocre podzolique  
 b. Podzol à  $B_h$  meuble

c. Podzol à  $B_h$  semi-induré  
 d. Podzol à alios humique

*Distribution of the 0-50  $\mu\text{m}$  particles*

- a) Ochre podzolic soil.                      c) Podzol with a half-cemented  $B_h$ .  
 b) Podzol with a loose  $B_h$ .                d) Podzol with a hardened  $B_h$  («aliotic» podzol).

#### IV. — RESULTATS CONCERNANT LE MATERIAU.

##### A. — COMPOSITION TEXTURALE ET SES VARIATIONS.

###### 1. L'évidence de phases de remaniement :

La composition texturale est un facteur essentiel, d'autant moins à négliger qu'un grand nombre de profils sur sables présentent, sur le terrain, des signes évidents de remaniement : discontinuités brutales à l'intérieur du matériau sableux, troncatures soulignées par des lits de cailloutis acides... ou encore, superposition de podzols comme on peut le voir dans la carrière de sable Stampien à Bourron-Marlotte.

Ces observations permettent de prendre conscience du problème important posé par la mise en place des matériaux : la complexité de ces derniers provenant de la combinaison des phénomènes de déflation érosive et d'apport éolien.

La saltation des éléments sablo-quartzeux autochtones est, ou non, accompagnée d'un apport de particules fines transportées par voie éolienne, ou simplement colluvionnées. Celles-ci déterminent alors dans les profils, comme nous l'envisageons plus loin, des variations qui, cette fois, ne sont pas évidentes.

###### 2. Les teneurs en limons et argiles dans les horizons C :

Il est assez exceptionnel que, dès l'horizon C, les matériaux contiennent plus de 10 % de limons et de 5 % d'argiles. Dans ces cas extrêmes, ces éléments fins freinent la podzolisation qui se maintient au stade ocre podzolique.

Les teneurs en limons oscillent généralement entre 0,3 et 3 %. Si les podzols à alios humique sont toujours incontestablement parmi les plus pauvres en limons, la comparaison rigoureuse des granulométries de tous nos types de sols podzolisés ne permet cependant pas de les distinguer.

Les teneurs en argiles sont aussi très faibles, puisqu'elles sont de l'ordre de 1 %. Les podzols à alios humique ont incontestablement les teneurs les plus faibles (inférieures à 0,6 %), mais les différences constatées avec les autres types de sols podzolisés ne peuvent pas être considérées comme significatives.

###### 3. Les variations verticales de la texture - Origine de ces variations :

Il s'agit de variations affectant les sols à l'intérieur de leur profil. Ces variations, dues à la répartition des fractions inférieures à 50  $\mu$  (fig. 1) sont perceptibles seulement à l'analyse.

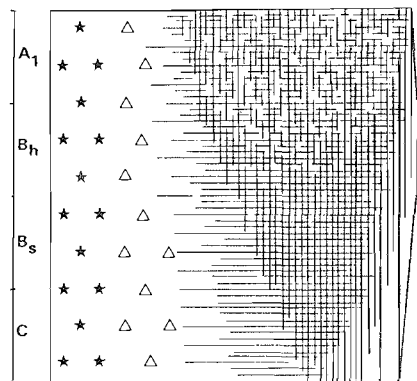
Les limons présentent un accroissement continu vers la surface des profils de certains types de sols : les ocre podzoliques, les podzols à B<sub>n</sub> meuble et les podzols à B<sub>n</sub> semi-induré. Cet enrichissement peut provenir d'une incorporation graduelle de matériel éolien ou colluvial, par apports lents et progressifs. Soulignons qu'il s'agit toujours ici « d'apports ».

Les argiles présentent un maximum dans les horizons B<sub>n</sub>. Ceci peut être attribué au phénomène de migration, soit avec le fer dans une phase de lessivage antérieure à la podzolisation, soit avec la matière organique pendant la podzolisation, comme l'ont montré GUILLET et al. (1981) dans les podzols vosgiens.

Du fait que ce soit au niveau des horizons B<sub>n</sub> que se trouve l'accumulation relative des argiles, la deuxième hypothèse peut paraître plus vraisemblable. Mais... il faut rappeler que les sables « soufflés », enrichis en éléments fins, présentent en profondeur un horizon ocre ferro-argillique (parfois en bandes) situé en dessous des horizons sporadiques des podzols. Cet horizon correspond à un B<sub>1</sub> formé lors d'une pédogenèse précédente : un lessivage a donc préparé la podzolisation par un « appauvrissement » préalable (ROBIN et DE CONINCK, 1975). Soufflage et lessivage (ce dernier pouvant

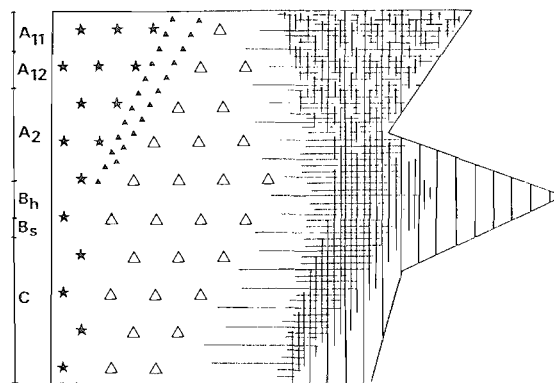
## Sol Ocre Podzolique

Op Vc11



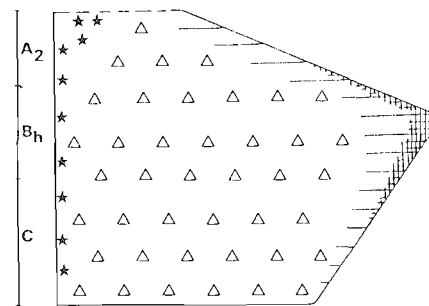
## Podzol meuble

Pz m F3



## Podzol aliotique

Pz a F77



★ ★ Quartz

▬ Micas

▨ Smectite

▲ ▲ ▲ Feldspaths

▨ Mica-Vermiculite

▨ Chlorite-Vermiculite

△ △ Kaolinite

▨ Vermiculite

▨ Chlorite

FIGURE II. — *Illustration approchée de la composition minéralogique des argiles des sols types*

*Mineralogical composition of 0-2 mu. in soil types*



être en partie lié au gel, selon les idées actuelles de BERTOUILLE, 1964 ; VAN VLIET-LANOE, 1976, et CAILLIER, 1977, sur le rôle des phénomènes périglaciaires) se sont effectués au Würm ou plus récemment, puisque notre découverte archéologique (ROBIN, 1974) d'une industrie Moustérienne à la base des sables soufflés lessivés, à B<sub>1</sub> en bandes, permet de préciser que le dépôt des sables soufflés n'est pas antérieur au Würm. Ces bandes, et même des lamelles, servent donc parfois de piège pour fixer la matière organique en migration dans les podzols.

**4. En conclusion,** l'analyse texturale conduit à préciser que :

- les podzols à alios humique se développent sur les sables autochtones les plus pauvres en éléments fins ;
- à l'opposé, les sols ocre podzoliques se situent sur sables soufflés ou, en tout cas, « relativement » riches en matériel fin ;
- les podzols à B<sub>h</sub> meuble ainsi que ceux à B<sub>h</sub> semi-induré se trouvent sur un matériau enrichi, analogue au précédent, mais appauvri par lessivage. Ces podzols sont en relation étroite avec l'équilibre des deux processus : enrichissement initial du matériau et appauvrissement par un lessivage précédant la podzolisation.

Cependant, nous avons vu que les teneurs, toujours faibles, en éléments fins ne discriminent pas vraiment les différents types de sols podzolisés. D'autres facteurs interviennent donc.

**B. — LE COMPLEXE D'ALTERATION.**

**1. Les variations de composition selon les types de sols :**

Les études minéralogiques et géochimiques couplées ont mis en évidence de nettes différences de composition aux divers stades de la podzolisation. On peut les décrire brièvement avec le schéma de la figure II qui concerne les minéraux argileux.

Tous les sols étudiés contiennent du quartz et de la kaolinite.

— La kaolinite devient presque totalement dominante dans le complexe d'altération des podzols à alios humique.

— Dans les autres sols, la kaolinite est accompagnée d'un cortège de minéraux 2/2 (chlorite) et 2/1 (illite, vermiculite et interstratifiés) qui s'appauvrit de plus en plus depuis les sols ocre podzoliques jusqu'aux podzols à B<sub>h</sub> semi-induré.

Il s'agit d'un appauvrissement en minéraux ferro-magnésiens révélé par la chute des teneurs en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (50 à 6‰) et MgO (20 à 6‰), ainsi que par l'augmentation du rapport moléculaire Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> des minéraux argileux (de 5,6-7,6 dans les sols ocre podzoliques à 12,5-13,9 dans les podzols à alios humique (ROBIN, 1979).

**2. Itinéraires de transformation des constituants du complexe d'altération :**

La chlorite primaire\* n'a été décelée avec certitude, dans les limons et argiles, que dans les sols ocre podzoliques et les podzols à B<sub>h</sub> meuble. Elle est absente des podzols à alios humique.

Dans les profils où elle existe, la chlorite est certainement le minéral le plus altérable qui subit en premier les effets de la pédognèse acide (SCHWERTMANN, 1976). Elle disparaît en effet des limons des horizons humifères des sols ocre podzoliques et des horizons éluviaux des podzols à B<sub>h</sub> meuble. Dans la fraction argileuse, son évolution transite par un stade intergrade de vermiculite-chlorite vers des vermiculites de basse charge ou smectites de dégradation comme cela a déjà été observé par LELONG et SOUCHIER (1972) et DE CONINCK et al. (1975). L'évolution

\* Nous n'avons aucune preuve minéralogique que les chlorites observées puissent être considérées comme des chlorites secondaires alumineuses.

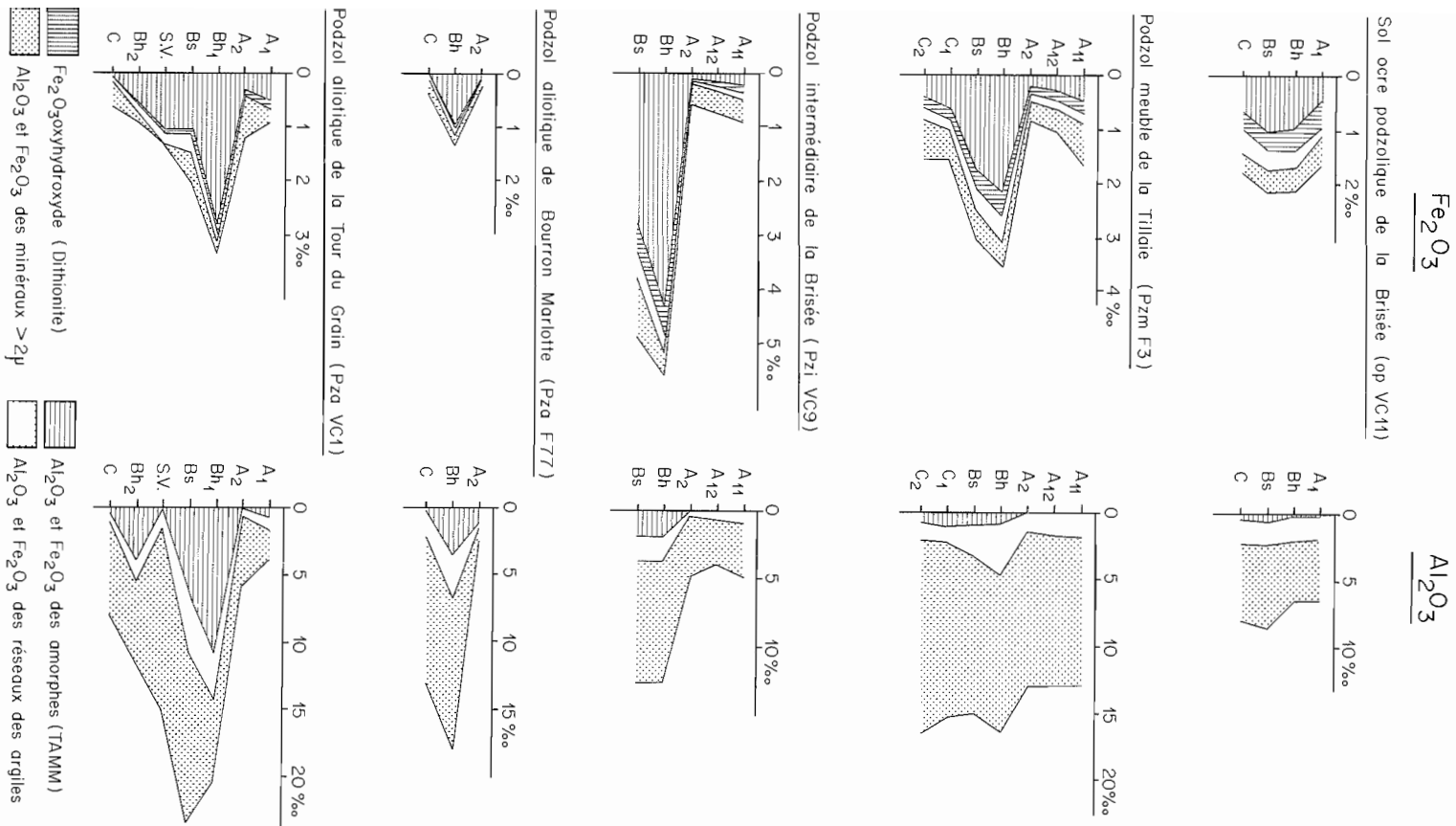


FIGURE III. — Différentes formes du fer et de l'aluminium dans les quatre types de sols podzolisés (afin de mieux illustrer ces résultats, nous avons mentionné un deuxième podzol aliotique)

Different forms of iron and aluminium in the four podzolic soils (in addition, one other «aliotic» podzol is mentioned)

des rapports moléculaires a parfois suggéré [DE CONINCK *et al.*, 1975] l'altération complète de la chlorite et la destruction de la vermiculite.

Ces transformations minéralogiques libèrent principalement du fer qui se redistribue sous forme amorphe complexée dans les horizons spodiques, mais qui s'exprime aussi sous forme d'oxyhydroxydes cryptocristallins, notamment dans les sols ocre podzoliques (fig. III).

**Les chlorites-vermiculites, vermiculites et smectites :** Les chlorites-vermiculites constituent une population complexe de minéraux ferromagnésiens dont l'origine est double : ils sont en partie hérités des matériaux initiaux des sols ocre podzoliques, des podzols à B<sub>n</sub> meuble et de ceux à B<sub>n</sub> semi-induré. Ils résultent aussi, comme nous l'avons déjà précisé, de l'altération ménagée des chlorites.

Au cours de la pédogenèse, ces édifices se transforment en vermiculites dans les horizons spodiques des sols ocre podzoliques et des podzols meubles. Les vermiculites qui peuvent aussi dériver de l'ouverture des illites trioctaédriques subissent dans les horizons A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub> une évolution différenciée selon le type de sol.

Dans les sols ocre podzoliques, l'ensemble des vermiculites acquiert des propriétés de gonflement à l'éthylène-glycol qui en font des smectites de dégradation (ROBERT et BARSHAD, 1972 ; LELONG et SOUCHIER, 1972 ; CAILLIER, 1977) dont la dissolution reste ménagée. Dans les podzols à B<sub>n</sub> meuble, les smectites disparaissent sous l'effet des acides complexants, par **amorphisation totale** (RAZZAGHE-KARIMI, 1974).

Les produits de l'acidocomplexolyse, et notamment le fer, se redistribuent dans les horizons spodiques sous forme complexée et/ou amorphe (fig. III).

**Les phyllites potassiques et les interstratifiés (I-V) qui en dérivent :** Ces minéraux ne prennent de l'importance que dans les podzols à B<sub>n</sub> semi-induré et aussi dans les podzols à alios humique où ils constituent les minéraux accessoires du complexe d'altération. Il s'agit d'illites vraisemblablement dioctaédriques, qui évoluent dans les profils vers des édifices ouverts ayant un comportement d'interstratifiés illites-smectites gonflant avec les molécules polaires (éthylène-glycol).

Il semble bien que ces édifices se détruisent dès ce stade d'interstratifiés. Cela rejoint tout à fait les observations expérimentales de VICENTE et ROBERT (1981) sur l'altération de micas en présence d'acides fulviques, et les analyses faites dans des podzols vosgiens par BARTOLI *et al.* (1981) et GUILLET *et al.* (1981).

**La kaolinite** est presque l'unique constituant du complexe d'altération des podzols à alios humique. Dans ces sols, ce minéral est instable et semble s'altérer, de sorte que l'on peut affirmer que sa destruction ne deviendrait possible que lorsque les autres minéraux, notamment les ferro-magnésiens, ont été déjà détruits.

La destruction des minéraux 1/1 conduit alors à une redistribution des amorphes, et tout spécialement de l'aluminium qui prédomine sur le fer (fig. III).

**Les feldspaths** ne sont apparemment sensibles à la dissolution biochimique que dans les podzols à alios humique. Ils se divisent et se dissolvent, fournissant ainsi de l'alumine amorphe qui se redistribue dans les horizons spodiques.

**3. En résumé,** les divers stades de la podzolisation s'expliquent par les proportions relatives entre minéraux ferromagnésiens (chlorite- [chlorite-vermiculite] vermiculite) qui assurent l'essentiel de la réserve en minéraux altérables, et les minéraux plus alumineux, comme kaolinite et feldspaths K.

Une prépondérance relative des minéraux ferromagnésiens freine la podzolisation et la maintient au stade ocre podzolique. Quand ces minéraux diminuent par rapport à la kaolinite et aux illites dioctaédriques, un seuil est franchi : les podzols prennent naissance. C'est ainsi que l'on passe d'un pôle ferrifère à un pôle alumineux. Pour les podzols à alios humique, tout se passe comme si l'insuffisance de minéraux ferrifères facilement altérables déclenchait l'acido-complexolyse des minéraux alumineux,

élargissant ainsi le cortège de minéraux altérés. La géochimie organique de l'aluminium prend alors le pas sur celle du fer.

Quant à la redistribution des éléments amorphes, elle est d'autant plus forte que le complexe d'altération est pauvre en éléments altérables et que les sols sont plus évolués. Ceci s'observe régulièrement du stade ocre podzolique jusqu'au stade de podzol à alios humique (fig. III). Ensuite, le passage au podzol à alios humique indique à la fois une diminution pour le fer à cause de la teneur très minime en ferromagnésiens et une augmentation spectaculaire pour l'aluminium, à cause d'un complexe d'altération nettement plus alumineux.

## DISCUSSION ET CONCLUSION.

Si des teneurs de 10 à 20 % en limons, et de 5 % en argiles correspondent à des sols ocre podzoliques, et les teneurs < 1 % en éléments fins correspondent à des podzols à alios humique, nous savons aussi que les teneurs comprises entre 1 et 5 % peuvent se trouver dans les quatre types de sols podzolisés.

La texture n'est donc pas responsable à elle seule de la différenciation podzologique. Par contre, il semble bien que l'on puisse toujours voir au niveau de la composition minéralogique, une opposition entre les sols extrêmes (fig. IV).

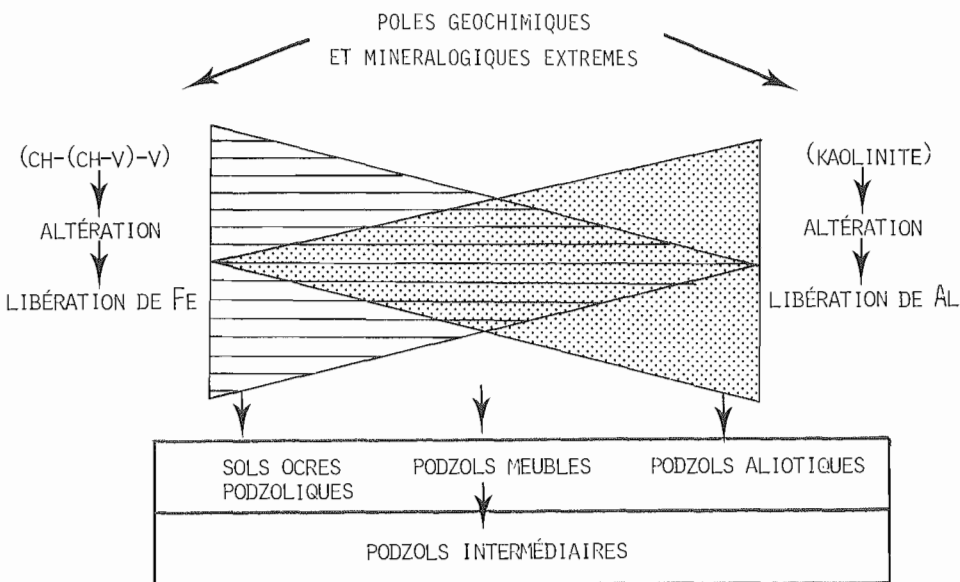


FIGURE IV. — Présentation schématique de la répartition des principaux constituants du complexe d'altération

*Schematic distribution on the main products of weathering*

Ainsi, ce schéma rappelle que les phyllites qui accompagnent le matériau quartzofeldspathique sont à dominance ferromagnésienne dans les sols ocre podzoliques et à dominance alumineuse dans les podzols à alios humique.

Cette opposition met en évidence l'importance primordiale du matériau, par le rôle prépondérant de la réserve en minéraux altérables. Et la différence, enregistrée aussi

au niveau de la végétation, actuelle comme ancienne, peut être considérée comme secondaire, mais « dépendante » de la nature de la roche-mère.

On observe en effet, d'une part, la permanence depuis le Subatlantique de la forêt feuillue sur matériau riche en minéraux ferromagnésiens, d'autre part, le développement progressif et abondant de la callune, depuis une période antérieure au Subatlantique sur matériau quartzo-feldspathique qui en est dépourvu.

Les podzols à alios humique sont de vieux sols dont la genèse peut s'expliquer par l'extrême pauvreté en minéraux facilement altérables. La destruction podzolique qui a sans doute en priorité affecté de tels minéraux semble, depuis longtemps déjà, concerner les feldspaths K et la kaolinite, seuls minéraux qui puissent alors s'altérer. C'est l'aluminium qui se redistribue en effet sous forme de complexes organiques dont l'insolubilisation contribue à la cimentation des grains du squelette en B<sub>n</sub>. L'alios est l'expression morphologique et structurale du phénomène.

On peut considérer que les podzols à alios sont représentatifs des faciès les plus purs des sédiments sableux tertiaires. Or, au cours des phases récentes du Quaternaire, ces matériaux ont été remaniés et contaminés par des particules minérales fines empruntées aux formations superficielles environnantes, acides et limoneuses et même parfois calcaires. La contamination en minéraux ferromagnésiens a orienté les équilibres biologiques vers une podzolisation ménagée.

Les sols ocre podzoliques, qui héritent d'une contamination notable, et les podzols à B<sub>n</sub> meuble, où elle est plus discrète, sont depuis longtemps en équilibre avec la forêt feuillue. Biologiquement, ces sols sont actifs, comme le suggère le temps moyen de résidence de la matière organique des B<sub>n</sub> meubles.

Dans les podzols à B<sub>n</sub> semi-induré, l'induration s'accompagne d'une diminution de l'activité biologique relativement au phénomène de formation et d'accumulation de complexes organo-métalliques qui sont responsables de l'effet de cimentation. Il semble que le début de cette cimentation coïncide avec une influence anthropique sur la forêt feuillue.

Ainsi, il semble bien que lorsqu'il existe dans le matériau un certain équilibre entre les minéraux ferromagnésiens et les minéraux alumineux la végétation puisse « alors » jouer un rôle prépondérant :

— Tant que la forêt feuillue se maintient, les podzols conservent leur Bh meuble due à une microstructure en agrégats d'origine biologique ;

— Quand la dégradation de la forêt feuillue s'effectue et que la callune s'installe, on peut admettre que les processus physico-chimiques de migrations organo-minérales l'emportent. Ainsi s'expliquent les indurations ponctuelles du B<sub>n</sub>.

## SUMMARY

GENESIS AND EVOLUTION OF PODZOLIC SOILS ON SANDY MATERIALS  
IN PARIS BASIN

## I. PART OF THE PARENT MATERIAL

The podzolic soils developed in the Paris basin on the well-drained sandy parent materials can be classified into four main types, i.e. ochre-podzolic soils, podzols with a loose  $B_h$ , podzols with a half-cemented  $B_h$  and podzols with a hardened humic  $B_h$  (« alios »), characteristics of which are given in table 1.

Their genesis seems to be mainly binded to the nature of the material in the extreme cases, but for some intermediate types the vegetation is responsible of the pedogenetic orientation.

So, the ochre-podzolic soils developed under deciduous woodland since the Subatlantic period are braked in their evolution because of a parent material rich in easily weathered minerals (Fe and Mg) as chlorite, illite and vermiculite (fig. II).

In opposite case the podzols with humic alios, but without  $B_h$  horizon, poor in silt and clay, with a cover of calluna since a period before Subatlantic, are characterized by the lack of Fe-Mg easily weathered minerals. Feldspars and kaolinite, only minerals of alteration complex, (fig. II), seem to be weathered. The organic geochemistry of aluminium takes precedence of iron one (fig. IV), as proved by the accumulation of aluminium complexes in alios (fig. III).

In other way, on sandy quartz-feldsparic materials, the podzols are in relation with the balance of two processes: enrichment in fine particles by aeolian supply (fig. I) and impoverishment in clay minerals during an early phase of illuviation which precedes the podzolisation. Then the vegetation has a preponderant part:

- when the deciduous woodland is conserved, the podzols have a loose  $B_h$  due to the biologic activity;
- when the deciduous woodland is degraded and substituted by the calluna the  $B_h$  of podzols show a progressive cementation.

## Bibliographie

- BARTOLI F., JEANROY E. et VEDY J.-C. (1981). — Colloques internationaux du C.N.R.S., n° 303, 281-289.
- BERTOUILLE H. (1964). — *Bull. A.F.E.S.*, **1**, 76-84.
- BOUCHON J., FAILLE A., LEMEE G., ROBIN A.-M., SCHMITT A. (1973). — R.C.P. 165, C.N.R.S.
- CAILLIER M. (1977). — *Thèse de Doctorat de Spécialité, Université de Nancy I*, 87 p.
- DE CONINCK F. et HERBILLON A. (1969). — *Pédologie, Gand*, **19** (2), 159-272.
- DE CONINCK F., RIGHI D., MAUCORPS J., ROBIN A.-M. (1974). — Proc. 4th Intern. Working-meet. On soil micromorphology. G.K. Rutherford ed., Kingston, Ontario, Canada, 263-280.
- DE CONINCK F., CONRY M. et TAVERNIER R. (1975). — Proc. Intern. Clay Confer.
- DE CONINCK F. (1980). — *Geoderma* **24**, 101-128.
- DIMBLEBY G.W. et GILL J.-P. (1955). — *Forestry, Oxford*, **28** (2), 95-106.
- DUCHAUFOR Ph. (1948). — *Ann. Ecole Nat. Eaux et Forêts*, 332 p.
- DUCHAUFOR Ph. et SOUCHIER B. (1977). — *Pédologie*. Tome I. Masson, Paris, Ed., 477 p.
- EDELMAN C.H. (1960). — *Pédologie, Gand*, **10**, 229-249.
- GALOUX A. (1954). — *Edit. Stat. Rech. Groenendaal*, 235 p.
- GUILLET B. et ROBIN A.-M. (1972). — *C.R. Acad. Sci. Paris*, **274**, 2859-2862.
- GUILLET B. (1972). — *Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Nancy I*, 112 p.
- GUILLET B. et ROUILLER J. (1979). — In « *Pédologie* », tome 2. Bonneau M. et Souchier B., Ed., Masson, Paris, 459 p. (pp. 227-233).
- GUILLET B., VEDY J.-C., ROUILLER J. et SOUCHIER B. (1979). — *Sci. Géol., Mém.*, n° **53**, 13-18.
- GUILLET B., ROUILLER J. et VEDY J.-C. (1981). — Colloques internationaux du C.N.R.S., n° 303, 50-56.
- JACQUIOT C., ROBIN A.-M., BEDENEAU M. (1973). — *Bull. Soc. Bot. Fr.*, **120**, 231-234.
- JEANROY E. (1972). — *Chimie Analytique*, **54** (3), 159-166.
- LELONG F. et SOUCHIER B. (1972). — *C.A. Acad. Sci., Paris*, **274**, D, 1896-1899.
- MUNAUT A.V. (1967). — *Acta Geogr. Lovaniensia*, **6**, 191 p. (thèse).
- RAZZAGHE-KARIMI M.H. (1976). — *Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris*, 222 p.
- RIGHI D. et DE CONINCK F. (1974). — In « *Soil Microscopy* », Proc. 4th Int. Working-meet, on soil micromorphology. G.K. Rutherford ed., Kingston, Ontario, Canada.
- RIGHI D. et DE CONINCK F. (1977). — France. *Geoderma*, **19**, 339-359.
- RIGHI D. et GUILLET B. (1977). — In « *Soil Organic Matter Studies* », I.A.E.A., Vienne II, 187-192.
- RIGHI D. (1977). — *Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Poitiers*, 144 p.
- ROBERT M. et BARSHAD I. (1972). — *Bull. Gr. Fr. Argiles*, **24**, 137-151.
- ROBIN A.-M. (1968). — Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Paris, 88 p.
- ROBIN A.-M. (1970). — *Science du Sol*, **1**, 63-83.
- ROBIN A.-M. (1974). — *Bull. Soc. Préhist. Fr.*, **71**, 67-69.
- ROBIN A.-M. et DE CONINCK F. (1975). — *Science du Sol*, **3**, 213-228.
- ROBIN A.-M. et DE CONINCK F. (1978). — Proc. 5th Intern. Working meet. on soil micromorphology, Granada, 1019-1050.
- ROBIN A.-M. (1979). — *Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Nancy I*, 173 p.
- ROBIN A.-M., GUILLET B. et DUCHAUFOR Ph. (1981). — *Revue Forestière Française* (sous presse).
- ROBIN A.-M., BRUCKERT S. et DUPUIS Th. (1981). — *Science du Sol*.
- SCHWERTMANN U. (1964). — *Z. Pflanz. u-Bodenk.*, **105**, 194-202.
- SCHWERTMANN U. (1976). — *Z. Pflanz. Bodenkd.*, **1**, 27-36.
- SOUCHIER B. (1971). — Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Nancy I. *Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, **33**, 134 p.
- TOUTAIN F. (1974). — *Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Nancy I*, 114 p.
- VAN-VLIET-LANOE B. (1976). — *Bull. Peryglac.*, **26**, 41-55.
- VICENTE M.A. et ROBERT M. (1981). — *Coll. Int. du C.N.R.S.*, n° 303, 305-312.

