

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

## II. - Analyse des complexes organo-minéraux

A.-M. ROBIN (1), S. BRUCKERT (2), T. DUPUIS (3)

---

### SOMMAIRE

*Si la génèse des sols podzolisés du Bassin Parisien semble essentiellement liée à la nature du matériau pour les types extrêmes (ROBIN, GUILLET et DE CONINCK, 1981 : I. - Rôle du matériau), la végétation semble bien jouer un rôle primordial pour les types intermédiaires.*

*La nature des complexes organo-minéraux reflète cette double interaction du matériau et de la végétation.*

---

### INTRODUCTION.

Comme on vient de le constater dans la note précédente, la présence ou l'absence d'argiles ferromagnésiennes d'origine éolienne dans les sables siliceux du Bassin de Paris, détermine deux types distincts de podzolisation.

Sur matériau sans minéraux phylliteux ferromagnésiens, la podzolisation aboutit directement aux podzols à alios humique, par contre, sur un matériau contenant des minéraux phylliteux ferromagnésiens, les processus pédogénétiques progressent plus lentement et conduisent à la formation de sols moins différenciés, comprenant tous les intergrades entre des sols ocres podzoliques et des podzols à B<sub>n</sub> meuble et semi-induré.

---

(1) Laboratoire de Géographie Physique, Université Pierre-et-Marie-Curie, 4, place Jussieu, 75230 Paris Cedex 05.

(2) Laboratoire d'Ecologie Végétale et de Pédologie, 1, place Leclerc, 25042 Besançon.

(3) Laboratoire de Pédologie, E.R.A. 220 du C.N.R.S., 40, avenue du Recteur-Pineau, Université de Poitiers, 86022 Poitiers.

Aux deux variantes lithologiques correspondent, d'autre part, deux formations végétales : la lande à callune s'est installée en effet sur sables purs à une date très ancienne, antérieure au Subatlantique (ROBIN *et al.*, 1981) ; par contre, sur sables pollués par l'éolien, c'est la forêt feuillue comprenant des espèces moins frugales qui s'est développée. La présence de minéraux altérables, en apportant un supplément d'éléments nutritifs, a permis le développement d'une activité biologique plus intense, reconnue dans la micromorphologie des profils (ROBIN et DE CONINCK, 1978).

Au total donc, deux facteurs — l'un lithologique, l'autre biologique — déterminent la pédogénèse. Comment ces deux éléments réagissent-ils ? Quels sont les processus chimiques et physico-chimiques de l'interaction organo-minérale ? C'est à ces questions que tenteront de répondre maintenant les résultats de l'analyse des complexes organo-minéraux comme A.-M. ROBIN le présentait dans sa thèse (1979).

## I. — MATERIEL ET METHODES.

L'analyse des complexes organo-minéraux porte uniquement sur les horizons B<sub>h</sub> des sols podzolisés décrits et analysés dans l'article précédent.

### A. — RAPPEL DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES HORIZONS B<sub>h</sub> DES SOLS ETUDIES.

TABLEAU 1. — *Caractéristiques analytiques des horizons B<sub>h</sub>*

Type de sol / Caractères	Sol ocre podzologique	Podzol à B <sub>h</sub> meuble	Podzol interm. à B <sub>h</sub> semi-induré	Podzol à alios humique
Carbone	0,6 à 2,8 %	0,4 à 0,6 %	1,3 à 2,8 %	1,7 à 7,5 %
Azote	0,02 à 0,1 %	0,02 %	0,04 à 1 %	0,03 à 0,09 %
pH	3,4 à 3,8	3,8 à 4	3,6 à 3,9	3,6
T méq./100 g	2 à 11	2 à 4,5	9	10,5
100 $\frac{S}{T}$	5 à 13	8 à 11	4,3	2,7

### B. — ETUDE DES FORMES DU FER ET DE L'ALUMINIUM.

Nous pouvons avoir une idée sur la distribution de ces éléments, sous leurs formes différentes, grâce à des extractions par plusieurs réactifs dont l'action est en partie connue.

On estime en effet que le **tétraborate de sodium**, réactif alcalin non ou peu complexant\*, extrait des complexes organo-métalliques adsorbés sur les supports minéraux par de simples liaisons électrostatiques. Ces complexes se caractérisent par une faible charge métallique qui les rend plus facilement « mobilisables », c'est-à-dire extractibles. Dans les sols à podzolisation commençante, ils proviendraient d'une insolubilisation récente de complexes redistribués, dits « mobiles » (BRUCKERT, 1979).

Le **pyrophosphate de sodium** est un agent alcalin complexant, capable de rompre au moins une partie des liaisons de coordination qui existent entre la matière organique et les métaux, et de solubiliser les complexes organo-minéraux à forte charge métallique. Il semble que le pyrophosphate puisse extraire des composés moins mobiles que ceux extraits par le tétraborate.

L'**oxalate d'ammonium** constitue généralement, d'après SCHWERTMANN (1964), le meilleur agent d'extraction du fer et de l'aluminium amorphes.

\* En fait, il est peu ou pas complexant pour les métaux, mais fortement complexant pour les composés acides phénols et acides alcools.

Le **dithionite de sodium** extrait aussi les formes métalliques, amorphes et cristallines, et respecte en principe les formes cristallines combinées des réseaux silicatés.

On peut donc schématiser l'extraction des différentes formes de l'élément métallique de la manière suivante :

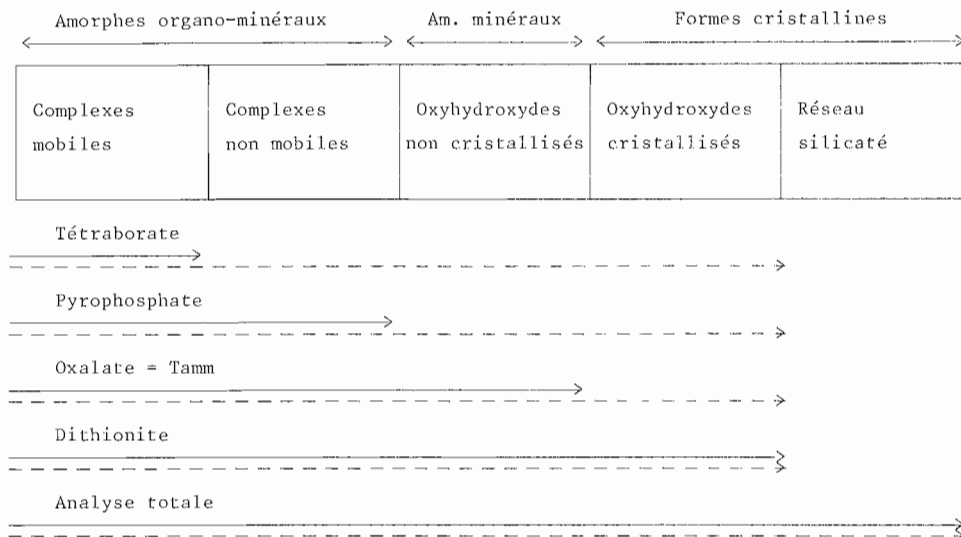


FIGURE I. — *Extraction par les différents réactifs Fer (flèches pleines) et aluminium (flèches hachurées)*

### C. — ETUDE DES COMPLEXES ORGANO-MINÉRAUX PAR ATD.

L'analyse thermique différentielle réalisée directement sur les horizons B<sub>n</sub> fournit certaines informations sur l'interaction des éléments organiques et minéraux. Cette technique permet une caractérisation des complexes après isolement de la fraction de sol inférieure à 50 µm par tamisage dans l'eau. Les stades de pyrolyse se traduisent sur les courbes par les pics exothermiques, qui se manifestent dans certaines zones caractéristiques des liaisons organominérales de stabilité différente (DUPUIS *et al.*, 1970 ; JAMBU *et RIGHI*, 1973 ; JAMBU *et al.*, 1975).

### D. — ETUDE DES COMPLEXES ORGANO-MÉTALLIQUES.

Les complexes organo-métalliques (ou humo-métalliques) sur lesquels nous travaillons sont des complexes organo-minéraux débarrassés de leurs impuretés argileuses, par action floculante du KCl et centrifugation à 32.000 g. Nous avons procédé à des extractions alcalines, soit par le tétraborate de sodium, soit par le pyrophosphate, sur deux séries parallèles d'échantillons. Tous les extraits ont été dialysés contre l'eau distillée et décationisés par échange sur résine IR 120 forme H<sup>+</sup>. Les complexes liophilisés ont été étudiés par spectrographie IR (Beckman) et par micro-analyse thermique différentielle (Setaram).

### E. — ETUDE DES COMPOSES HUMIQUES.

Après séparation des acides humiques et des acides fulviques par acidification HCl pH 1 de l'extrait tétraborate purifié, nous avons effectué une analyse IR et une hydrolyse acide des acides humiques.

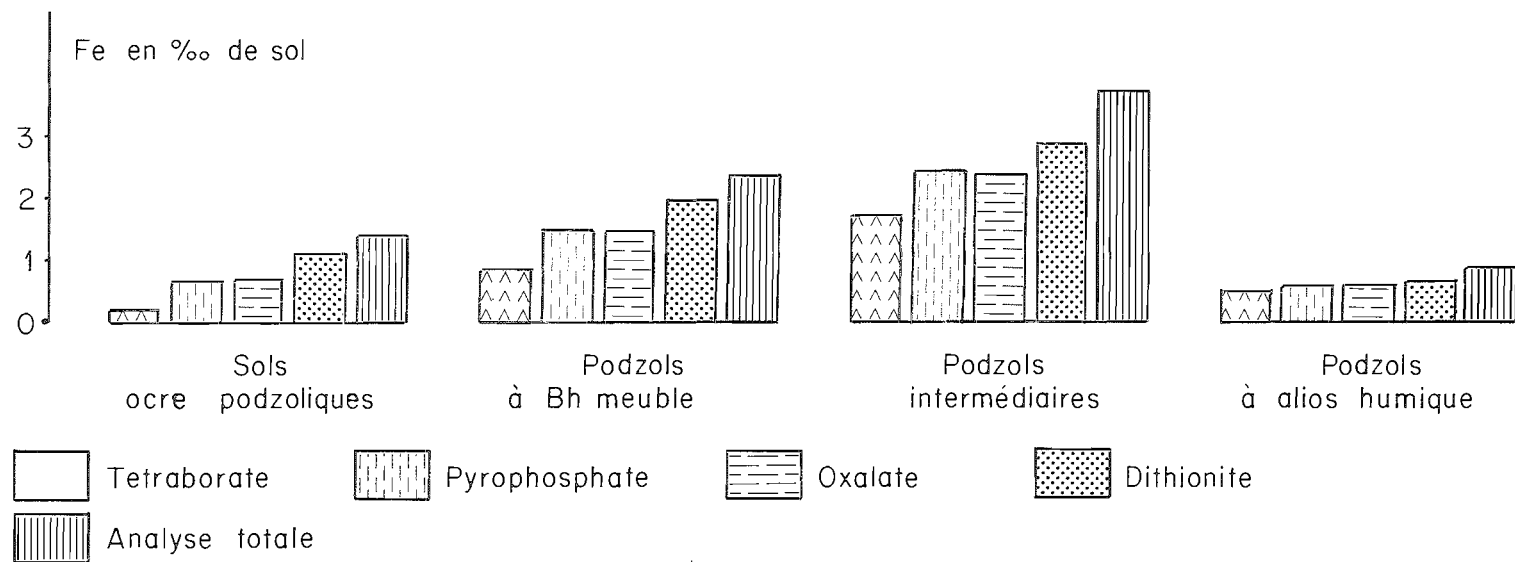


FIGURE II. — *Extraction du fer dans les B<sub>n</sub> des quatre types de sols*

## II. — RESULTATS.

### A. — ANALYSE DES FORMES DU FER ET DE L'ALUMINIUM DES HORIZONS B<sub>h</sub>.

#### 1. Formes du fer : (Voir fig. II ci-contre.)

On constate une teneur croissante du fer en B<sub>h</sub> depuis les sols ocre podzoliques jusqu'aux podzols humo-ferrugineux « intermédiaires ».

Par contre, on observe une faible teneur en fer dans les B<sub>h</sub> des podzols à alios humique.

Par ailleurs, une première comparaison des réactifs permet de remarquer des teneurs similaires en fer pour les extractions par le pyrophosphate et par l'oxalate.

#### 2. Formes de l'aluminium :

en % de sol

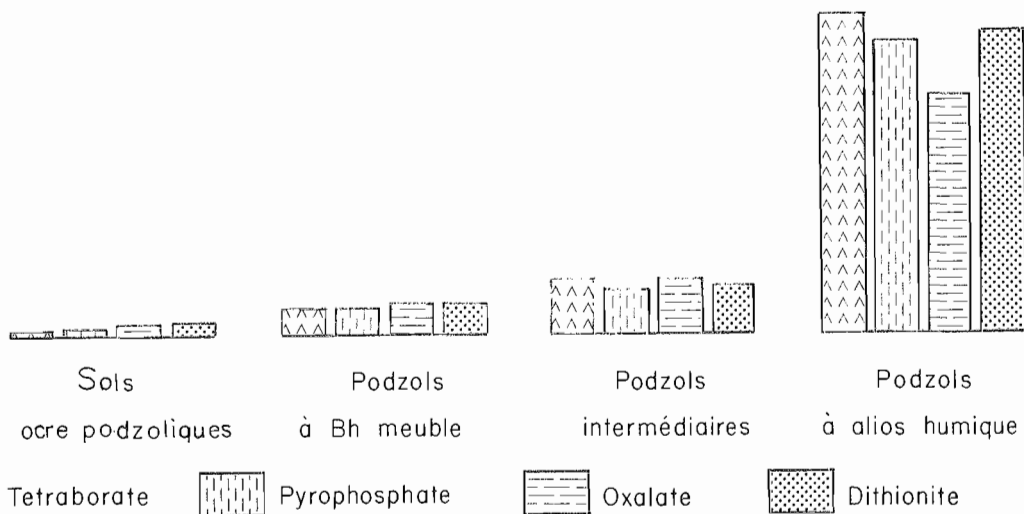


FIGURE III. — Extraction de l'aluminium dans les B<sub>h</sub> des quatre types de sols

On constate que la teneur en aluminium augmente légèrement depuis les sols ocre podzoliques jusqu'aux podzols intermédiaires. Cependant, les valeurs restent faibles, surtout en comparaison avec les podzols à alios humique, qui ont des teneurs nettement plus fortes.

#### 3. Discussion :

a) La teneur en fer du matériau détermine la composition des complexes organo-métalliques des B<sub>h</sub>, quant à leur charge en Fe et Al.

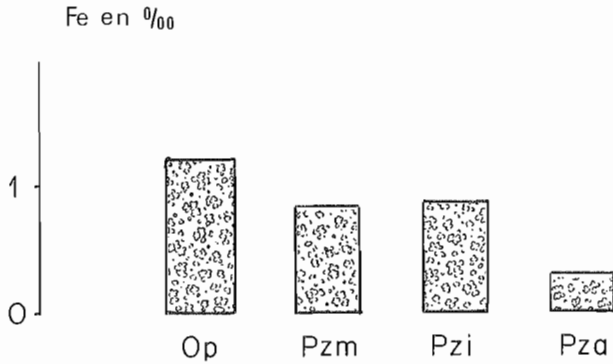


FIGURE IV. — Teneur moyenne en Fer total des horizons C

La comparaison des figures II, III et IV permet de dire que :

— lorsque le matériau contient du fer, les complexes organo-métalliques sont chargés de fer — ceci d'autant plus que la différenciation podzolique est poussée — alors qu'ils sont pauvres en aluminium (une augmentation se traduisant néanmoins toujours avec le degré de différenciation) ;

— lorsque le matériau contient très peu de fer, on a des podzols à alios humique. Les horizons spodiques sont réduits au B<sub>n</sub>, et les extraits contiennent une énorme proportion d'aluminium pour très peu de fer.

Ces constatations sont encore plus nettes en réalité, dans la mesure où les sols dont le matériau contient du fer sont aussi contaminés en argiles ferromagnésiennes au sommet du profil.

Une comparaison avec les podzols vosgiens (SOUCHIER, 1971 ; GUILLET, 1972), beaucoup plus riches en fer que ceux que nous étudions ici, permet de renforcer cette conclusion sur la parenté du matériau et des complexes formés en B<sub>n</sub>.

b) Les rapports établis sur les teneurs en fer extraites par les différents réactifs permettent de préciser l'importance des différentes formes.

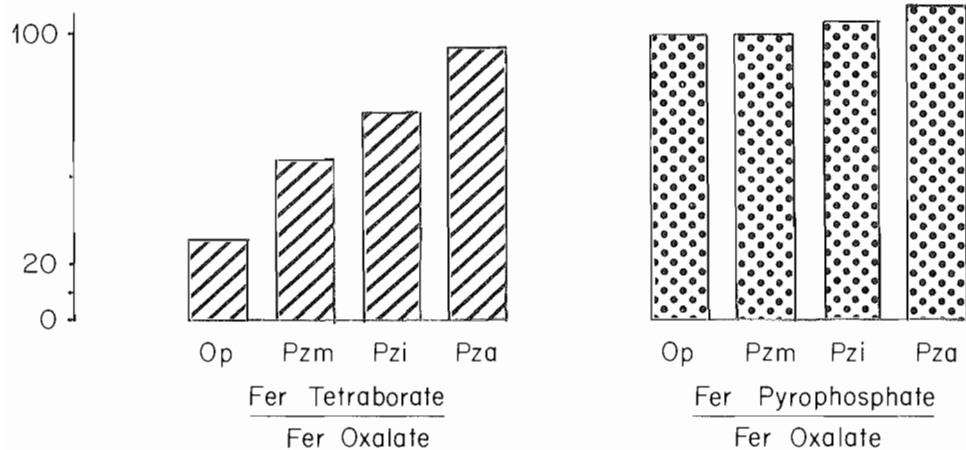


FIGURE V. — Valeurs (en %) des rapports  
 Fer tétraborate / Fer oxalate et Fer pyrophosphate / Fer oxalate

dans les horizons B<sub>n</sub> des différents types de sols

GENESE ET EVOLUTION DES SOLS PODZOLISES DU BASSIN PARISIEN

Les deux diagrammes de la figure V sont très éloquents. On peut constater que :

- d'une part, le tétraborate extrait le fer complexé mobile, dont la proportion augmente dans la mesure où le milieu est plus pauvre en fer libre ;
- d'autre part, le pyrophosphate, qui donne les mêmes teneurs que l'oxalate, extrait tout le fer amorphe, celui-ci étant donc pour l'essentiel associé à la matière organique.

Il y a donc une action différente des deux réactifs d'extraction tétraborate et pyrophosphate : le pyrophosphate est susceptible d'extraire du fer de complexes plus riches en fer.

c) En résumé, les différences trouvent leur origine dans les teneurs en fer des horizons B<sub>h</sub> : tant que cette teneur est faible, le fer complexé reste extractible par le tétraborate en même temps que l'anion complexant (complexe vrai). Lorsque cette teneur est élevée, le fer forme avec l'anion organique un « complexe d'adsorption » non extractible (ni l'anion complexant, ni le cation complexé ne sont extraits).

Ainsi pouvons-nous confirmer que le tétraborate extrait des complexes à faible charge métallique, qu'ils soient redistribués et insolubilisés depuis peu, comme dans la « podzolisation commençante » (BRUCKERT, 1979) ou depuis très longtemps comme dans les profils aliotiques des sols étudiés, vieux de 3.000 ans au moins (GUILLET et ROBIN, 1972 ; ROBIN *et al.*, 1981).

En conclusion, il semble se dégager deux modèles de complexes :

- les uns très riches en fer dans les sols ocre-podzoliques, les podzols à B<sub>h</sub> meuble et les podzols intermédiaires à B<sub>h</sub> semi-induré ;
- les autres surtout très riches en aluminium dans les podzols à alios humique.

**B. — ANALYSE DES COMPLEXES ORGANO-MINERAUX PAR ATD DIRECTE SUR LES MICRO-AGREGATS DES HORIZONS B<sub>h</sub>.**

Nous présentons (tableau 2) les analyses effectuées sur les podzols à B<sub>h</sub> meuble et sur les podzols à alios humique.

**TABLEAU 2. — Comportement ATD et associations organo-minérales des horizons spodiques (globaux : sans traitement)**

Sols Horizons	Types de complexes et caractéristiques ATD		Amorphes (extrait oxalate)			C extractible tétraborate %	Fe + Al C m.e./100g C
	Complexe Ads.* 280°-320°C	Complexes vrais** 360°-400°C	Fe%	Al%	Al/Fe		
<b>Podzols à B<sub>h</sub> meuble</b>							
Pzm F3 B <sub>h</sub>	285		1,5	0,4	27	5,2	2500
Pzm VC12 B <sub>h</sub> 21 B <sub>h</sub> 22	283		1,4	0,3	21	3,2	3400
	270						
<b>Podzols à B<sub>h</sub> aliotique</b>							
Pza VC1 B <sub>h</sub> 1	(290)	385	1,9	5,4	280	55,2	1250
B <sub>h</sub> 2	(300)	398	0,4	2,1	530	15,2	1500
Pza F77 B <sub>h</sub>		382	0,6	1,9	320	16,4	1500

285 Pic ATD bien marqué - (300) simple épaulement sur la courbe ATD

\* Complexe d'adsorption avec les hydroxydes

\*\*Complexes vrais (Fe<sup>++</sup> et/ou Al<sup>+++</sup>)

### 1. L'étude des horizons $B_h$ fait apparaître les pics caractéristiques :

- de complexes d'adsorption ou associations colloïdales flocculées caractérisées par une charge métallique très élevée rapportée au taux de carbone alcalino-soluble, et où dominent généralement les hydroxydes ferriques : pics entre 280 et 320° ;
- de complexes vrais ( $Fe^{++}$  et/ou  $Al^{+++}$ ) caractérisés par une charge métallique beaucoup plus faible : pics situés dans la zone 360-380-400°

Les pics qui apparaissent entre 380 et 400° peuvent représenter l'addition ou l'interférence des pics de complexes dispersables de Fe ou Al. Aussi avons-nous porté tous les pics situés entre 360 et 400° dans la même colonne du tableau.

On remarque que les complexes d'adsorption seraient bien représentés dans les podzols à  $B_h$  meuble, contrairement aux podzols à alios humique où n'apparaîtraient de façon significative que des complexes vrais.

2. La confrontation ATD-Analyses chimiques globales permet de voir dans quelle mesure la caractérisation chimique des associations organo-minérales est conforme aux modes de complexation détectés par le comportement thermique de l'horizon correspondant. Il se confirme que, sur matériau riche en fer et minéraux altérables (podzols à  $B_h$  meuble), les complexes d'adsorption où domine l'hydroxyde de fer correspondent effectivement aux associations organo-minérales caractérisées par des rapports Fe + Al amorphes/C extractible très élevés, bien supérieurs à 1.500 me/100 g de carbone.

Par contre, sur matériau dépourvu de fer (podzols à alios humique), les associations organo-minérales ont effectivement une charge métallique Fe + Al amorphes/C extractible inférieure à 1.500 me/100 g de carbone. L'analyse chimique apporte une précision supplémentaire en indiquant en outre qu'il s'agit essentiellement de complexes [vrais] d'aluminium.

3. En résumé, l'étude globale par ATD confirme les résultats obtenus avec les deux réactifs d'extraction : il existe deux types de complexes, les uns chargés en fer, les autres surtout chargés en aluminium.

En ce qui concerne les propriétés des complexes, l'étude précise aussi qu'il s'agit soit de complexes d'adsorption riches en fer, soit de complexes vrais mobiles.

Remarquons par ailleurs que la confrontation des résultats obtenus par les différents réactifs d'extraction et ceux obtenus par l'ATD montre que le tétraborate extrait de façon préférentielle les complexes vrais pauvres en fer, tels qu'ils existent dans les podzols à alios humique, alors que le pyrophosphate moins sélectif extrait également des complexes d'adsorption plus riches en fer, typiques des podzols à  $B_h$  meuble.

## C. — ANALYSE DES COMPLEXES ORGANO-METALLIQUES.

### 1. Extraits au tétraborate :

Les résultats obtenus à partir du  $B_h$  de podzol à alios humique sont consignés dans le tableau 3. Le pourcentage de fer extrait par le tétraborate est élevé, mais n'atteint pourtant pas le taux de fer dithionite. La teneur pratiquement nulle en silice vérifie l'absence d'impuretés argileuses.

La dialyse, qui apporte des renseignements sur les propriétés des constituants, indique que le fer extrait par le tétraborate est inclus dans des molécules organiques formant des complexes non dialysables.

La décationisation des éléments non dialysables, dits éléments « complexés », permet de retrouver, à l'issue de l'opération, les éléments métalliques qui font partie de complexes stables, les autres se trouvant fixés sur l'échangeur de cations. Cette



expérience montre que l'extrait tétraborate renferme beaucoup de complexes de fer stables.

L'aluminium extrait au tétraborate est inclus dans des complexes assez stables, un peu moins cependant que les complexes de fer.

TABLEAU 3

REACTIF D'EXTRACTION	ELEMENT EXTRAIT						Fraction non dialysable % de l'extrait (complexe)		Complexe stable % du complexe total	
	% du sol			% de l'élément extrait au dithionite						
	Fe	Al	Si	Fe	Al	Si	Fe	Al	Fe	Al
Tétraborate	1,5	6	# 0	79	100	0	99	45	80	63
Pyrophosphate	2,1	6	# 0	100	100	0	47	15	68	0

### 2. Extraits au pyrophosphate :

Les pourcentages de fer et d'aluminium extraits par le pyrophosphate sont très forts et atteignent 100 % du fer et de l'aluminium dithionite. Là encore on vérifie l'absence d'impuretés argileuses (tableau 3).

Contrairement à ce qui était observé pour le tétraborate, une proportion importante de fer devient dialysable (53 %) avec le pyrophosphate.

Si l'on admet que le pyrophosphate extrait uniquement du fer complexé (McKEAGUE et SHELDRIK, 1977), on doit reconnaître que celui-ci doit être en partie déplacé de la molécule complexante par l'anion pyrophosphate. Ce phénomène a déjà été observé par BRENNER *et al.* (1966) et par BRUCKERT et METCHE (1972).

La même observation peut être faite pour l'aluminium. Enfin on peut constater que les extraits au pyrophosphate renferment des complexes stables de fer (mais en proportion inférieure aux extraits tétraborate)... mais aucun complexe stable d'aluminium.

### 3. Discussion:

Si l'analyse des complexes organo-métalliques donne une réponse différente pour le fer et pour l'aluminium (le fer donne des complexes plus stables), le réactif d'extraction modifie d'autre part nettement la réponse. L'analyse spectrale infra-rouge précise encore cette différence ; la figure VI présente quatre bandes remarquables qui varient d'intensité deux à deux :

- 1.725-30  $\text{cm}^{-1}$  et 1.240-70  $\text{cm}^{-1}$  correspondent à la double liaison  $\text{C}=\text{O}$  des groupements carboxyles  $\text{COOH}$  ;
- 1.625-40  $\text{cm}^{-1}$  et 1.390-1.430  $\text{cm}^{-1}$  correspondent à la liaison simple  $\text{C}-\text{O}$  des carboxylates.

Ainsi les composés obtenus par le tétraborate présentent, après décationisation, des bandes IR dues aux  $\text{C}-\text{O}$  de  $\text{COO}^-$  plus intenses que celles dues aux  $\text{C}=\text{O}$  de  $\text{COOH}$ . On constate l'inverse pour les composés obtenus par le pyrophosphate.

Le rapport carboxyle/carboxylate, plus faible pour le tétraborate, précise que les carboxylates sont donc mieux conservés avec ce réactif.

Ce test constitue une confirmation des résultats obtenus par les analyses après décationisation et dialyse, qui permettaient de conclure à une stabilité plus grande

des complexes organo-métalliques extraits au tétraborate ; par ailleurs ceux-ci seraient plus représentatifs des associations organo-minérales de l'horizon étudié que les extraits au pyrophosphate.

En résumé, il semble bien que le tétraborate respecte mieux les liaisons organo-métalliques.

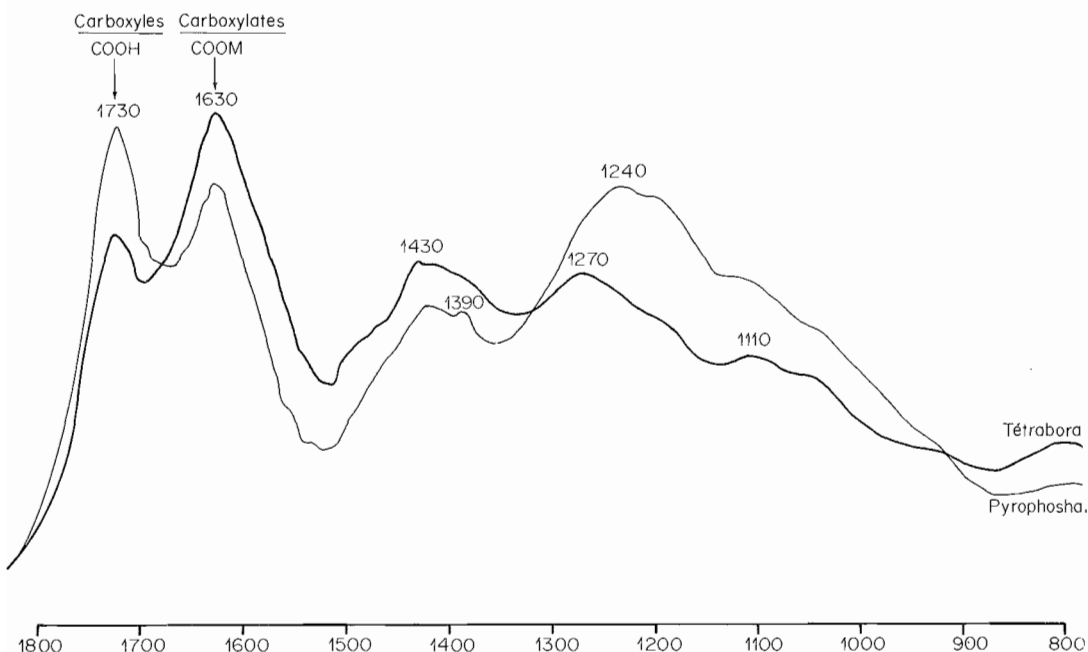


FIGURE VI. — Analyse spectrale infra-rouge des extraits au tétraborate ou au pyrophosphate du  $B_n$  d'un podzol à alios humique (spectre en absorbance)

#### D. — ANALYSE DES COMPOSES HUMIQUES DES EXTRAITS TETRABORATE.

##### 1. Bilan du fractionnement de la matière organique :

Le taux d'extraction est élevé (70 à 85) dans tous ces horizons  $B_n$ .

On remarque :

- l'importance des acides humiques dans tous ces podzols du Bassin Parisien, et leur dominance dans les podzols à alios humique. On constate en effet un rapport  $\frac{C^{AH}}{C^{AF}}$  de 6, ce qui est pratiquement l'inverse du rapport observé dans un B spodique de podzol sur granite vosgien ;
- l'augmentation du C/N depuis les podzols à  $B_n$  meuble jusqu'aux podzols à alios humique, ceci aussi bien pour les acides humiques que pour les acides fulviques (et pour les horizons eux-mêmes).

Les substances humiques des podzols à  $B_n$  meuble sont donc beaucoup plus riches en N.

TABLEAU 4. — Bilan du fractionnement de la matière organique

SOL HORIZON	SOL TOTAL CZ (C/N) (C/H)	Tetraborate C/C total % (C/N)		$\frac{C_{AH}}{C_{AF}}$	Granulométrie C/C total % Poids % du sol			Total %	Taux extrac- tion carbone
		AF	AH		-50 $\mu$	-100 $\mu$	2000 $\mu$		
<b>PODZOL MEUBLE</b>									
Fontainebleau (3) Bh	0,5 (24) (0,75)	29 (36)	49 (21)	1,7	21 4,0	0,7 2,3	0,1 93,7	99,8 100	78
<b>PODZOL INTERMEDIAIRE</b>									
Villers Cotterets Bh (8)	1,6 (35) (1,35)	43 (40)	42 (29)	1	11 2,2	0,1 2,4	1,3 95,4	98,4 100	85
<b>PODZOL ALIOTIQUE</b>									
Villers Cotterets Bh (1)	7,3 (52) (1,10)	10 (60)	60 (49)	6,0	25 5,4	0,5 0,4	4 92,4	99,5 100	70

## 2. Analyse thermo-différentielle :

Cette analyse donne des résultats apparemment différents de ceux obtenus sur le sol global, du moins pour les podzols à B<sub>n</sub> meuble : en effet, l'analyse sur les AH indique des complexes vrais dispersables hydrolysés et/ou cationiques, dont les cendres sont surtout alumineuses.

Les podzols aliotiques présentent des complexes vrais à charge faible en fer, sur le sol global comme sur les AH. L'extraction alcaline et la purification en milieu acide a donc détruit en grande partie les complexes d'adsorption floculés, formés essentiellement d'hydroxydes ferriques qui caractérisent les complexes des podzols à B<sub>n</sub> meuble (résultats ATD sur sol global).

Cette constatation étant faite, on retrouve bien l'opposition entre les podzols à B<sub>n</sub> meuble constitués de complexes vrais enrobés dans un gel floculé riche en hydroxyde de fer [complexe d'adsorption]... et les podzols à alios humique constitués de complexes vrais essentiellement alumineux.

## 3. Spectrographie infra-rouge :

Cette méthode renseigne sur la structure des composés, les bandes d'absorption correspondant à certains groupements. Les différences essentielles (figure VII) portent sur les proportions des groupements carboxyles (pics 1.730 et 1.720 cm<sup>-1</sup>) et des groupements carboxylates (pics 1.640 et 1.430 cm<sup>-1</sup>).

Pour les podzols à B<sub>n</sub> meuble, dominent les groupements carboxylates.

Pour les podzols à alios humique, apparaît, à côté des groupements carboxylates, une proportion notable de carboxyles, ce qui détermine des liaisons organo-minérales moins nombreuses en relation avec la teneur relative en matière organique plus élevée.

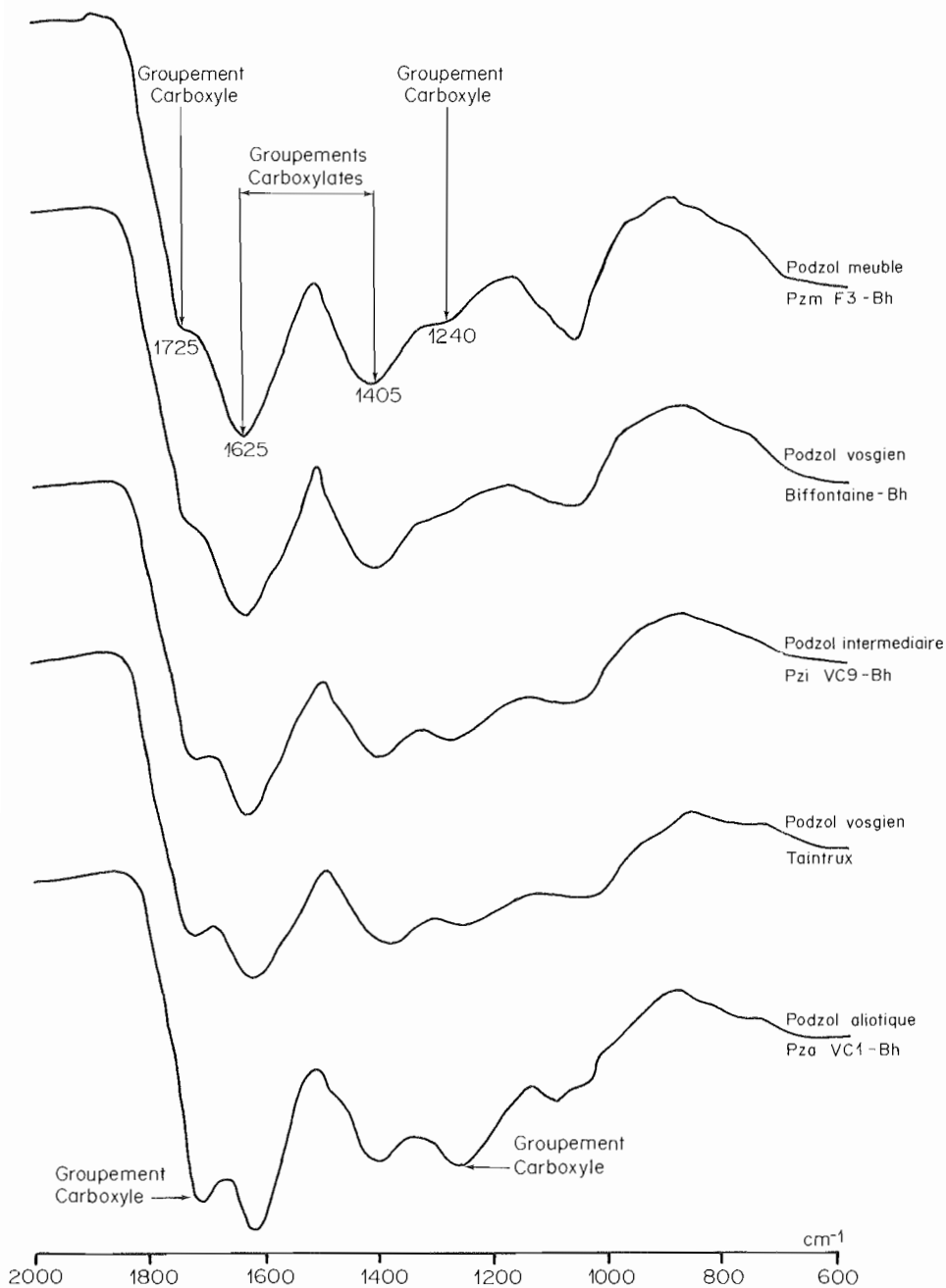


FIGURE VII. — Spectres infra-rouges des acides humiques

#### 4. Hydrolyse acide :

L'hydrolyse se traduit par une décroissance, depuis les B<sub>n</sub> meubles jusqu'aux B<sub>n</sub> aliotiques, du caractère hydrolysable du carbone (on passe de 66 % à 38 %) et de l'azote (on passe de 90 % à 65 %).

Par ailleurs, le bilan des formes de l'azote indique une répartition égale entre la forme  $\alpha$  aminée (48 %) et la forme combinée (51 %) de N hydrolysable pour les podzols à B<sub>n</sub> meuble. Dans les podzols à alios humique, la proportion de la forme  $\alpha$  aminée est nettement inférieure (35 %) à celle de la forme combinée (64 %).

Ainsi trois facteurs essentiels contribuent à accentuer la divergence entre ces deux types extrêmes de podzols :

- la teneur en azote alcalino-soluble ;
- la teneur en acides fulviques ;
- le taux d'azote hydrolysable et d'azote  $\alpha$  aminé des acides humiques.

Ils décroissent en même temps, et très sensiblement, des B<sub>n</sub> meubles aux B<sub>n</sub> aliotiques. Cette évolution simultanée va donc bien dans le sens d'une stabilité de plus en plus poussée de la matière organique accumulée après migration en B<sub>n</sub>. Ceci correspond d'ailleurs aux résultats apportés par le <sup>14</sup>C, selon lesquels une minéralisation très forte et un turn-over actif (datation moderne) caractérisent les podzols à B<sub>n</sub> meuble, tandis que l'âge minimum (3.000 ans) des podzols à alios humique précise un turn-over très lent et une minéralisation très réduite (ROBIN et GUILLET, 1981).

#### 5. Conclusion :

Ainsi les composés humiques, dits « mobiles », des podzols à B<sub>n</sub> meuble assez riches en fer (de même que ceux des podzols vosgiens) s'opposent à ceux des podzols à alios humique pauvres en fer : ils sont moins polymérisés, plus riches en azote aminé hydrolysable et les groupements fonctionnels sont saturés en fer (rapport Fe/anion élevé). Au contraire les AH des podzols à alios humique sont caractérisés par une forte polymérisation des noyaux aromatiques, une disparition partielle de l'azote aminé, donnant à la matière organique sa très grande stabilité à l'égard de la biodégradation microbienne, et sa couleur foncée.

### III. — CONCLUSION.

Compte tenu des deux facteurs pédogénétiques essentiels des milieux étudiés — lithologique et biologique — l'analyse des complexes organo-minéraux permet maintenant d'appréhender, dans une certaine mesure, les processus chimiques et physico-chimiques de la podzolisation.

Sur sables sans minéraux phylliteux ferromagnésiens, les complexes organo-minéraux sont des composés humiques, avec un rapport métal/carbone faible. Ce sont des complexes vrais d'aluminium renfermant un peu de fer. Le taux d'extraction de ce fer, par un réactif alcalin peu complexant de la fraction minérale comme le tétra-borate de sodium, y est très élevé.

L'aluminium trouve son origine dans l'altération de quelques feldspaths (orthose) et sans doute aussi de quelques argiles non ferrifères (kaolinite) contenus en très faible quantité dans le matériau très quartzeux.

La fraction organique provient d'une matière première très riche en polyphénols (Callune) : de ce fait (JUNG *et al.*, 1968, SCHVARTZ *et al.*, 1975), elle est constituée surtout de noyaux aromatiques polycondensés, portant peu de chaînes latérales aminées, et elle a acquis une très haute stabilité contre la dégradation biologique.

Sur sables contenant des minéraux phylliteux ferromagnésiens, les complexes ont une tout autre composition et un tout autre comportement. Ils renferment du fer et des composés humiques, avec un rapport métal/carbone élevé : l'extractibilité du fer est beaucoup moins grande que dans le cas précédent. Le fer est inclus dans des complexes d'adsorption.

Le fer provient de l'altération des minéraux phylliteux ferromagnésiens.

La fraction organique « tourne » assez rapidement dans un cycle où les matières premières et les acides humiques restent biodégradables : de ce fait, elle renferme cette fois une proportion relativement élevée de chaînes aminées intégrées aux acides humiques par les micro-organismes, et l'ensemble du complexe organo-minéral demeure peu humifère.

---

## SUMMARY

### GENESIS AND EVOLUTION OF PODZOLISED SOILS IN THE PARIS BASIN II. — ANALYSIS OF ORGANO-MINERAL COMPLEXES

*As we have said in the last note (ROBIN et GUILLET), the genesis of the podzolised soils in the Paris Basin, ever developed on the well drained sandy parent material, seems to be mainly binded to the nature of material in the extreme cases. The vegetation has the first part only for intermediate types.*

*In any case material and vegetation affect the composition of organo-mineral complexes.*

*The analysis of iron and aluminium's forms in the B<sub>n</sub> horizons, the analysis of organo-metallic complexes and of humic compounds allow to say :*

*— Above pure sands, without ferromagnesian minerals, the soils which are podzols with a humic alios have, in B<sub>n</sub> horizons, organo-metallic complexes with a weak report metal/carbon (table 2). Aluminium is the main metal of these complexes (figure III); it comes from alteration of the few unusual minerals : feldspaths and probably kaolinite. The iron, not important, has a high extractibility with the alcalin reactives like Tetraborate (figure V.)*

*The Calluna, only vegetation which adapts to the material's poorness determines an organic matter rich in polyphenols, constituted of aromatic polycondensed nucleus with few lateral amin chains. It is very stable, fast fossil.*

*— Above sands with any ferromagnesian minerals the soils are ocre-podzolic or podzols with a loose B<sub>n</sub>. The organo-metallic complexes have, in contrary of the last case, a high report metal/carbon (table 2) and a dominance of iron (figure II) from chlorite's alteration; this metal is, on the other hand, less extractible.*

*The vegetation of deciduous woodland gives a biodegradable organic part, with amin chains.*

— *When the degradation of deciduous woodland brings about implantation of Calluna above the materials with any ferromagnesian minerals, the podzols showing a progressive cementation in the B<sub>n</sub> horizons have organo-metallic complexes with intermediate characters.*

*The study shows also the dominance of humic acids above fulvic acids in all these soils but especially in the podzols with humic alios (table 4). There are more organo-metallic bounds in the humic acids of podzols with loose B<sub>n</sub>, report to the importance of organic matter (figure VII).*

*In other hand a comparison between the two reactives Tetraborate and Pyrophosphate (figure V, tableau 3) shows that Tetraborate more respects the organo-metallic bounds (figure VI).*

---

## Bibliographie

- BREMNER J.-P., HEINTZE S.G., MANN P. et LEES H. (1966). — **Nature, London**, **158**, 790-791.
- BRUCKERT S. et METCHE M. (1972). — **Bull. E.N.S.A.I.A.**, **14**, 263-275.
- BRUCKERT S. (1979). — Pédologie. Tome 2. Bonneau M. et Souchier B. Ed. Masson, Paris, 187-209.
- DUPUIS Th., JAMBU P. et DUPUIS J. (1970). — **Ann. Agron.**, **21** (1), 75-94.
- GUILLET B. et ROBIN A.-M. (1972). — **C.R. Acad. Sci. Paris**, **274**, 2859-2862.
- GUILLET B. (1972). — Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 112 p.
- JAMBU P. DUPUIS Th. et GARAIS J. (1975). — I. - **J. Thermal Anal.**, **8**, 87-97. II. - **J. Thermal Anal.**, **8**, 231-237.
- JAMBU P. et RIGHI D. (1973). — **Science du Sol, Bull. A.F.E.S.**, **3**, 207-219.
- JUNG G., BRUCKERT S. et DOMMERGUES Y. (1968). — **Oecol. Plant.**, **III**, 237-253.
- McKEAGUE J.A. et SCHELDRIK B.H. (1977). — **Geoderma**, **19**, 97-104.
- ROBIN A.-M. et DE CONINCK F. (1978). — Proc. 5th Intern. Working meet. on soil micromorphology, Granada, 1019-1050.
- ROBIN A.-M. (1979). — Thèse Doct. Etat, 112 p.
- ROBIN A.-M. et GUILLET B. (1981). — Science du Sol (article précédent).
- ROBIN A.-M., GUILLET B. et DUCHAUFOR Ph. (1981). — **Revue Forestière Française** (sous presse).
- SOUCHIER B. (1971). — Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy, I. **Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.**, **33**, 134 p.
- SCHVARTZ Ch., BRUCKERT S., JACQUIN F. (1975). — Coll. Intern. Biodégradation et Humification : communication.
- SCHWERTMANN U. (1964). — **Z. Pflanz. u. Bodenk.**, **105**, 194-202.

