

## ETUDE COMPARATIVE DE LA DEGRADATION BIOLOGIQUE DES COMPLEXES ORGANO-FERRIQUES DANS QUELQUES TYPES DE SOLS

Y. DOMMERGUES et Ph. DUCHAUFOUR (\*)  
Centre de Pédologie du C. N. R. S., Nancy

### SOMMAIRE

*La densité des microorganismes minéralisant le citrate de fer ammoniacal, dans les profils de différents sols : sols bruns lessivés, sols ocre podzoliques, podzols, a servi de base à l'étude de l'évolution des complexes organo-ferriques dans les sols, notamment leur migration et leur accumulation en B.*

1) *L'activité minéralisatrice de ces complexes est maxima dans les sols bruns lessivés, moyenne dans les sols ocre podzoliques, minima dans les podzols.*

2) *L'activité minéralisatrice décroît très vite vers la profondeur dans les sols bruns lessivés ; dans les podzols, on note un minimum en A<sub>2</sub> et deux maxima en A<sub>1</sub> et B.*

3) *La proportion de microorganismes minéralisateurs par rapport à la microflore totale est élevée dans les sols à mull, faible dans les podzols.*

4) *On a pu déduire de ces résultats que l'accumulation du fer en B était due à la minéralisation des complexes dans les sols bruns lessivés (accumulation biologique), et au contraire à des causes physico-chimiques différentes dans les podzols (accumulation physico-chimique).*

### I. — BUT ET OBJET DE CETTE ETUDE.

Il est maintenant bien connu que la migration du fer et de l'aluminium, dans la plupart des sols, a lieu sous forme de complexes organominéraux : ce processus fondamental a été mis en évidence par de

---

(\*) Collaboration technique : Monique DUSAUSOY et Geneviève BECK.

nombreux auteurs en particulier, BETREMIEUX (1951), BLOOMFIELD (1955-1956), LOSSAINT (1959).

Il est évident que ce processus d'entraînement est en relation très étroite avec l'activité microbiologique des sols : la fraction organique subit une transformation plus ou moins rapide, au fur et à mesure qu'elle migre, ce qui provoque la libération du fer et sa réabsorption par les argiles (BLOOMFIELD, 1956).

Mais on sait d'autre part que l'évolution des complexes organiques est très différente suivant les types de sols : sols lessivés biologiquement actifs, et podzols biologiquement peu actifs ; l'étude analytique des profils montre, en effet, que la matière organique qui migre, dans les premiers, se minéralise rapidement et disparaît des horizons B, alors que dans les seconds, au contraire, elle persiste et s'accumule en B. Cette opposition entre les deux types de sols paraît liée à deux facteurs fondamentaux : 1) la nature des complexes, certains étant très difficilement métabolisables par les microorganismes ; 2) la quantité globale des complexes facilement métabolisables mis à la disposition des microorganismes.

Dans cette note préliminaire, nous nous limiterons à l'étude des complexes métabolisables existant dans le profil des types de sols envisagés : la méthode qui s'impose consiste à prendre pour base un complexe simple et bien défini dont on sait qu'il joue un rôle prépondérant dans tous les types de sols aussi bien lessivés que podzoliques.

La seconde étape consistera à étudier les complexes des sols eux-mêmes après les avoir analysés et avoir étudié leurs différences de composition : elle fera l'objet d'un travail ultérieur.

Le problème consistait alors à choisir un « complexe » organo-ferrique simple, aussi représentatif que possible des phénomènes naturels. Si l'on consulte la plupart des auteurs qui ont analysé les complexes pseudosolubles des sols, on constate que les corps les plus actifs sont de toute évidence les acides organiques (KAURITCHEV, 1961). Récemment, SCHNITZER (1964), puis MUIR et al (1964), ont montré le pouvoir complexant très élevé d'acides organiques comprenant plusieurs groupements carboxyles et un groupement oxhydrile, tels que l'acide citrique qui joue certainement un rôle essentiel dans le processus d'entraînement de la plupart des sols acides. D'autre part, ces auteurs ont montré que le fer était complexé aussi bien à l'état ferrique qu'à l'état ferreux. Ces considérations nous ont conduits à choisir pour ces recherches préliminaires le citrate de fer ammoniacal qu'il est facile de se procurer dans le commerce.

On sait depuis longtemps que certains microorganismes hétérotrophes du sol sont capables de dégrader de nombreux sels de fer organiques (citrate, lactate, acétate, albuminate) en libérant le fer qui précipite (HARDER, 1919). Les microorganismes responsables sont essentiellement des bactéries appartenant aux genres *Aerobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Serratia*, *Corynebacterium* ; mais plusieurs champignons filamenteux, des Actinomycètes et d'autres microorganismes, peuvent également intervenir (ARISTOVSKAYA, 1958 ; ALEXANDER, 1961).

On sait également que la présence d'un groupe de microorganismes dans le sol est fonction de la quantité du substrat nécessaire à son développement mis à sa disposition.

D'où l'idée de détecter la présence dans le sol de sels organiques de fer ou des complexes organo-ferriques métabolisables par la microflore et d'évaluer leur teneur en se fondant sur la densité des microorganismes métabolisant ces substances. Il s'agit en somme d'un dosage biologique dont le principe a été adopté dans le domaine de la recherche des hydrocarbures (HITZMAN, 1960).

Nous avons admis dans cette étude que les microorganismes, se développant sur le citrate de fer ammoniacal en libérant le fer, étaient également capables de dégrader les complexes organo-ferriques métabolisables ; nous avons désigné ici ce groupe de microorganismes spécialisés sous le nom de *microorganismes minéralisant le fer organique*.

## II. — CHOIX DU MATERIEL : TYPES DE SOLS ETUDIÉS.

Les sols étudiés ont été choisis de façon à permettre une double comparaison : 1) comparaison des processus d'entraînement du fer par « lessivage » en milieu biologiquement actif, avec le processus de « podzolisation » en milieu biologiquement peu actif ; 2) comparaison de l'influence de types d'humus différents sur les processus d'entraînement du fer ; les sols étudiés sont caractérisés par les types d'humus fondamentaux, mull calcique, mull forestier, moder, mor ; de plus, en fonction de la nature de la végétation forestière et des profils hydriques, il sera possible de distinguer deux types de mull forestier : mull forestier proprement dit, opposé au mull actif plus frais et plus riche en azote ; et deux types de moder : moder de feuillu plus actif que le moder de résineux.

Les sols étudiés ont été répartis en trois groupes fondamentaux (avec, en outre, une rendzine, à titre de comparaison) :

- 1) les sols bruns lessivés à mull ;
- 2) les sols ocre podzoliques à moder ; le premier profil, sous feuillu, représentant une forme de transition dite « sol brun ocreux acide », à moder de feuillu ;
- 3) les podzols humo-ferrugineux à mor.

Les profils de chaque groupe diffèrent peu par la morphologie, bien qu'ils présentent des particularités, montrées par l'analyse (cf. tableau I), par exemple : richesse en azote, en bases échangeables, en argile assurant une plus ou moins grande humidité ; nous ne décrirons donc en détail qu'un profil par groupe.

### I. — SOLS BRUNS LESSIVÉS A MULL (BI).

Ces sols, dont l'évolution est conditionnée par le processus de « lessivage », caractérisent la Chênaie-Hêtraie du plateau lorrain, sur marnes et calcaires marneux du lias, ou sur terra fusca et calcaire bajocien.

*Profil type :*

- A<sub>0</sub> : litière très transitoire.  
 A<sub>1</sub> (épaisseur : 5-10 cm) : mull mésotrophe, très aéré, à structure grumeleuse.  
 A<sub>2</sub> (épaisseur : 20-30 cm) : horizon limoneux, brun clair ou beige, structure en fins grumeaux à tendance lamellaire.  
 B : horizon plus compact, ocreux, structure polyédrique à enrobements brillants très caractéristiques ; pour les deux premiers profils, cet horizon passe à un horizon Bg à taches ocres sur fond beige.

Bl<sub>1</sub> : Sol brun lessivé à mull actif, sur marnes aaléniennes, canton de Grande-Fraize (Forêt de Haye, Meurthe-et-Moselle).

*Végétation* : Chênaie à espèces caractéristiques du mull actif : *Ficaria ranunculoïdes*, *Angelica sylvestris*, *Pulmonaria officinalis*, *Arum maculatum*.

Ce profil, caractérisé par une « marmorisation » plus ou moins accentuée de la partie inférieure de B, doit à son économie de l'eau et au cycle de l'azote très favorable (C/N bas) une activité biologique élevée : le mull est un « mull actif » ; les deux autres profils sont des sols bruns forestiers à mull de type habituel.

Bl<sub>2</sub> : Sol brun lessivé à mull forestier, sur marne à Hippopodium (Sinemurien), forêt d'Amance (Meurthe-et-Moselle).

*Végétation* : Chênaie à *Tilia cordata*, à flore classique du mull.

Bl<sub>3</sub> : Sol brun lessivé à mull, sur terra fusca et calcaire bajocien fissuré, canton Nanquette (Forêt de Haye).

*Végétation* : Hêtraie pure à flore classique de mull (*Poa chaixii*, *Asperula odorata*, etc...).

2. — RENDZINE (R).

Un seul profil a été étudié (désigné par R), cela dans un but de comparaison : c'est une rendzine sur colluvium calcaire de bas de pente, à Bonnefontaine (Forêt de Haye).

Le profil est simple : sous un petit A<sub>0</sub>, litière 2 cm, on trouve un A<sub>1</sub> gris-noir, très aéré à gros grumeaux, parsemé de cailloux calcaires, qui passe graduellement à un horizon C sur 30 cm environ, par diminution progressive de la teneur en matière organique. La teneur en CO<sub>2</sub>Ca qui ne figure pas sur le tableau I, est de 25 % en surface, et 75 % en profondeur (— 25 cm).

3. — SOLS OCRE PODZOLIQUES A MODER (BO et OP).

Ces sols caractérisés par une *podzolisation* commençante, s'observent sur roche-mère acidé : grès rhétien, grès triasique, granite vosgien ; la migration d'acides fulviques dispersés est déjà marquée, mais l'enrichissement du fer, encore réduit, ne permet pas la différenciation d'un horizon A<sub>2</sub>.

**TABLEAU I**  
*Caractères analytiques des sols et des horizons étudiés*  
*% sol sec à l'air*

	Horizons	Prof.	C	N	C/N	pH	S (1)	T (1)	S/T	Fer	Argile
<b>SOLS BRUNS LESSIVES</b>											
B1 <sub>1</sub> Grande Fraize	A <sub>1</sub>	-2	2,68	0,25	10,7	5,4	12,02	16,5	73,2	2,28	22,6
	A <sub>2</sub>	-12	2,10	0,127	16,1	4,2	4,20	15	28,0	2,77	28,5
	B <sub>1</sub>	-26	1,27	0,092	13,8	4,8	8,86	17,75	49,8	3,39	35,6
	B <sub>2</sub>	-55	1,02	0,091	11,2	5,5	21,61	26,5	85,0	2,97	54,4
	B <sub>g</sub>	-75	0,28	0,027	10,2	7,5	sat.	13,75	sat.	2,94	36,0
B1 <sub>2</sub> Amance	A <sub>1</sub>	-2	2,65	0,192	13,70	4,7	8,50	18,75	45,33	1,08	28,1
	A <sub>2</sub>	-20	1,17	0,103	11,35	4,5	4	13,25	30,19	1,47	27,5
	AB	-31	0,925	0,075	12,32	4,8	6	13,5	44,44	1,35	27,0
	B	-45	0,46	0,055	8,36	4,8	10,66	22,5	47,38	1,50	37,0
	C <sub>g</sub>	-65	0,42	0,053	7,92	4,6	13,50	21,75	62,07	2,03	41,5
B1 <sub>3</sub> Nanquette	A <sub>1</sub>	-2	4,7	0,26	18,1	5,2	10,3	17,5	58,5	1,26	15,3
	A <sub>2</sub>	-10	1,48	0,096	15,4	4,6	3,41	10,37	32,9	1,11	15,2
	B-C	-28	0,69	0,061	11,3	4,4	1,33	13,25	9,06	2,05	19,2
	C	-50	0,60	0,063	9,52	4,5	6,41	19,5	87	3,23	40,5
<b>RENZINE</b>											
R Bonne-Fontaine	A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	-2	11,2	0,72	15,56	7,7				1,42	
	A <sub>1</sub>	-11	7,5	0,63	11,9	7,5		42,5		1,71	
	A <sub>2</sub>	-22	6,5	0,51	12,7	7,6		37,2		1,32	
	A <sub>3</sub>	-33	4,05	0,43	9,4	7,7		26,7		0,97	
	C	-47	2,67	0,27	9,9	8,0		23,5		1,15	
<b>SOL BRUN OCREUX</b>											
B0 Bezanges	A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	-2	10	0,58	17,3	4	8,05	20,25	40	0,18	7,0
	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	-15	2,80	0,115	24,3	3,5	0,70	5,5	12,7	0,12	7,9
	B <sub>1</sub>	-22	1,53	0,060	25,5	3,7	0,45	5,0	9	0,22	7,9
	B <sub>2</sub>	-35	0,81	0,031	26,3	3,9	0,33	4,5	7,3	0,36	7,2
	C	-80	0,46	0,022	20,9	3,9	0,28	4,15	6,6	0,85	8,2
<b>SOLS OCRE PODZOLIQUES</b>											
OP <sub>1</sub> Route de Liocourt	A <sub>1</sub>	-10	8,40	0,40	21	3,7	1,39	29,5	4,71	1,77	16,2
	B <sub>1</sub>	-15	5,07	0,20	25,3	4,4	0,75	24,5	3	2,25	16,5
	B <sub>2</sub>	-32	2,30	0,08	28,5	5	0,437	22,75	1,9	1,95	8,8
	B-C	-52	2,77	0,096	28,8	4,7	0,388	21,25	1,8	2,02	
OP <sub>2</sub> Bruyères	A <sub>0</sub>	2	19,4	0,65	29,8	3,5	4,42	36,75	12,03	0,18	
	A <sub>1</sub>	-5	6,23	0,207	30,1	3,5	1,12	11,25	9,95	0,20	4,2
	B <sub>1</sub>	-20	1,91	0,06	31,8	4,5	1	8,75	11,43	0,51	7,3
	B <sub>2</sub>	-39	0,97	0,033	29,4	4,9	0,92	7,25	12,69	0,46	9,5
	C	-76	0,061	0,01	6,15	4,7	0,92	3,50	26,3	0,41	9,4
<b>PODZOLS</b>											
P <sub>1</sub> Biffontaine	A <sub>0</sub>	2	31,4	0,98	32	3,7	10,33	72,25	14,30	0,11	
	A <sub>1</sub>	-11	1,75	0,114	15,35	3,7	1,08	4,75	22,74	0,13	5,3
	A <sub>2</sub>	-40	0,37	0,015	23,6	4,6	1,33	2,50	53,20	0,06	3,7
	B <sub>1</sub>	-61	1,97	0,081	24,3	4,3	1,33	15,50	8,58	0,28	14,9
	B <sub>2</sub>	-66	0,064	0,031	20,82	5,5	0,92	9,75	9,43	0,31	3,2
P <sub>2</sub> Taintxux	A <sub>1</sub>	-13	2,95	0,079	37,3	3,1	1,33	11	12,1	0,04	3,6
	A <sub>2</sub>	-30	0,23	0,008	26,7	3,6	0,83	3,10	26,77	0,07	2,9
	B <sub>1</sub>	-38	3,27	0,059	55,4	3,3	1,33	22,12	5,25	0,39	14,0
	B <sub>2</sub>	-42	2,33	0,040	58,2	4,5	1,91	22,5	8,65	0,40	11,6
	C	-100	0,092	0,004	18,8	4,5	1,12	4,75	23,58	0,31	
P <sub>3</sub> Gérardmer	A <sub>2</sub>	-7	4,61	0,28	16,4	3,4	0,508	12,25	4,1	0,28	7,4
	A-B	-27	3,50	0,14	25	4,3	0,29	15	1,9	0,84	11,5
	B <sub>1</sub>	-42	4,24	0,165	25,6	4,8	0,37	38	9,7	2,07	11,2
	B <sub>2</sub>	-47	5,60	0,182	30,7	4,9	0,238	40	5,9	0,84	14,5
	CD	-65	0,68	0,035	19,4	5,1	0,15	6,5	2,3	0,43	

(1) en m. é. pour 100 g de sol sec à l'air.

Le profil type est le suivant :

- A<sub>0</sub>A<sub>1</sub> (épaisseur : 10-15 cm) : Humus de type « moder » de couleur noire, à structure fondue, à quartz translucides ; pas de limite nette entre l'horizon A<sub>0</sub> de 2 à 3 cm et l'horizon A<sub>1</sub>.
- B<sub>1</sub> (épaisseur : 10-12 cm) : horizon brun ocre, souvent par taches, caractérisé par un début d'accumulation de matière organique.
- B<sub>2</sub> (épaisseur : 20-30 cm) : horizon ocreux ou rouille ; encore meuble, pénétré par les racines ; altération intense de la roche mère gréseuse.

BO : Le premier type étudié est un sol de transition avec les sols bruns acides : « sol brun ocreux » : provenant de la forêt de Bezanges (Meurthe-et-Moselle) ; il est formé sous feuillu (Chênaie, Hêtraie), sur grès rhétien et son humus « moder de feuillu » fait transition avec celui de B<sub>1</sub>.

Ce sol peut néanmoins être rapproché des sols ocre podzoliques en raison de la couleur vive de l'horizon (B).

Les deux autres sols, qui sont typiquement des « ocre podzoliques » sont formés sous forêt résineuse, sur grès vosgien ou granite dans les Vosges.

OP<sub>1</sub> : Forêt de Gérardmer (Vosges), route de Liocourt. Roche-mère : granite.

Végétation : Sapinière à *Vaccinium myrtillus* et *Hypnum loreum*.

OP<sub>2</sub> : Forêt de Bruyères (Vosges). Roche-mère : grès vosgien exposition sud, altitude 500 m.

Végétation : Pin sylvestre et Chêne. *Calluna vulgaris*, *Pteridium aquilinum*, *Molinia coerulea*.

#### 4. — PODZOLS HUMO-FERRUGINEUX A MOR (P).

Les sols étudiés proviennent tous de la forêt résineuse vosgienne, clairière (Pinaie), à végétation de *Calluna vulgaris*, *Vaccinium myrtillus*, *Pteridium aquilinum*, sur versant exposé au sud ; altitude moyenne 800 m.

Le profil très classique, est le suivant :

- A<sub>0</sub> (épaisseur : 10 cm) : mor brun noir, fibreux.
- A<sub>1</sub> (épaisseur : 5-10 cm) : horizon sableux, gris, à quartz brillant, structure particulière.
- A<sub>2</sub> (épaisseur : 20-30 cm) : horizon cendreux, particulière, sableux.
- B<sub>1</sub> (épaisseur : 2-5 cm) : accumulation humique, horizon noir à enrobements amorphes, encore meuble.
- B<sub>2</sub> (épaisseur : 5-15 cm) : alios ferrugineux durci, de couleur rouille vif.

Les deux premiers sols P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> sont formés sur grès vosgien, le troisième P<sub>3</sub> s'est développé sur un colluvium granitique (forêt de Gérardmer). Il importe de souligner que le profil P<sub>1</sub> (forêt de Biffontaine), s'il est morphologiquement très évolué, présente, sur le plan analytique, des différences marquées avec les deux autres : *il est plus riche en azote et en bases* dans les horizons humifères : dans ces conditions, il est facile de prévoir que, du point de vue biologique, il constituera une transition avec les sols ocre podzoliques.

### III. — METHODES D'ETUDE MICROBIOLOGIQUE.

#### 1. — METHODES DE PRÉLÈVEMENT.

Les prélèvements ont été faits au printemps (avril 1964) à l'exception des sols Bl 1 bis, Bl<sub>2</sub>, P<sub>1</sub>, qui ont été prélevés en octobre et novembre 1964. Les échantillons de sol ont été analysés à l'état frais, c'est-à-dire au plus tard 15 heures après le prélèvement. Cette précaution est indispensable, car les microorganismes impliqués dans la minéralisation du fer organique sont très sensibles à la dessiccation. Ils se conservent également mal, même dans les échantillons maintenus à l'humidité de prélèvement (DOMMERMES, 1964).

#### 2. — NUMÉRATION DES MICROORGANISMES RESPONSABLES DE LA MINÉRALISATION DU FER ORGANIQUE.

Les bactéries minéralisant le fer sont mises en évidence sur le milieu au citrate de fer ammoniacal (HARDER, 1919) :

Sulfate d'ammonium (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	0,5 g
Nitrate de sodium (NaNO <sub>3</sub> ) .....	0,5 g
Phosphate dipotassique (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ) .....	0,5 g
Sulfate de magnésium (MgSO <sub>4</sub> , 7 H <sub>2</sub> O) .....	0,5 g
Chlorure de calcium (CaCl <sub>2</sub> , 6 H <sub>2</sub> O) .....	0,2 g
Citrate ferrique ammoniacal .....	10,0 g
Eau distillée .....	1 000 ml

que l'onensemence avec des dilutions de sol allant de 10<sup>-1</sup> à 10<sup>-8</sup>.

Les suspensions-dilutions ont été obtenues en agitant mécaniquement pendant 30 minutes dans un appareil tournant à la vitesse de 36 tours par minute, 10 g de sol additionné de 95 ml d'eau stérile en présence de 36 billes de verre de 5 mm de diamètre. C'est à partir de ces suspensions-dilutions à 10<sup>-1</sup> qu'on a fait, avec la technique habituelle (POCHON et TARDIEUX, 1962), des dilutions dans l'eau distillée jusqu'à 10<sup>-8</sup>. Pour chaque dilution ainsi obtenue, on a ensemencé 5 tubes de milieu avec 0,5 ml par tube. Après un séjour de 7 à 14 jours à l'étuve à 30° C, les tubes contenant les bactéries minéralisatrices sont caractérisés par la présence en surface d'une pellicule rouille.

Pour l'interprétation des résultats, on a utilisé la table de Mac Crady (POCHON et TARDIEUX, 1962). Les analyses ont été faites en double exemplaire.

#### 3. — NUMÉRATION DE LA MICROFLORE TOTALE.

La microflore totale a été dénombrée sur milieu gélosé à l'extrait de terre de Lochhead (EDGELL et coll., 1960). Les lectures ont été faites au 7<sup>e</sup> jour.

#### 4. — PRÉSENTATION DES RÉSULTATS.

Les densités des microorganismes sont exprimées à la fois par rapport au sol sec et par rapport au carbone du sol ainsi que le préconisent certains auteurs pour faciliter les comparaisons entre des types de sols éloignés (LEMEE et coll., 1958, LOSSAINT et ROUBERT, 1964).

**TABEAU II**  
*Caractéristiques biologiques des sols étudiés*

	Horizons	Prof.	Microflore totale (7ème jour)		Microflore minéralisant le fer organique (7ème jour)			Microflore minéralisant le fer organique (14ème jour)	
			d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>	$\frac{\log d_3 \times 100}{\log d_1}$	d <sub>5</sub>	d <sub>6</sub>
<b>SOLS BRUNS LESSIVES</b>									
Bl <sub>1</sub> Grande Fraize (printemps)	A <sub>1</sub>	-2	51.10 <sup>5</sup>	19.10 <sup>7</sup>	68.10 <sup>3</sup>	25.10 <sup>5</sup>	103	53.10 <sup>6</sup>	20.10 <sup>8</sup>
	A <sub>2</sub>	-12	33.10 <sup>5</sup>	16.10 <sup>7</sup>	90.10 <sup>2</sup>	43.10 <sup>4</sup>	98	78.10 <sup>5</sup>	37.10 <sup>7</sup>
	B <sub>1</sub>	-26	69.10 <sup>4</sup>	54.10 <sup>6</sup>	60.10 <sup>3</sup>	47.10 <sup>4</sup>	100	59.10 <sup>4</sup>	46.10 <sup>6</sup>
	B <sub>2</sub>	-55	62.10 <sup>4</sup>	61.10 <sup>6</sup>	55.10 <sup>2</sup>	54.10 <sup>4</sup>	86	18.10 <sup>4</sup>	17.10 <sup>6</sup>
	B <sub>g</sub>	-75	26.10 <sup>4</sup>	93.10 <sup>6</sup>	<4	<14.10 <sup>2</sup>	<14	70.10 <sup>1</sup>	35.10 <sup>4</sup>
Bl <sub>1</sub> bis Grande Fraize (automne)	A <sub>1</sub>	-2	35.10 <sup>5</sup>	13.10 <sup>7</sup>	74.10 <sup>3</sup>	27.10 <sup>5</sup>	74	12.10 <sup>5</sup>	44.10 <sup>6</sup>
	A <sub>2</sub>	-12	16.10 <sup>5</sup>	80.10 <sup>6</sup>	14.10 <sup>4</sup>	67.10 <sup>5</sup>	83	57.10 <sup>4</sup>	27.10 <sup>6</sup>
	B <sub>1</sub>	-26	54.10 <sup>4</sup>	43.10 <sup>6</sup>	11.10 <sup>3</sup>	87.10 <sup>4</sup>	70	27.10 <sup>4</sup>	21.10 <sup>6</sup>
	B <sub>2</sub>	-55	31.10 <sup>4</sup>	30.10 <sup>6</sup>	47.10 <sup>3</sup>	46.10 <sup>5</sup>	85	68.10 <sup>3</sup>	66.10 <sup>5</sup>
	B <sub>g</sub>	-75	34.10 <sup>4</sup>	12.10 <sup>7</sup>	12.10 <sup>3</sup>	43.10 <sup>5</sup>	73	38.10 <sup>3</sup>	13.10 <sup>6</sup>
Bl <sub>2</sub> Amance	A <sub>1</sub>	-2	91.10 <sup>6</sup>	34.10 <sup>8</sup>	87.10 <sup>4</sup>	32.10 <sup>6</sup>	74	14.10 <sup>5</sup>	54.10 <sup>6</sup>
	A <sub>2</sub>	-20	39.10 <sup>5</sup>	34.10 <sup>7</sup>	50.10 <sup>4</sup>	43.10 <sup>6</sup>	86	49.10 <sup>4</sup>	42.10 <sup>6</sup>
	AB	-31	16.10 <sup>5</sup>	17.10 <sup>7</sup>	48.10 <sup>3</sup>	53.10 <sup>5</sup>	75	40.10 <sup>4</sup>	43.10 <sup>6</sup>
	B	-45	89.10 <sup>4</sup>	19.10 <sup>7</sup>	17.10 <sup>3</sup>	36.10 <sup>5</sup>	71	12.10 <sup>4</sup>	26.10 <sup>6</sup>
	B <sub>g</sub>	-65	11.10 <sup>5</sup>	26.10 <sup>7</sup>	12.10 <sup>3</sup>	29.10 <sup>5</sup>	67	19.10 <sup>4</sup>	46.10 <sup>6</sup>
Bl <sub>3</sub> Nenquette	A <sub>1</sub>	-2	41.10 <sup>5</sup>	94.10 <sup>6</sup>	48.10 <sup>3</sup>	12.10 <sup>5</sup>	71	89.10 <sup>4</sup>	20.10 <sup>6</sup>
	A <sub>2</sub>	-10	13.10 <sup>5</sup>	75.10 <sup>6</sup>	25.10 <sup>3</sup>	15.10 <sup>5</sup>	72	51.10 <sup>4</sup>	30.10 <sup>6</sup>
	BC	-28	28.10 <sup>4</sup>	42.10 <sup>6</sup>	40.10 <sup>2</sup>	59.10 <sup>4</sup>	66	12.10 <sup>4</sup>	18.10 <sup>6</sup>
	C	-50	15.10 <sup>4</sup>	29.10 <sup>6</sup>	49.10 <sup>1</sup>	96.10 <sup>3</sup>	52	13.10 <sup>3</sup>	27.10 <sup>5</sup>
<b>RENDZINE</b>									
R Bonne-Fontaines	A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	-2	15.10 <sup>6</sup>	14.10 <sup>8</sup>	43.10 <sup>4</sup>	38.10 <sup>5</sup>	78	11.10 <sup>5</sup>	97.10 <sup>5</sup>
	A <sub>1</sub>	-11	13.10 <sup>6</sup>	17.10 <sup>8</sup>	98.10 <sup>3</sup>	13.10 <sup>5</sup>	70	62.10 <sup>4</sup>	83.10 <sup>5</sup>
	A <sub>2</sub>	-22	14.10 <sup>6</sup>	21.10 <sup>8</sup>	12.10 <sup>4</sup>	19.10 <sup>5</sup>	71	66.10 <sup>4</sup>	10.10 <sup>6</sup>
	A <sub>3</sub>	-33	90.10 <sup>5</sup>	22.10 <sup>7</sup>	74.10 <sup>3</sup>	18.10 <sup>5</sup>	70	24.10 <sup>4</sup>	60.10 <sup>5</sup>
	C	-47	35.10 <sup>5</sup>	13.10 <sup>7</sup>	29.10 <sup>3</sup>	11.10 <sup>5</sup>	68	76.10 <sup>3</sup>	28.10 <sup>5</sup>
<b>SOL BRUN OCREUX</b>									
BD Bezanges	A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	-2	43.10 <sup>5</sup>	43.10 <sup>6</sup>	18.10 <sup>5</sup>	18.10 <sup>6</sup>	94	30.10 <sup>5</sup>	30.10 <sup>6</sup>
	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	-15	72.10 <sup>4</sup>	26.10 <sup>6</sup>	17.10 <sup>4</sup>	60.10 <sup>5</sup>	89	48.10 <sup>4</sup>	17.10 <sup>6</sup>
	B <sub>1</sub>	-22							
	B <sub>2</sub>	-35	37.10 <sup>4</sup>	45.10 <sup>6</sup>	16.10 <sup>4</sup>	20.10 <sup>6</sup>	93	23.10 <sup>4</sup>	28.10 <sup>6</sup>
	C	-80	43.10 <sup>4</sup>	82.10 <sup>6</sup>	36.10 <sup>4</sup>	78.10 <sup>6</sup>	99	53.10 <sup>4</sup>	11.10 <sup>7</sup>
<b>SOLS OCRE PODZOLIQUES</b>									
DP <sub>1</sub> Route de Liocourt	A <sub>1</sub>	-10	52.10 <sup>4</sup>	66.10 <sup>5</sup>	56.10 <sup>3</sup>	73.10 <sup>4</sup>	83	12.10 <sup>4</sup>	15.10 <sup>5</sup>
	B <sub>1</sub>	-15	18.10 <sup>4</sup>	36.10 <sup>5</sup>	55.10 <sup>3</sup>	11.10 <sup>5</sup>	90	12.10 <sup>4</sup>	23.10 <sup>5</sup>
	B <sub>2</sub>	-32	29.10 <sup>3</sup>	13.10 <sup>5</sup>	18.10 <sup>3</sup>	79.10 <sup>4</sup>	95	94.10 <sup>3</sup>	42.10 <sup>5</sup>
	B-C	-52	10.10 <sup>4</sup>	31.10 <sup>5</sup>	19.10 <sup>3</sup>	59.10 <sup>4</sup>	86	36.10 <sup>3</sup>	11.10 <sup>5</sup>
OP <sub>2</sub> Bruyères	A <sub>0</sub>	-2	13.10 <sup>5</sup>	69.10 <sup>6</sup>	63.10 <sup>2</sup>	32.10 <sup>3</sup>	62	28.10 <sup>4</sup>	15.10 <sup>5</sup>
	A <sub>1</sub>	-5	26.10 <sup>3</sup>	41.10 <sup>4</sup>	64.10 <sup>2</sup>	10.10 <sup>4</sup>	86	19.10 <sup>4</sup>	31.10 <sup>5</sup>
	B <sub>1</sub>	-20	26.10 <sup>2</sup>	14.10 <sup>4</sup>	45.10 <sup>1</sup>	23.10 <sup>3</sup>	78	24.10 <sup>3</sup>	12.10 <sup>5</sup>
	B <sub>2</sub>	-39	53.10 <sup>2</sup>	55.10 <sup>4</sup>	34.10 <sup>1</sup>	35.10 <sup>3</sup>	68	13.10 <sup>2</sup>	13.10 <sup>4</sup>
	C	-76	37.10 <sup>2</sup>	61.10 <sup>7</sup>	16.10 <sup>1</sup>	27.10 <sup>4</sup>	62	28.10 <sup>1</sup>	47.10 <sup>4</sup>
<b>PODZOLS</b>									
P <sub>1</sub> Biffontaine	A <sub>0</sub>	+2	24.10 <sup>4</sup>	78.10 <sup>4</sup>	22.10 <sup>4</sup>	71.10 <sup>4</sup>	99	27.10 <sup>4</sup>	87.10 <sup>4</sup>
	A <sub>1</sub>	-11	11.10 <sup>4</sup>	65.10 <sup>5</sup>	34.10 <sup>3</sup>	19.10 <sup>5</sup>	90	69.10 <sup>3</sup>	39.10 <sup>5</sup>
	A <sub>2</sub>	-40	56.10 <sup>3</sup>	15.10 <sup>6</sup>	13.10 <sup>3</sup>	37.10 <sup>5</sup>	87	15.10 <sup>3</sup>	42.10 <sup>5</sup>
	B <sub>1</sub>	-61	15.10 <sup>4</sup>	77.10 <sup>5</sup>	23.10 <sup>2</sup>	12.10 <sup>4</sup>	65	20.10 <sup>3</sup>	10.10 <sup>5</sup>
	B <sub>2</sub>	-66	65.10 <sup>1</sup>	11.10 <sup>5</sup>	<4	<67.10 <sup>2</sup>	<21	22.10 <sup>1</sup>	37.10 <sup>4</sup>
P <sub>2</sub> Teintrux	A <sub>1</sub>	-13	26.10 <sup>4</sup>	90.10 <sup>5</sup>	15.10 <sup>2</sup>	53.10 <sup>3</sup>	58	26.10 <sup>2</sup>	11.10 <sup>4</sup>
	A <sub>2</sub>	-30	62.10 <sup>3</sup>	27.10 <sup>6</sup>	20.10 <sup>1</sup>	90.10 <sup>3</sup>	48	14.10 <sup>2</sup>	63.10 <sup>4</sup>
	B <sub>1</sub>	-38	22.10 <sup>4</sup>	68.10 <sup>5</sup>	19	58.10 <sup>1</sup>	24	13.10 <sup>1</sup>	39.10 <sup>3</sup>
	B <sub>2</sub>	-42	19.10 <sup>4</sup>	82.10 <sup>5</sup>	14.10 <sup>1</sup>	61.10 <sup>2</sup>	40	23.10 <sup>2</sup>	99.10 <sup>4</sup>
	C	-100	41.10 <sup>3</sup>	45.10 <sup>6</sup>	24.10 <sup>2</sup>	24.10 <sup>2</sup>	7	2,3	25.10 <sup>2</sup>
P <sub>3</sub> Gérardmer	A <sub>0</sub>	-3	14.10 <sup>5</sup>	64.10 <sup>5</sup>	<4	<17	<10	17.10 <sup>1</sup>	75.10 <sup>1</sup>
	A <sub>2</sub>	-7	11.10 <sup>4</sup>	22.10 <sup>5</sup>	6	12.10 <sup>1</sup>	15	72.10 <sup>1</sup>	17.10 <sup>3</sup>
	AB	-22	96.10 <sup>3</sup>	27.10 <sup>5</sup>	<4	<11.10 <sup>1</sup>	<12	<1.10 <sup>1</sup>	6.10 <sup>1</sup>
	B <sub>1</sub>	-42	72.10 <sup>3</sup>	19.10 <sup>5</sup>	3	80	9	<1.10 <sup>1</sup>	10.10 <sup>1</sup>
	B <sub>2</sub>	-47	13.10 <sup>4</sup>	17.10 <sup>5</sup>	13.10 <sup>4</sup>	17.10 <sup>5</sup>	35	78.10 <sup>1</sup>	11.10 <sup>2</sup>
	CD	-65	30.10 <sup>3</sup>	72.10 <sup>6</sup>	30.10 <sup>3</sup>	72.10 <sup>6</sup>	33	15.10 <sup>1</sup>	38.10 <sup>2</sup>

Sur le tableau II, on a donc fait figurer les chiffres de densité suivants :

- $d_1$  : densité de la microflore totale (7° jour) par gramme de sol sec.
- $d_2$  : densité de la microflore totale (7° jour) par gramme de carbone.
- $d_3$  : densité de la microflore minéralisant le fer organique (7° jour) par gramme de sol.
- $d_4$  : densité de la microflore minéralisant le fer organique (7° jour) par gramme de carbone.
- $d_5$  : densité de la microflore minéralisant le fer organique (14° jour) par gramme de sol.
- $d_6$  : densité de la microflore minéralisant le fer organique (14° jour) par gramme de carbone.

Il est apparu intéressant d'évaluer dans les profils la proportion de la microflore minéralisant le fer par rapport à la microflore totale. Cette proportion a été exprimée sous la forme du rapport multiplié par 100 du logarithme de la densité de la microflore minéralisant le fer au 7° jour ( $d_3$ ) au logarithme de la densité de la microflore totale déterminée au 7° jour ( $d_1$ ) :

$$\frac{\log d_3}{\log d_1} \times 100.$$

Les pourcentages obtenus par cette méthode sont très élevés puisque l'on atteint fréquemment la valeur de 100 ; on devrait logiquement en déduire que toute la microflore du sol aurait la capacité de minéraliser le fer organique ; mais cela ne correspond pas exactement à la réalité. Ces pourcentages n'ont donc qu'une valeur relative. Ils n'en sont pas moins très utiles.

Pour comparer les types de sols dans leur ensemble, nous avons établi pour chacun d'entre eux une *densité intégrée relative* obtenue par intégration graphique des densités en fonction de la profondeur entre 0 et 50 cm, comme certains auteurs l'ont proposé pour le carbone du sol (LAUDELOUT, MEYER et PEETERS, 1960). On a choisi arbitrairement une densité de référence 100 pour le sol le plus riche, les autres densités sont exprimées par rapport à la densité de référence, d'où le terme de densité intégrée relative (tableau III).

Les graphiques ont été établis en utilisant une échelle logarithmique pour les densités bactériennes (fig. 1 et 2).

#### IV. — RESULTATS.

Nous analysons les résultats en distinguant :

- 1) les variations liées aux types pédologiques considérés dans leur ensemble ;
- 2) les variations liées à la distribution verticale à l'intérieur de chaque type pédologique ;
- 3) les variations saisonnières.

TABLEAU III

*Densité intégrée relative de la microflore  
minéralisant le fer organique en 14 jours*

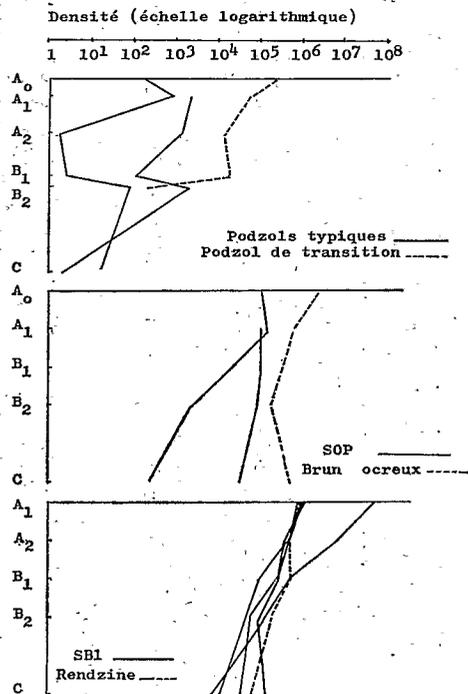
Nature du sol	Référence	Densité intégrée relative en fonction	
		du poids de sol	du carbone du sol
Sols bruns lessivés	Bl <sub>1</sub>	100	100
	Bl <sub>1</sub> (bis)	89	92
	Bl <sub>2</sub>	92	98
	Bl <sub>3</sub>	86	92
Rendzine	R	92	88
Sols ocre podzoliques	BO	97	85
	OP <sub>1</sub>	81	75
	OP <sub>2</sub>	68	73
Podzols	P <sub>1</sub>	78	83
	P <sub>2</sub>	46	65
	P <sub>3</sub>	16	35

1) VARIATIONS EN FONCTION DES TYPES PÉDOLOGIQUES CONSIDÉRÉS DANS LEUR ENSEMBLE.

a) *La microflore totale* (bactéries + actinomycètes), exprimée par rapport au poids de sol, est beaucoup plus abondante dans les sols bruns lessivés ( $3 \cdot 10^6$  à  $9 \cdot 10^7$  dans l'horizon A<sub>1</sub>) que dans les sols ocre podzoliques ( $3 \cdot 10^4$  à  $5 \cdot 10^5$  dans l'horizon A<sub>1</sub>) et a fortiori dans les podzols (tableau II). Ces résultats ne font d'ailleurs que confirmer des observations antérieures (ROBERT et coll., 1964).

Les chiffres de densité exprimés par rapport au carbone du sol permettent de classer les sols dans le même ordre ; les sols bruns typiques présentent des densités allant de  $1 \cdot 10^8$  à  $3 \cdot 10^9$  dans les horizons de surface, alors que les sols ocre podzoliques n'atteignent jamais ces valeurs (tableau II).

b) *La microflore minéralisant le fer organique* est toujours plus abondante dans les sols bruns lessivés que dans les podzols. Les chiffres de densité intégrée relative figurant au tableau III mettent parfaitement en lumière ce fait. Pour les sols bruns lessivés, la densité intégrée relative calculée en fonction du poids de sol varie entre 86 et 100, alors que pour les sols ocre podzoliques typiques (OP<sub>1</sub>, OP<sub>2</sub>) elle est de 81 et 68 ; pour les podzols typiques (P<sub>2</sub> et P<sub>3</sub>) elle est inférieure à 50. Les densités intégrées relatives calculées en fonction du carbone du sol donnent le même classement.



Répartition des microorganismes minéralisant le fer organique dans les sols étudiés.  
En haut de la figure ; podzols ; au milieu : sols ocre podzoliques et sol brun ocreux ;  
en bas : sols bruns lessivés et rendzine. Echelle semi-logarithmique.

FIGURE 1

Les densités sont exprimées en nombre de micro-organismes par gramme de sol sec à l'air.

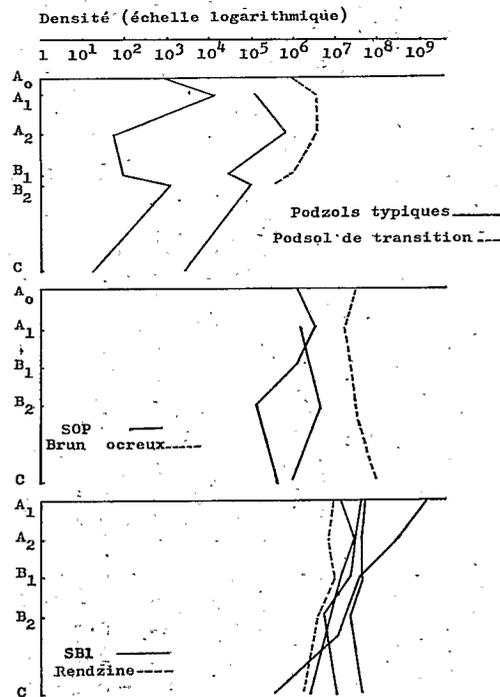


FIGURE 2

Les densités sont exprimées en nombre de micro-organismes par gramme de carbone.

Il faut, en conséquence, admettre que l'activité de la microflore minéralisant le fer organique décroît lorsque l'on passe des sols bruns aux podzols en passant par les sols ocre podzoliques. Quant à la rendzine, elle présente les mêmes caractéristiques que les sols bruns lessivés.

L'examen des figures 1 et 2 met aussi très nettement en évidence le décalage entre les trois types de sols. Si les sols bruns lessivés sont bien groupés, les sols ocre podzoliques le sont nettement moins. On notera la position intermédiaire du sol brun ocreux (BO) entre les sols ocre podzoliques typiques et les sols bruns et le cas particulier du podzol  $P_1$  qui est nettement plus actif sur le plan biologique que les podzols  $P_2$  et  $P_3$  et se rapproche aussi des sols ocre podzoliques : les caractères analytiques de  $P_1$ , nous l'avons vu, expliquent parfaitement cette position.

Il est intéressant de considérer également dans chaque type pédologique l'importance de la fraction de la microflore présentant une activité minéralisante vis-à-vis du fer organique que l'on a exprimée par le pourcentage

$$\frac{\log d_3}{\log d_1} \times 100 \text{ (tableau II).}$$

Ce pourcentage est élevé dans tous les sols bruns et ocre podzoliques où il représente, dans les horizons de surface, 75 à 100 % de la microflore totale.

Mais, dans les podzols typiques ( $P_2$  et  $P_3$ ), la proportion des microorganismes minéralisant le fer est beaucoup plus faible que dans les autres sols.

## 2) VARIATIONS LIÉES A LA DISTRIBUTION VERTICALE A L'INTÉRIEUR DE CHAQUE TYPE PÉDOLOGIQUE.

L'étude de ces variations revient à examiner l'allure des profils biologiques de chacun des types de sols (fig. 1 et 2). Le nombre de profils étudiés n'est pas assez important pour en tirer des règles définitives ; mais il est suffisant pour donner une idée de la distribution verticale des microorganismes dans chaque type pédologique.

### a) Sols bruns lessivés.

La densité de la microflore minéralisant le fer exprimée par rapport au poids de sol ( $d_3$  et  $d_5$ ) décroît régulièrement de la surface jusqu'à l'horizon B, ou B/C.

Lorsque cette densité est exprimée par rapport au carbone du sol ( $d_4$  ou  $d_6$ ), on observe une décroissance moins régulière mais encore suffisamment nette.

### b) La rendzine.

Le profil étudié présente des caractéristiques voisines de celles des sols bruns avec, toutefois, une *décroissance très atténuée* de l'activité avec la profondeur. On a affaire à un *profil biologique très peu différencié*.

### c) Sols ocre podzoliques.

La densité de la microflore minéralisant le fer, exprimée par rapport au carbone ( $d_4$  ou  $d_6$ ) présente une *tendance* à augmenter avec la profondeur (figure 2).

d) *Podzols*.

Les profils biologiques des podzols présentent deux maxima (fig. 1 et 2) :

- un premier maximum en surface ;
- un deuxième maximum relatif dans l'horizon B.

## 3) VARIATIONS SAISONNIÈRES.

L'étude des variations saisonnières a porté sur le sol brun lessivé pour lequel une première série de prélèvements a été effectuée le 22 avril (Bl<sub>1</sub>) et une deuxième le 2 novembre 1964, avant la chute des feuilles (Bl<sub>1</sub> bis).

La densité de la microflore minéralisant le fer (dénombrée le 7<sup>e</sup> ou le 14<sup>e</sup> jour) reste constante en profondeur mais varie fortement en surface : elle est beaucoup plus élevée au printemps qu'en automne. Par contre, la densité de la microflore totale ne présente pas de différences saisonnières significatives (fig. 3).

## V. — DISCUSSION.

Si on compare les résultats obtenus pour les trois grands types de sols : bruns lessivés à mull, ocre podzoliques à moder, podzol à mor, on note qu'ils diffèrent surtout par la densité de la microflore minéralisant les complexes organo-ferriques : elle est maxima dans les sols bruns lessivés, intermédiaire dans les sols ocre podzoliques, minima dans les podzols. D'autre part, cette densité décroît de la surface vers la profondeur dans les sols à mull ; elle se répartit de manière différente dans les profils des autres types de sol ; ainsi, dans les podzols, on note un minimum en A<sub>2</sub> (ou à la partie supérieure de B) et un second maximum en B.

Une autre différence fondamentale entre sols bruns lessivés et podzols réside dans le fait que, dans les premiers, la microflore minéralisatrice représente une grande partie de la microflore totale, alors que, dans les podzols, elle n'en constitue qu'une faible fraction.

Enfin, on peut signaler que la densité de la microflore minéralisant le fer, dans les horizons de surface, s'ordonne de manière logique en fonction du type d'humus : mull actif (Bl<sub>1</sub>), mull forestier type (Bl<sub>2</sub>, Bl<sub>3</sub>), moder de feuillu (BO), moder de résineux (OP<sub>1</sub>, OP<sub>2</sub>), mor actif (P<sub>1</sub>), mor inactif (P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>). Le mull calcique (R) se situe au niveau des mull forestiers.

En ce qui concerne l'évolution du fer, nous admettons un double postulat : 1) la densité des microorganismes dans les profils reflète la quantité de métabolites mis à leur disposition ; 2) l'activité minéralisatrice des complexes organo-ferriques est mesurée par la densité de la microflore minéralisant ces complexes. On peut alors interpréter les résultats obtenus, en les rattachant à la *migration* des complexes organo-ferriques dans le profil : lorsque l'activité minéralisatrice est élevée en surface, la quantité de complexes qui migrent est réduite, ce qui se traduit

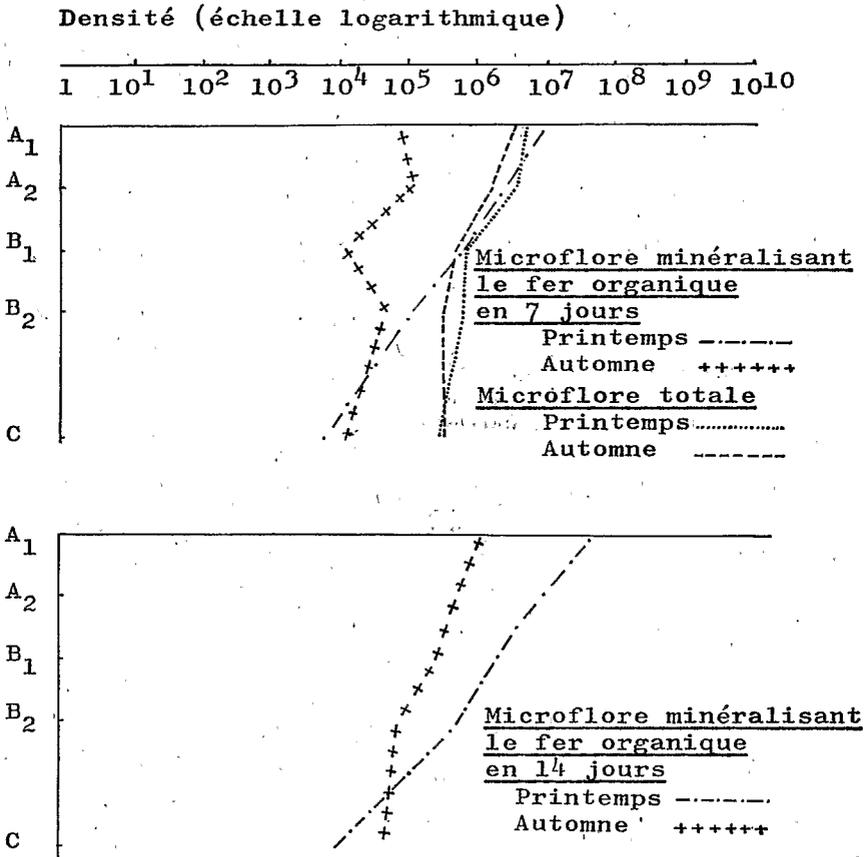


FIGURE 3

Répartition de la microflore minéralisant le fer organique et la microflore totale dans un profil de sol brun lessivé au printemps (Bh) et en automne avant la chute des feuilles (Bh bis). Les microorganismes minéralisant le fer organique ont été dénombrés au bout de 7 jours (microorganismes à croissance rapide, en haut de la figure) et 14 jours (microorganismes au développement lent, en bas de la figure). Echelle semi-logarithmique.

par une baisse relative de l'activité en profondeur (sols à mull). Si, au contraire, l'activité est faible en A, une partie relativement plus importante des complexes peut gagner, par migration, les horizons B où ils sont métabolisés à leur tour : les différences d'activité entre la surface et la profondeur sont, dans leur ensemble, moins marquées (podzols).

**SOLS BRUNS LESSIVÉS.**

L'activité minéralisatrice des complexes est très élevée dans les horizons de surface, ce qui explique l'importance réduite des migrations de fer ; cependant, l'activité minéralisatrice reste, dans les horizons B,

supérieure à celle qu'on observe, en surface, dans les podzols : cela signifie certainement qu'une partie des complexes organo-ferriques échappe à la destruction en  $A_1$  et  $A_2$ , et atteint l'horizon B où elle est minéralisée à son tour.

La comparaison de la courbe de l'activité minéralisatrice du printemps à celle de l'automne est significative : en automne, l'activité diminue en surface, mais se maintient en profondeur ; cette variation saisonnière s'interprète de la façon suivante : au printemps, la réserve de métabolites, libérés par la décomposition de la litière, est abondante, alors qu'elle est presque épuisée à l'automne, avant la chute des feuilles : l'horizon B, au contraire, bénéficie d'un apport non négligeable de métabolites, dû aux migrations favorisées par un automne pluvieux.

*Dans les sols bruns lessivés, l'activité biologique minéralisatrice des complexes pseudosolubles de fer apparaît donc comme la cause essentielle de la précipitation des oxydes de fer en B.*

#### PODZOLS.

L'évolution des complexes organo-ferriques est tout autre dans les podzols : la faible activité minéralisatrice des horizons de surface permet une certaine migration des complexes métabolisables ; ceux-ci traversent rapidement l'horizon  $A_2$  très filtrant et d'ailleurs peu actif : l'existence d'un *second maximum d'activité* en B, déjà signalé par CRAWFORD (1956), ne peut s'expliquer que par une augmentation de la quantité de métabolites mis à la disposition des microorganismes minéralisateurs : une telle augmentation résulte nécessairement d'un arrêt des migrations provoqué par une autre cause, cause physico-chimique probablement : phénomène d'oxydation (BETREMIEUX, 1951), de polymérisation des composés humiques (JACQUIN, 1963), ou précipitation par floculation isoélectrique (MUIR et al, 1964).

*La décomposition biologique des complexes intervient surtout après leur accumulation en B, elle est d'ailleurs très lente et très progressive.*

Les recherches antérieures effectuées par l'un de nous, au sujet du fer complexé par la matière organique dans les sols, confirment ce point de vue (DUCHAUFOUR, 1964) : alors qu'il ne représente qu'une fraction infime du fer libre total dans l'horizon B des sols bruns lessivés, il atteint le quart du fer libre total dans l'horizon B des podzols : ceci confirme la persistance des complexes, qui est prolongée, dans les seconds, par rapport aux premiers.

#### SOLS OCRE PODZOLIQUES.

Ces sols se situent à un niveau intermédiaire entre les deux autres types de sols : il semble que les deux processus, processus biologique de minéralisation et processus physico-chimique de précipitation du fer, interviennent simultanément ; on n'observe plus le minimum de  $A_2$  caractéristique des podzols, car la précipitation en B intervient à un niveau très proche de la surface. Par rapport aux sols bruns lessivés, on note cependant une migration plus accentuée vers la profondeur des complexes non minéralisés en A.

## CONCLUSION.

Cette étude, portant sur l'évolution des complexes organo-ferriques dans certains sols, nous permet de mettre l'accent sur une nouvelle différence fondamentale entre les sols lessivés à mull et les podzols : 1) dans les sols bruns lessivés, la minéralisation de ces complexes, rapide dès la surface, s'oppose à une forte migration des oxydes de fer, dont la plus grande partie s'incorpore aux complexes argilo-humiques insolubles du mull en  $A_1$  (DUCHAUFOUR, 1963). D'autre part, la précipitation en B des complexes qui ont migré est provoquée par l'activité minéralisatrice de la microflore : on peut parler d'une *accumulation biologique*. 2) Dans les podzols, la minéralisation, plus lente en surface, permet la migration d'une certaine quantité de complexes organo-ferriques qui précipitent en B, sous l'effet de causes physico-chimiques : il s'agit donc d'une *accumulation physico-chimique* ; la décomposition biologique de ces complexes n'intervient qu'ensuite et elle est très progressive!

Reçu pour publication en Décembre 1964.

## BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDER (M.), 1961. — Introduction to soil microbiology. *John Wiley and Sons*, New-York.
- ARISTOVSKAYA (T. V.), 1958. — The decomposition of fulvic acids by microorganisms. *Soviet Soil Science*, II, p. 1224-1233.
- BETREMIEUX (R.), 1951. — Etude expérimentale de l'évolution du fer et du manganèse dans les sols. *Ann. Agron.*, 3, p. 193-295.
- BLOOMFIELD (C.), 1955. — Leaf leachates as a factor in pedogenesis. *Journal of the Soc. of Food and Agriculture*, 6, nov., p. 641-651.
- BLOOMFIELD (C.), 1956. — The experimental production of podzolisation. *VI<sup>e</sup> Congrès Intern. de la Sc. du Sol*, Paris V 3, vol. E, p. 21-23.
- CRAWFORD (D. V.), 1956. — Microbiological aspects of podzolisation. *VI<sup>e</sup> Congrès Intern. de la Sc. du Sol*, Paris, III, 32, p. 197-202.
- DOMMERGUES (Y.), 1964. — Etude de quelques facteurs influant sur le comportement de la microflore du sol au cours de la dessiccation. *Science du Sol*, 2, p. 141-155.
- DUCHAUFOUR (Ph.), 1963. — Note sur le rôle du fer dans les complexes organo-humiques. *C. R. Acad. Sc.*, 256, groupe 9, séance du 18 mars, p. 2657-2660.
- DUCHAUFOUR (Ph.), 1964. — Evolution de l'aluminium et du fer complexés par la matière organique dans certains sols. *Sc. du Sol*, 2, p. 3-17.
- EGDELL (J. W.), CUTHBERT (W. A.), SCARLETT (C. A.), THOMAS (S. B.), WESTMACOTT (M. H.), 1960. — Some studies of the colony count technique for soil bacteria. *J. Applied Bacteriology*, 23, 1, p. 69-86.
- HARDER (E. C.), 1919. — *U. S. Geol. Survey Professional Papers*, n° 113, cité par ALLEN, 1957, in *Experiments in soil Bacteriology*, *Burgess Publishing Company*, Minnesota.
- HITZMAN (D. O.), 1960. — Comparison of geomicrobiological prospecting methods used by various investigators. *Developments in Industrial Microbiology*, vol. 2, p. 33-42.
- JACQUIN (F.), 1963. — Contribution à l'étude des processus de formation et d'évolution de divers composés humiques. Thèse, *Bull. E. N. S. A.*, V (1), 156 p.
- KAURICHEV (I. S.), NOZORUNOVA (E. M.), 1961. — The rôle of water-soluble components of organic residues in the formation of available ferro-organic compounds. *Pochvovedenie*, (10), p. 10-18.
- KAURICHEV (I. S.), IVANOVA (T. N.), NOZORUNOVA (E. M.), 1963. — Content of low-molecular organic acids in the composition of water-soluble organic matter of soils. *Pochvovedenie*, 3, p. 27-35.

- LAUDELOUT (H.), MEYER (J.), PEETERS (A.), 1960. — Les relations quantitatives entre la teneur en matière organique du sol et le climat. *Agriculture*, VIII (1), mars, p. 103-140.
- LEMEE (G.), LOSSAINT (P.), METTAUER (H.), WEISSBECKER (R.), 1958. — Recherches préliminaires sur les caractères bio-chimiques de l'humus dans quelques groupements forestiers de la plaine d'Alsace. *Angewandte Pflanzensoziologie*, 15, p. 93-101.
- LOSSAINT (P.), 1959. — Etude expérimentale de la mobilisation du fer des sols sous l'influence des litières forestières. Thèse, Strasbourg. *Ann. Agron.*, 4, p. 369-414 et 5, p. 493-542.
- LOSSAINT (P.), ROUBERT (R. M.), 1964. — La minéralisation de l'azote organique dans quelques humus forestiers acides. *An. Inst. Pasteur*, suppl. au n° 3, septembre, p. 178-187.
- MUIR (J. W.), MORISSON (R. I.), BOWN (C. J.), LOGAN (J.), 1964. — The mobilization of iron by aqueous extracts of plants. I. Composition of the amino-acid and organic-acid fractions of an aqueous extract of pine needles. II. Capacities of the amino-acid and organic-acid fractions of a pine-needle extract to maintain iron in solution. *J. of. Soil Science*, 15 (2), septembre, p. 220-237.
- POCHON (J.), TARDIEUX (P.), 1962. — Techniques d'analyse en microbiologie du sol. *Éditions de la Tourelle*, Paris.
- ROBERT (M.), POCHON (J.), MLKOWSKA (A.), FALCOU (J.), 1964. — Etude biologique des sols au cours de l'épreuve d'incubation. *Ann. Inst. Pasteur*, suppl. au n° 3, septembre, p. 269-281.
- SCHNITZER (M.), SKINNER (S. I. M.), 1964. — Organo-metallic interactions in soils : 3. Properties of iron-and aluminium-organic-matter complexes prepared in the laboratory and extracted from a soil. *Soil Science*, 98 (3), septembre, p. 197-203.

## COMPARATIVE STUDY ON THE BIOLOGICAL DECOMPOSITION OF ORGANO-FERRIC COMPLEXES IN SOME SOILS

### SUMMARY

*The estimation of the population size of the microorganisms which are concerned in the decomposition of ferric ammonium citrate in the profiles of different soils (leached brown soils, brown podzolic soils, podzols) has been used to follow the evolution in the soil or the organo-ferric complexes, and more particularly their migration and accumulation in the B horizon.*

1. *The mineralization rate of those complexes is maximum in the leached brown soils, medium in the brown podzolic soils and minimum in the podzols.*

2. *The mineralization rate decreases considerably with depth in the leached brown soils ; in the podzols, a minimum occurs in the A<sub>2</sub> horizon and two maxima in the A<sub>1</sub> and B horizons.*

3. *The ratio : population of mineralizing organic iron microflora/total microflora is high in the mull soils and weak in the podzols.*

4. *From those results, the Authors have inferred that the iron accumulation in the B horizon results from the biological mineralization of the complexes in the leached brown soils (biological accumulation) but, on the contrary, from physico-chemical process in the podzols (physico-chemical accumulation).*

# ERRATUM

Rectifications à apporter au tableau II de la note intitulée  
"Etude comparative de la dégradation biologique  
des complexes organo-ferriques dans quelques types de sols"

(DOMMERGUES et DUCHAUFOR, Science du Sol, 1965, 1, p. 43-59)

- 1) Les 5 premières lignes des colonnes  $d_3$  et  $d_4$  et  $\frac{\log d_3}{\log d_1} \times 100$  doivent être lues comme suit :

	horizons	$d_3$	$d_4$	$\frac{\log d_3}{\log d_1} \times 100$
<u>SOLS BRUNS LESSIVES</u>				
BL <sub>1</sub> Grande Fraîze (printemps)	A <sub>1</sub>	83.10 <sup>5</sup>	31.10 <sup>7</sup>	103
	A <sub>2</sub>	24.10 <sup>5</sup>	11.10 <sup>7</sup>	98
	B <sub>1</sub>	69.10 <sup>4</sup>	54.10 <sup>6</sup>	100
	B <sub>2</sub>	12.10 <sup>4</sup>	12.10 <sup>6</sup>	88
	Bg	6.10 <sup>3</sup>	2.10 <sup>6</sup>	70

- 2) A la dernière ligne de la colonne  $d_3$  relative au sol P<sub>2</sub> : au lieu de 24.10<sup>2</sup>, lire : 2,2

- 3) Les deux dernières lignes des colonnes  $d_3$ ,  $d_4$ ,  $d_5$ , doivent être lues comme suit :

	horizons	$d_3$	$d_4$	$d_5$
<u>PODZOLS</u>				
P <sub>3</sub> Gérardmer	B <sub>2</sub>	62	8.10 <sup>2</sup>	7,8.10 <sup>1</sup>
	CD	15	4.10 <sup>3</sup>	1,5.10 <sup>1</sup>

« Extrait de *Science du Sol*  
1965, vol. 1 »

**ÉTUDE COMPARATIVE DE LA DÉGRADATION BIOLOGIQUE  
DES COMPLEXES ORGANO-FERRIQUES  
DANS QUELQUES TYPES DE SOLS**

Y. DOMMERMUES ET Ph. DUCHAUFOUR

CENTRE DE PÉDOLOGIE DU C. N. R. S., NANCY

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 5167