

IMPORTANCE RELATIVE DE L'IMMOBILISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET DE L'IMMOBILISATION BIOLOGIQUE DU FER DANS LES SOLS

S. BRUCKERT

Faculté des Sciences
NANCY

Y. DOMMERMUES

C.N.R.S. Pédologie
NANCY

SOMMAIRE

Ces recherches ont pour but de séparer, dans les processus d'insolubilisation des complexes organo-ferriques, les facteurs physico-chimiques (adsorption), des facteurs biologiques (biodégradation de la molécule organique).

Les résultats permettent de dégager les points essentiels suivants :

— L'immobilisation des complexes organo-ferriques dépend de la composition physico-chimique des horizons d'un sol : les propriétés minérales (teneur en argile, sesquioxydes et bases) ne constituent pas les seuls facteurs physico-chimiques responsables de cette immobilisation ; celle-ci, en effet, semble aussi dépendre du taux de matière organique ;

— L'immobilisation biologique est toujours supérieure à l'immobilisation physico-chimique ;

— Dans les sols à mull (sol brun acide, sol brun lessivé), l'immobilisation des complexes organo-ferriques intervient dès l'horizon A₁ non seulement sous l'effet des facteurs physico-chimiques, mais aussi sous l'action d'une microflore très active, capable de dégrader ces complexes ; au contraire, dans les sols à mor (sols podzologiques), la migration du fer s'effectue avec plus de facilité, car les complexes sont moins biodégradés ; de ce fait, ils peuvent migrer vers les horizons d'accumulation où ils sont immobilisés par des processus physico-chimiques ;

— La biodégradation des complexes organo-ferriques extrêmement ralentie à 0° C, pourrait expliquer l'évolution podzologique de certains sols (podzols boréaux, sols cryptopodzologiques de montagne) et la migration du fer, intervenant même dans des sols biologiquement actifs, à la fin de l'hiver pendant la fonte des neiges.

INTRODUCTION

Il semble maintenant bien établi que la mobilité du fer dans les sols, à des pH où il est chimiquement très peu soluble, soit étroitement liée à la présence de produits organiques complexants. En effet, de nombreux auteurs ont successivement mis en évidence la mobilisation du fer par des substances organiques provenant de litières (BLOOMFIELD, 1956 ; LOSSAINT, 1959), par des composés à poids moléculaire élevé,

tels que des acides humiques (SCHNITZER et SKINNER, 1964 ; DUCHAUFOR, 1964), ou par des produits à faible poids moléculaire : acides organiques (MUIR et al, 1964) et polyphénols (COULSON et al, 1960).

Cependant, les molécules complexantes ne peuvent intervenir dans les processus de migration :

1° Si elles sont rapidement métabolisées par les microorganismes telluriques (on dit alors qu'il y a **immobilisation biologique** du fer) ;

2° Si elles sont adsorbées (argiles, sesquioxydes) ou si elles sont insolubilisées à la suite de transformations chimiques diverses telles que la polymérisation (il s'agit d'**immobilisation physico-chimique**).

On a démontré antérieurement que l'immobilisation biologique est liée étroitement à la densité de la microflore dégradant les complexes organo-métalliques (BRUCKERT et DOMMERGUES, 1966). La densité de ces microorganismes varie elle-même suivant les types pédologiques (DOMMERGUES et DUCHAUFOR, 1965) : dans les horizons superficiels, elle est plus élevée dans les sols bruns lessivés que dans les podzols, les premiers s'avérant le siège d'une insolubilisation biologique intense, alors que dans les seconds, l'immobilisation biologique est beaucoup plus discrète.

Cette différence fondamentale entre ces deux types de sol a été confirmée par une étude sur l'évolution des acides organiques au cours d'une saison de végétation et dans les profils (BRUCKERT et al, 1966, 1967) ; d'où il ressort que :

— les sols lessivés sont caractérisés par une diminution très importante du taux des acides organiques hydrosolubles au niveau des litières et par une disparition de ces produits dès l'horizon A₁ ;

— les sols podzoliques sont, au contraire, caractérisés par la persistance des composés acides dans tout le profil (acide citrique, oxalique et vanillique).

La biodégradation de la molécule complexante constitue donc un aspect des processus d'immobilisation du fer ; mais à ce phénomène, se superpose un effet d'absorption par les argiles ou par les oxydes de fer (BINGHAM et al, 1965 ; KING et BLOOMFIELD, 1966).

Dans les expériences que nous présentons ici, nous avons recherché à séparer les processus microbiens des processus physico-chimiques intervenant dans l'immobilisation du fer dans les sols.

I. — CHOIX DU MATERIEL D'ETUDE

Les expériences ont porté respectivement sur les horizons d'un sol brun lessivé et d'un podzol humo-ferrugineux, provenant respectivement du plateau lorrain (Grande Fraize) et du massif des basses Vosges (Taintrux).

Le premier profil, caractérisé par un mull biologiquement actif est développé sur marnes aaléniennes et sous une chênaie à espèces herbacées typiques du mull eutrophe.

Profil :

A ₀	:	Couche de litière de faible épaisseur, en décomposition.
A ₁ (0 — 8 cm)	:	Mull eutrophe très aéré et bien structuré (grumeaux).
A ₂ (8 — 30 cm)	:	Brun clair, limono-argileux, finement structuré (petits agrégats).
B (30 — 65 cm)	:	Brun-ocre, argilo-limoneux ; structure polyédrique à enrobements brillants.
Bg (65 — 75 cm)	:	Horizon marmorisé à taches ocre sur fond beige.
C	:	Marnes aaléniennes argilo-limoneuses.

Le podzol humo-ferrugineux est situé sur versant sud de grès vosgien et sous pineraie à *Calluna vulgaris* et *Vaccinium myrtillus*.

Profil :

A ₀ (0 — 10 cm)	:	Mor fibreux, brun noir.
A ₁ (10 — 20 cm)	:	Gris sombre, sableux ; quartz et matière organique individualisés.
A ₂ (20 — 50 cm)	:	Cendreuse, sableux ; structure particulière ; taches grises humifères.
Bh (50 — 55 cm)	:	Brun noir, enrichi en composés humiques ; friable, structure pelliculaire.
Bfe (55 — 65 cm)	:	Allis durci, ocre vif.
C	:	Grès vosgien.

IMMOBILISATIONS DU FER DES SOLS

Au cours d'essais préliminaires, nous avons utilisé un deuxième profil de podzol humo-ferrugineux (Biffontaine) et un sol brun acide situé sur grès intermédiaire triasique et sous sapinière-hêtraie à grande fétuque. Ce dernier profil comprend un mull brun foncé sableux à structure finement grumeleuse et deux horizons brun violacés peu différenciés (A₂ et BC) formant transition avec la roche-mère rose.

Les caractéristiques analytiques mentionnées ci-dessous (tableau I) mettent en évidence la diversité des caractères physiques, chimiques et biologiques des sols utilisés.

TABLEAU I : ANALYSE DES SOLS

Sol et Horizon	pH eau	C %	N %	C/N	S (x)	T (x)	S/T	Fer		Arg. %	Log D (y)
								a	b		
Sol brun lessivé											
A ₁	5,4	2,68	0,25	10,7	12,02	16,2	73,2	22,8	25,1	22,6	7,7
A ₂	4,3	2,10	0,12	16,1	4,2	15,0	28,0	27,7	4,7	29,1	6,6
B	5,5	1,02	0,09	11,2	21,6	26,5	85,0	29,7	3,1	54,2	6,0
C	6,9	0,20	-	-	-	17,4	sat.	29,4	2,5	36,0	4,2
Sol brun acide											
A ₁	3,9	2,26	0,13	17,0	2,2	10,0	22,0	7,7	7,3	10,0	4,0
C	4,7	0,06	-	-	0,6	8,9	6,7	9,9	2,9	10,5	-
Podzol humo-ferrugineux											
A ₁	3,7	14,40	0,39	37	2,27	38,8	5,9	1,3	3,0	0,1	6,2
A ₂	3,8	0,66	0,02	30	0,08	2,4	3,3	0,9	4,7	2,5	6,1
B _h	3,7	1,65	0,05	32	0,24	8,9	2,7	14,0	24,8	5,0	5,9
C	4,8	0,09	-	-	0,10	1,9	5,3	1,48	2,5	3,0	4,3

(x) = m. eq./100 g à pH 7.

(y) = densité D, transformée en logarithme, des microorganismes biodégradant les composés organo-ferriques (horizons C inoculés par la microflore des horizons A₁).

a = fer libre pour mille.

b = fer hydrosoluble en ppm.

II. — METHODES D'ETUDE

A) INHIBITION DE L'ACTIVITE BIOLOGIQUE :

Le dispositif expérimental considéré ayant pour but de dissocier le rôle des facteurs microbiologiques de celui des facteurs physico-chimiques, on a été amené à comparer l'immobilisation du fer dans des échantillons de sol où la microflore est normalement active et dans des échantillons où elle est inhibée ou détruite. Cette inhibition ou cette destruction peuvent être obtenues soit par incorporation au sol d'un inhibiteur, soit par abaissement de la température à 0° ± 1° C, soit par stérilisation. La comparaison

de ces trois techniques effectuée au cours d'essais préliminaires, a démontré, comme nous le verrons ci-dessous, qu'il fallait adopter la technique du refroidissement à 0° C.

1° Inhibition de la microflore par incorporation au sol d'azohydrate de sodium :

Contrairement aux indications fréquemment publiées (voir par exemple GLEEN, 1950), l'addition au sol d'azide de sodium à la dose de 0,1 pour mille n'exerce pas un effet dépressif suffisant sur l'activité biologique globale des sols étudiés. Nous avons donc renoncé à utiliser ce type d'inhibiteur bien qu'il donne des résultats satisfaisants lorsqu'il est employé conjointement avec d'autres composés (composés mercuriques) comme le préconise SCHAEFER (communication personnelle, 1967).

2° Stérilisation à l'autoclave :

La stérilisation deux fois de suite à 130° C pendant une heure, technique couramment employée, a l'inconvénient d'immobiliser partiellement le citrate ferrique ; les chiffres suivants, obtenus pour l'horizon C du sol brun acide, le démontrent : après une incubation de 21 jours à 0° C (donc en l'absence de toute activité microbienne), 55 % du fer hydrosoluble ajouté est immobilisé dans un milieu stérilisé à l'autoclave, contre 19 % seulement dans le même milieu non stérilisé.

3° Abaissement de la température à 0° ± 1° C :

En maintenant les échantillons de sols non stériles à une température de 0° ± 1° C, on parvient non seulement à éviter la prolifération de la microflore, mais encore à réduire assez sensiblement la densité des microorganismes dégradant les complexes organo-ferriques, même lors de l'enrichissement du sol en citrate de fer ammoniacal. En effet, au début de l'expérience, cette densité (transformée en logarithme) est supérieure à celle observée après 21 jours d'incubation à 0° C (Tableau II).

C'est pourquoi nous avons adopté un protocole expérimental fondé sur la comparaison de l'immobilisation du fer à une température favorable à l'activité biologique (18° C ou 24° C) et à une température défavorable (0° C). Cette méthode présente l'avantage considérable de ne pas altérer sensiblement les propriétés des échantillons de sol, comme le fait la stérilisation à l'autoclave ; on pourrait toutefois craindre qu'à 0° C et 24° C, l'effet de l'immobilisation physico-chimique soit différent. En fait, il n'en est rien, comme le prouve l'expérience suivante. Des échantillons de sols enrichis avec le complexe organo-ferrique (citrate de fer ammoniacal) et stérilisés à l'autoclave ont été soumis à l'incubation pour moitié à 0° C, moitié à 24° C ; la quantité de fer hydrosoluble retrouvée (moyenne de trois répétitions) s'est avérée la même dans les deux cas :

Température d'incubation	Fer hydrosoluble ppm du sol sec à 105° C
0° C	911
+ 24° C	928

B) PREPARATION DES ECHANTILLONS :

Un poids de chaque horizon frais et tamisé, correspondant à 200 g de sol sec à l'air, introduit dans des bocaux à fermeture canette de 1 litre est enrichi avec le complexe organo-ferrique étudié (citrate de fer ammoniacal) apporté à la dose de 10 pour mille. Les échantillons de sol ne sont pas réensemencés car ils renferment une microflore assez abondante. Après ajustement de l'humidité à 100 % de l'humidité équivalente, les bocaux sont disposés pendant 21 jours, soit dans une étuve à 18° C ± 1° C, soit dans une armoire frigorifique dont la température est réglée à 0° ± 1° C. Dans le but d'étudier l'influence d'une température intermédiaire, nous avons placé une série supplémentaire d'échantillons dans une étuve réglée à 5° ± 1° C.

Toutes les expériences sont effectuées en triple exemplaire.

C) METHODES ANALYTIQUES :

1° Numération des microorganismes dégradant les complexes organo-ferriques :

Les microorganismes responsables de la dégradation des complexes sont dénombrés sur le milieu au citrate ferrique ammoniacal de HARDER (1919) selon la méthode

décrite par DOMMERGUES et DUCHAUFOR (1965) ; la lecture étant effectuée au 14^e jour.

2° Dosage du fer hydrosoluble :

Celui-ci représente soit la fraction non dégradée du complexe organo-ferrique (la biodégradation de l'anion organique libère en effet le fer, qui précipite, selon TEN (1967), sous forme d'oxyde), soit la fraction non absorbée par des processus physico-chimiques (argiles, sesquioxides). Sa mise en solution aqueuse est effectuée par percolation après une nuit de macération ; on recueille un volume de percolat égal à 10 fois le poids de l'horizon A₁ prélevé. Après centrifugation, le fer contenu dans le surnageant est directement dosé par spectrophotométrie d'absorption atomique (TECHTRON AA4).

3° Mesure du pH :

Celle-ci est effectuée au pH-mètre sur une suspension aqueuse p/v = 1/2,5.

III. — RESULTATS

Le tableau II rassemble la moyenne des résultats obtenus (3 répétitions). Deux groupes de facteurs semblent intervenir dans les processus d'immobilisation des complexes organo-ferriques : 1° des facteurs biologiques qui sont eux-mêmes sous la dépendance des caractéristiques de l'environnement (BRUCKERT et DOMMERGUES, 1966) ; 2° des facteurs physico-chimiques (teneur en argile, en oxyde de fer, en bases ou, comme cette étude le montrera, en matière organique).

A) IMMOBILISATION BIOLOGIQUE DU FER ORGANIQUE :

1° Immobilisation en présence d'une microflore active et en présence d'une microflore inactivée par le froid :

Le tableau montre très clairement que, lorsque la microflore dégradant le complexe citrate ferrique a pu proliférer (18° C), l'immobilisation du fer est beaucoup plus importante que lorsque les microorganismes n'ont pu se développer (0° C). Ainsi, dans l'horizon A₁ du sol brun lessivé :

- la densité des microorganismes (transformée en logarithme) augmente de 5,0 (0° C) à 10,7 (18° C) ;
- parallèlement, le fer restant hydrosoluble diminue de 815 à 13 ppm ou encore le pourcentage de fer immobilisé passe de 53,4 % (0° C) à 99,2 % (18° C).

2° Comparaison des différents types pédologiques :

Le sol brun lessivé s'oppose nettement au podzol. Dans le premier, les complexes organo-ferriques sont soumis à une biodégradation intense : quel que soit l'horizon du sol brun lessivé, plus de 90 % du fer hydrosoluble ajouté est immobilisé ; au contraire, dans le second, ces complexes sont beaucoup moins biodégradés. Cette différence de comportement entre ces deux sols — déjà observée dans une expérience préliminaire (*) entre des types pédologiques se rattachant les uns aux sols à mull, les autres aux sols à mor — est nettement marquée, dans le cas des horizons A. L'horizon Bh du podzol est caractérisé par une immobilisation biologique anormalement élevée en apparence puisqu'elle représente 93,5 % du fer apporté ; ce fait s'explique par la présence dans cet horizon d'une microflore biodégradant les complexes organo-métalliques, qui a proliféré rapidement lors de l'adjonction de citrate de fer, cette prolifération étant d'autant plus rapide que ce milieu ne semble pas renfermer des substances inhibitrices qui ralentissent l'activité biologique en A₁ et A₂ ; les composés phénoliques auxquels on pourrait attribuer dans les horizons supérieurs une action inhibitrice sont sensiblement moins abondants sous leur forme libre ; ils s'y trouvent essentiellement sous des formes polymérisées vraisemblablement beaucoup moins toxiques.

B) INTERFERENCE DES FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES :

La comparaison des pourcentages de fer immobilisé dans les différents types d'horizons incubés à 0° C révèle une immobilisation qui n'est pas de nature microbienne (puisque à 0° C il n'y a aucun développement de microorganismes), mais de nature

(*) Expérience dont on n'a pas jugé nécessaire de rendre compte en détail ici.

TABLEAU II. — COMPARAISON DE L'IMMOBILISATION DU FER DANS LES DIFFERENTS ECHANTILLONS DE SOL MAINTENUS A UNE TEMPERATURE FAVORABLE (18° C) OU DEFAVORABLE A L'ACTIVITE BIOLOGIQUE (0° C) ET A UNE TEMPERATURE INTERMEDIAIRE (5° C)

Horizon	pH (eau)		Log de la densité de la microflore dégradant les com- plexes organo-ferriques.				Fer hydrosoluble ppm				Fer immobilisé : % du fer hydrosoluble ajouté			
			Au Jour J	Après incubation de 21 jours			Au Jour J	Après incubation de 21 jours			Au Jour J	Après incubation de 21 jours		
	0° C	18° C		0° C	5° C	18° C		0° C	5° C	18° C		0° C	5° C	18° C
Sol brun lessivé														
A ₁	5,8	6,0	7,7	5,0	10,6	10,7	814	815	573	13	53,5	53,4	67,2	99,2
A ₂	4,9	5,5	6,6	4,0		8,3	916	853		142	47,6	51,3		91,8
B	6,1	6,9	6,0	4,8		9,2	762	750		18	56,4	58,1		99,0
Podzol humo-ferrugineux														
A ₁	3,7	3,9	6,2	4,4	6,7	10,5	1252	999	599	374	28,4	42,9	65,7	78,6
A ₂	3,9	4,0	6,1	5,1		9,8	1480	1233		611	15,4	28,3		65,0
B _h	3,8	4,1	5,9	3,6		9,2	846	612		113	51,6	65,0		93,5

physico-chimique. Cette immobilisation physico-chimique semble liée à la nature et à la teneur des fractions minérales et organiques.

1° Influence des éléments minéraux :

Les teneurs en colloïdes, en oxydes de fer et en bases, jouent un rôle certain, mis en évidence par le pourcentage de fer immobilisé à 0° C dans les échantillons suivants :

- L'horizon A² du podzol, pauvre en éléments minéraux susceptibles d'adsorber le complexe (2,5 % d'argile, 0,9 pour mille de fer libre) immobilise 28,3 % du fer hydrosoluble ajouté, soit un pourcentage faible, comparé aux 51,3 % de l'horizon A₂ du sol brun lessivé (29,1 % d'argile, 27,7 pour mille de fer libre).
- L'horizon C du podzol (3 % d'argile, 1,48 pour mille de fer libre) s'oppose considérablement à l'horizon C du sol brun lessivé (36 % d'argile, 29,4 pour mille de fer libre) ; le premier milieu n'immobilise que 2,2 % du fer hydrosoluble, alors que le second en immobilise 35,6 % (ce résultat obtenu au cours des expériences préliminaires, ne figure pas au tableau II).

2° Influence de la matière organique :

Les éléments minéraux ne semblent pas être seuls à intervenir dans l'immobilisation du citrate ferrique ; en effet, cette étude paraît mettre en évidence l'action de la matière organique, soit bien incorporée au complexe argilo-humique (mull), soit individualisée par rapport aux éléments minéraux (A₁ du podzol).

Le mull eutrophe par exemple (sol brun lessivé), à complexe argilo-humique constitué, immobilise presque autant de fer (53,5 %) que l'horizon B du même profil beaucoup plus argileux (58,1 %).

Cette différence apparaît aussi dans les sols podzoliques où l'horizon A₂ (0,66 % de carbone) retient environ 2 fois moins de fer hydrosoluble ajouté que l'horizon A₁ (14,4 % de carbone).

Remarque concernant la vitesse de l'immobilisation physico-chimique :

On observe entre les deux types de sols étudiés une différence de rapidité dans le processus d'immobilisation physico-chimique. En effet, dans le cas du sol brun lessivé, le pourcentage du fer immobilisé au début de l'expérience (53,5 % dans l'horizon A₁ par exemple) reste inchangé après 21 jours (53,4 %), ce qui laisse supposer que l'immobilisation physico-chimique du complexe s'est produite dès qu'il a été en contact avec le sol. Dans le podzol, au contraire, l'immobilisation physico-chimique s'avère beaucoup plus progressive puisqu'elle passe de 28,4 à 42,9 % après 21 jours (horizon A₁).

IV. — CONCLUSION

Ce travail permet de préciser l'importance relative de l'immobilisation physico-chimique et de l'immobilisation biologique du fer dans quelques types de sols.

1° Immobilisation physico-chimique :

Dans les conditions expérimentales où nous nous sommes placés, le pourcentage de fer hydrosoluble immobilisé par des processus physico-chimiques oscille entre 28 % et 65 % ; mais, dans le cas d'horizons très gréseux, nous avons observé des valeurs plus faibles (2 %, C des podzols).

Cette immobilisation est fonction non seulement de la teneur et de la nature des minéraux du sol, mais aussi du taux de matière organique, qu'elle soit ou non incorporée à un complexe argilo-humique.

2° Immobilisation biologique :

Les résultats obtenus ici mettent en évidence le rôle de la microflore dégradant les complexes organo-métalliques dans l'immobilisation biologique du fer qui, dans nos conditions expérimentales, apparaît toujours supérieure à l'immobilisation physico-chimique.

La comparaison de l'immobilisation biologique du fer dans les sols à mull et à mor confirme des résultats antérieurs (BRUCKERT et DOMMERGUES, 1966) et précise le devenir d'un complexe simple (citrate) dans les horizons profonds :

1. Dans les sols à mull, les complexes organo-ferriques sont immobilisés dès l'horizon A₁ non seulement par des processus physico-chimiques, mais aussi par une biodégradation très intense de l'anion complexant.

Cette biodégradation pourrait théoriquement intervenir *in situ* dans les horizons plus profonds (A₂, B, C₁) puisque nous avons vu que lors de l'enrichissement en citrate de ces horizons, la microflore tellurique prolifère ; mais en fait les complexes naturels tels que les acides organiques ne s'enfoncent jamais profondément dans le sol (BRUCKERT, 1966), car ils sont biodégradables en A₁ ou, à défaut, en A₂.

2. Dans les sols à mor, au contraire, les complexes peu biodégradés en A₁ et A₂ peuvent migrer et entraîner le fer en profondeur, où ils sont immobilisés essentiellement par des processus physico-chimiques :

- absorption par les argiles (BINGHAM et al, 1965) ou par les sesquioxides (KING et BLOOMFIELD, 1966) ;
- évolution biochimique : polymérisation et transformation en composés humiques (BRUCKERT et al, 1967).

Dans l'horizon Bh, une immobilisation biologique relativement importante semble pouvoir se superposer à l'immobilisation physico-chimique : la présence d'une densité relativement élevée de microorganismes dégradant les complexes en Bh, observée *in situ* antérieurement (CRAWFORD, 1956 ; DOMMERGUES et DUCHAUFOR, 1965), vient à l'appui de cette thèse. Cette immobilisation peut effectivement intervenir *in situ* puisque, dans les podzols et sols podzoliques, les complexes (acides organiques) peuvent parvenir, après migration, jusque dans les horizons B (BRUCKERT, 1966).

La présente note enfin, attire l'attention sur le facteur température qui, semble-t-il, n'avait pas, jusqu'à maintenant, été étudié expérimentalement. **Les basses températures, en bloquant, ou tout au moins en ralentissant considérablement l'activité biologique, évitent la biodégradation des complexes organo-ferriques** qui peuvent alors migrer dans le profil. C'est par cet effet de blocage par le froid de la biodégradation que l'on peut expliquer l'évolution podzolique de certains sols soumis à des températures moyennes annuelles faibles (podzols boréaux, sols d'altitude) et la migration du fer — intervenant même dans des sols biologiquement actifs — à la fin de l'hiver, à l'époque de la fonte des neiges.

(Reçu pour publication le 20 février 1968.)

Bibliographie

- BINGHAM (F.T.), SIMS (J.R.) et PAGE (A.), 1965. — Retention of acetate by montmorillonite. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 29, 670-672.
- BLOOMFIELD (C.), 1956. — The experimental production of podzolization. VI^e Congr. Inter. Sc. du Sol, Paris V (3), 21-23.
- BRUCKERT (S.), 1966. — Répartition des acides hydrosolubles dans quelques profils de sols forestiers. *C.R. Ac. Sci. Paris*, 263, 1572-1575.
- BRUCKERT (S.) et JACQUIN (F.), 1966. — Relation entre l'évolution des acides hydrosolubles de deux litières forestières et les processus pédogénétiques *Bull. E.N.S.A., Nancy*, 7 (2), 95-112.
- BRUCKERT (S.) et DOMMERGUES (Y.), 1966. — Etude expérimentale de la biodégradation de deux complexes organo-ferriques dans un sol à mor et dans un sol à mull. *Sci. du Sol*, 2, 65-76.
- BRUCKERT (S.), JACQUIN (F.) et METCHE (M.), 1967. — Contribution à l'étude des composés phénoliques des sols. *Bull. E.N.S.A., Nancy*, IX (2), 73-92.
- COULSON (C.B.), DAVIES (R.I.), LEWIS (D.A.), 1960. — Polyphenols in plant, humus and soils : I. Polyphenols of leaves, litter and superficial humus from mull and mor sites : II. Reduction and transport by polyphenols of iron model soil columns. *J. Soil Sci. G. B.* 11 (1), 20-44.
- CRAWFORD (D.V.), 1956. — Microbiological aspects of podzolization. VI^e Congr. Intern. Sc. du Sol Paris, III (32), 197-202.
- DOMMERGUES (Y.) et DUCHAUFOR (Ph.), 1965. — Etude comparative de la dégradation biologique des complexes organo-ferriques dans quelques types de sols. *Sci. du sol*, 1, 43-59.

- DUCHAUFOR (Ph), 1964. — Evolution de l'aluminium et du fer complexés par la matière organique dans certains sols. *Sc. du Sol* 2, 3-17.
- GLEEN (H.), 1960. — Biological oxidation of iron in soil. *Nature*, 166 (4229), 871-872.
- HARDER (E.C.), 1919. — U.S. Geol. survey professional paper n° 113, cité par ALLEN, 1957, in *Experiments in Soil Bacteriology*; Burgess Publishing company, Minnesota
- KING (H.G.C.) et BLOOMFIELD (C.), 1966. — The reaction between water-soluble tree leaf constituents and ferric oxide in relation to podzolisation. *J. Sci. Food Agric.*, 17, 39-43.
- LOSSAINT (P.), 1959. — Etude expérimentale de la mobilisation du fer des sols sous l'influence des litières forestières. *Ann. Agron.* 4, 369-414 et 5, 493-542.
- 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. Soil. Sci. G.B.*, 15 (2), 220-237.
- SCHAEFER (R.), 1967. — Communication personnelle.
- 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 Sci.* 98 (3), 197-203.
- TEN (Kh.M.), 1967. — Micro-organisms oxidizing iron and manganese in soils of south Sakhalin. *Mikrobiologiya*, 36, 337-344.

RELATIVE IMPORTANCE OF PHYSICO-CHEMICAL IMMOBILISATION
AND BIOLOGICAL IMMOBILISATION OF IRON IN SOILS

SUMMARY

The object of these researches is to separate the two following processes inducing iron complexes immobilisation : physico-chemical immobilisation and precipitation by organic molecule biodegradation.

The physico-chemical immobilisation of iron organic complexes depends on the characteristics of soil horizons : mineral characteristics (clay, sesquioxide content) and organic characteristics (organic matter content).

The biological immobilisation of iron is always higher than the physico-chemical immobilisation.

In mull soils (sol brun acide, sol brun lessivé), the iron organic complexes immobilisation intervenes rapidly in A₁ horizon and results not only from physico-chemical factors, but also from strong microflora action, which is able to degrade these complexes ; on the contrary, in mor soils (podzols and sol podzolique), iron migrates down more easily, because the organic complexes are less biodegraded ; consequently, these may be able to migrate to accumulation horizons where they are physico-chemically retained.

The absence of biodegradation of organic complexes at 0° C should explain the podzolic evolution of some soils (boreal podzols, mountain crypto-podzolic soils) and the iron migration — even in biologically active soils — at the end of winter when the snow is melting.

*Extrait de « Science du Sol » — N° 1, 1968 — Supplément au Bulletin
de l'Association Française pour l'Etude du Sol*

Importance relative de l'immobilisation physico-chimique et de l'immobilisation biologique du fer dans les sols

S. BRUCKERT

Faculté des Sciences
NANCY

Y. DOMMERGUES

C.N.R.S. Pédologie
NANCY

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

Collection de Références

n° 13934