

## Limitation de la cellulolyse dans les sols organiques

### I. — Étude respirométrique

PAR

K. T. KONG et Y. DOMMERGUES

Laboratoire de Pédologie Biologique - B. P. n° 5 - Vandœuvre-lès-Nancy

#### I. INTRODUCTION

On sait que la matière organique constituant les tourbes peut persister longtemps — des centaines et même des milliers d'années — sans être minéralisée. Mais l'origine de la stabilité des composés organiques dans ces sols est mal connue : on ne sait même pas s'il s'agit d'une *stabilité intrinsèque* résultant de la récalcitrance des composés organiques eux-mêmes, ou d'une *stabilité extrinsèque*, conséquence d'un environnement défavorable (ALEXANDER, 1965).

Si l'on considère cette deuxième hypothèse, on peut envisager l'intervention de trois groupes de facteurs écologiques défavorables : facteurs de nature physique (par ex. : phénomènes d'adsorption, d'enrobage, d'incrustation), facteurs de nature chimique (par ex. : acidité, présence de composés antimicrobiens, carences en certains éléments), facteurs de nature biologique (par ex. : antagonismes de type antibiotisme ou compétition).

Le travail que nous présentons ici est destiné à éclairer un point particulier concernant l'origine de la stabilité extrinsèque : celui de l'influence de l'acidité et des carences azotées et phosphatées sur l'activité cellulolytique dans des tourbières de deux types bien distincts définis par DUCHAUFOUR (1965) sous les noms de tourbe acide et tourbe calcaïque. Il nous a semblé intéressant en outre de comparer à ces sols (1) un horizon superficiel de type mor, horizon caractérisé, on le sait, par une activité biologique ralentie (2) un horizon de surface d'un sol brun calcaire cultivé.

\* Reçu le 20 septembre 1970.

La littérature concernant la cellulolyse dans les tourbières est très sommaire, les auteurs s'étant essentiellement consacrés à l'étude des microflores cellulolytiques dans les tourbes acides (BARJAC, 1955 ; BÉNÉ et al., 1968 ; KÜSTER, 1963) et non à l'étude de l'activité cellulolytique proprement dite. Ces quelques travaux aboutissent tous à la conclusion que la microflore cellulolytique est peu abondante dans les tourbes acides, ce qui laisse supposer que l'activité cellulolytique y est elle-même réduite.

En ce qui concerne le cas des mors, signalons un travail récent de KIFFER et MANGENOT (1968), d'où il découle que l'activité cellulolytique dans un sol à mor de podzol est très réduite.

La cellulolyse dans les tourbes calciques ne semble pas avoir encore été étudiée.

## II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### A. MATÉRIEL

Les sols étudiés proviennent des stations sommairement décrites ci-dessous :

#### 1. Tourbes acides.

##### a) TOURBE DU BEILLARD (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>).

*Emplacement* : tourbière du Beillard (département des Vosges), Route de Gérardmer au Tholy à 4 km de Gérardmer.

*Substratum* : alluvions glaciaires siliceuses.

*Altitude* : 600 m.

*Formation végétale* : tourbière spongieuse à sphaignes (*Sphagnum* sp.) envahie par la callune (*Calluna vulgaris*).

##### b) TOURBE DU HOHNECK (H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>).

*Emplacement* : tourbière du Hohneck (à la limite des départements des Vosges et Haut-Rhin) à proximité du chalet universitaire.

*Substratum* : granite leucocrate.

*Altitude* : 1.220 m.

*Formation végétale* : tourbière à Sphaignes (*Sphagnum* sp.) envahie par divers *Vaccinium*.

#### 2. Tourbe calcique (G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>).

*Emplacement* : Marais de Saint-Gond à environ 25 km au sud d'Épernay (département de la Marne).

*Substratum* : craie.

*Altitude* : 140 m.

*Formation végétale* : Marais à Cypéracées et *Phragmites*.

TABLEAU I

## Caractéristiques chimiques des sols étudiés

Type de sol	Provenance	Profondeur en cm	Référence	pH	C %	N %	C/N	Complexe absorbant me pour 100 g						N ammoniacal (ppm)	N nitrique (ppm)	P assimilable (ppm)
								Ca	Mg	K	S	T	S/T × 100			
Tourbes acides	Beillard	20-30	B <sub>1</sub>	3,2	50,0	1,15	43,5	5,3	4,4	0,7	10,4	130	8	43	0	29
		50-70	B <sub>2</sub>	3,6	55,6	1,16	48,0	4,6	3,6	0,1	8,3	119	7	31	0	25
	Hohneck	10-20	H <sub>1</sub>	3,1	58,5	1,95	30,0	2,7	0,9	0,6	4,2	114	3,7	80	0	30
		50-70	H <sub>2</sub>	3,2	53,5	1,47	36,4	3,3	0,9	0,6	4,8	101	4,7	83	0	19
Tourbe calcaïque	Saint-Gond	20-40	G <sub>1</sub>	7,3	42,5	2,41	17,6	155,0	1,0	0,2	156,2	151	sat.	36	125	19
		120-130	G <sub>2</sub>	6,9	43,4	1,81	24,0	131,0	1,5	0,3	132,9	132	sat.	29	0	19
Mor sur Podzol	Nom-patelize	0-8	MR	3,0	42,0	1,25	33,6	3,5	2,4	1,3	7,2	110	6,6	32	0	28
Sol brun calcaire	Montet	0-10	SBC	7,5	2,9	0,24	12,0	32,0	0,9	0,7	33,6	19	sat.	32	43	69

N.B. Les résultats sont exprimés en fonction du sol sec à l'air.

### 3. Mor de podzol (MR).

*Emplacement* : Forêt de Nompatez (département des Vosges) à 7 km à l'Est d'Autrey.

*Roche mère* : Grès vosgien.

*Altitude* : 450 m.

*Végétation* : sapinière, végétation herbacée de *Vaccinium myrtillus*, *Calluna vulgaris*, *Luzula albida*, *Deschampsia flexuosa*, *Pteris aquilina*, Sphaignes.

### 4. Sol brun calcaire (SBC).

*Emplacement* : Ancienne ferme expérimentale du Montet, Vandœuvre-lès-Nancy (département de Meurthe-et-Moselle).

*Roche mère* : Colluvium du plateau jurassique.

*Altitude* : 290 m.

*Formation végétale* : Culture de céréales en rotation avec légumineuses.

Les principales caractéristiques chimiques et biologiques de ces sols figurent aux tableaux I et II.

TABLEAU II

Densité des bactéries, actinomycètes et champignons dans les sols étudiés

Type de sol	Provenance	Profondeur en cm	Référence	Microflore totale bactérienne en unités par g de sol sec à l'air	Actinomycètes en unités par g de sol sec à l'air	Champignons en unités par g de sol sec à l'air
Tourbes acides ....	Beillard	20-30	B <sub>1</sub>	420 000	1 500	8 000
	Hohneck	10-20	H <sub>1</sub>	1 000 000	2 000	16 000
Tourbe calcique ..	Saint-Gond	20-40	G <sub>1</sub>	45 400 000	4 000	114 000
Mor sur podzol ....	Nompatez	0- 8	M R	3 400 000	146 000	312 000
Sol brun calcaire ..	Montet	0-10	SBC	14 000 000	3 200 000	440 000

## B. MÉTHODES

### 1. Évaluation de l'activité cellulolytique *in situ*.

Elle consiste à enfouir, sur le terrain, des disques de papier filtre (Durieux III) de 9 cm de diamètre, à des profondeurs différentes. Le papier filtre est protégé par une toile en laine de verre et serré entre deux plaques métalliques évidées.

L'expérience a été effectuée au début du mois de novembre et s'est poursuivie pendant neuf mois. Après le prélèvement, les disques de papier filtre

ont été pesés pour comparer le poids sec avec le poids initial. L'activité cellulolytique *in situ* est exprimée par le pourcentage de cellulose disparue pendant l'incubation de neuf mois *in situ*.

## 2. Étude expérimentale de l'activité cellulolytique au laboratoire.

Pour mener à bien cette étude, nous avons fait appel à des méthodes respirométriques classiques consistant soit à mesurer l'absorption d'oxygène dans un respiromètre électrolytique (Harris, 1966), soit à mesurer le dégagement de  $\text{CO}_2$  dans une enceinte fermée (DOMMERMUES, 1960).

### a) CONDITIONS D'INCUBATION.

Le plus rapidement possible après le prélèvement, les sols ont été tamisés et enrichis conformément aux indications figurant au paragraphe b ci-dessous. L'humidité des sols a été maintenue au niveau de l'humidité au moment du prélèvement, qui correspond sensiblement à la capacité au champ, soit respectivement 300 %, 455 %, 596 %, 624 %, 400 %, 566 %, 270 % et 22 % pour les sols B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, MR, SBC.

### b) APPORTS DE CELLULOSE, CARBOXYMÉTHYLCELLULOSE, $\text{CaCO}_3$ , N, P (TABLEAU III).

Les enrichissements ont été effectués avec les produits suivants :

- cellulose : poudre de cellulose pour chromatographie Durieux,
- carboxyméthylcellulose (CMC) : Blanose R 190 Pronoval,
- $\text{CaCO}_3$  précipité *pr. anal.* (Merk),
- N sous forme de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,
- P sous forme de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ .

TABLEAU III

Doses de cellulose, CMC,  $\text{CaCO}_3$ , N, P appliquées pour l'enrichissement des sols  
(Doses exprimées en pourcentage en fonction du sol sec à l'air)

Sols	$\text{CaCO}_3$	Cellulose CMC	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ $\text{K}_2\text{HPO}_4$	Expérience portant sur :
Tourbe acide H <sub>1</sub> . . . . .	13,3	13,3	0,13	Absorption d'O <sub>2</sub>
	10	2,5	0,10	Dégagement de CO <sub>2</sub>
Tourbe calcique G <sub>1</sub> . . . . .	0	10,0	0,10	Absorption d'O <sub>2</sub>
	0	2,5	0,10	Dégagement de CO <sub>2</sub>
Mor de podzol MR . . . . .	7,4	7,4	0,07	Absorption d'O <sub>2</sub>
	10	2,5	0,10	Dégagement de CO <sub>2</sub>
Sol brun calcaire SBC.	0	2,44	0,024	Absorption d'O <sub>2</sub>
	0	2,5	0,10	Dégagement de CO <sub>2</sub>

1. *Expériences fondées sur l'absorption d'O<sub>2</sub>* (expériences n<sup>os</sup> 1 et 2).

Les apports de cellulose ou carboxyméthylcellulose (CMC) ont été effectués aux doses de 2 % par rapport au poids de sol humide, ce qui représente pour la tourbe acide, la tourbe calcique, le mor de podzol, le sol brun calcaire, des apports respectifs de 13,3 ; 10,0 ; 7,4 ; 2,44 % par rapport au poids sec de ces sols. Les apports de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> et K<sub>2</sub>H PO<sub>4</sub> ont représenté le centième des apports de cellulose ou CMC. Lorsqu'ils ont eu lieu, les apports de CaCO<sub>3</sub> ont été identiques aux apports de cellulose ou de CMC.

2. *Expériences fondées sur le dégagement de CO<sub>2</sub>* (expérience n<sup>o</sup> 3).

Les apports de cellulose ou CMC effectués lors des expériences précédentes se sont révélés trop élevés car ils perturbent gravement l'équilibre chimique des sols (notamment le C/N) et leurs propriétés physiques (notamment la capacité de rétention). Aussi a-t-on été amené à réduire ces apports à 2,50 % (dose exprimée par rapport au poids sec des sols). En ce qui concerne l'azote minéral, on ajoute une dose telle que le mélange cellulose (ou CMC) et (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> présente un rapport  $\frac{C}{N}$  de l'ordre de 50, c'est-à-dire un rapport  $\frac{C}{N}$  voisin de celui qui caractérise les sols organiques étudiés (cf. tableau I).

*Remarque :*

Une expérience préliminaire (tableau IV) ayant montré que l'adjonction de S sous forme de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ne modifiait pas l'intensité de la cellulolyse dans la tourbe acide H<sub>1</sub>, on a considéré que l'apport d'azote pouvait se faire sous forme de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> sans risquer d'introduire « un effet S » dans l'expérimentation.

TABLEAU IV

**Influence du soufre apporté sous forme de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sur l'activité cellulolytique de la tourbe acide H<sub>1</sub> mesurée par le dégagement de CO<sub>2</sub>**  
(exprimée en mg de CO<sub>2</sub> dégagé en sept jours par 1 g de sol sec à l'air)

	Doses de S apportées à la tourbe en ppm (en fonction du poids de sol sec à l'air)					
	0	5	10	20	40	200
Aucun apport de cellulose	6,00	—	5,75	6,14	—	5,95
Apport de cellulose à la dose de 2 % (en fonction du poids de sol sec à l'air)	7,60	7,00	8,40	7,66	7,66	8,00

N.B. Les chiffres correspondent à la moyenne de 3 répétitions.

## c) DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX.

En dehors de quelques expériences — notamment l'expérience préliminaire concernant l'adjonction de S et l'expérience ayant pour but la comparaison des activités cellulolytiques et CMclytiques (expérience n° 1) — on a adopté des dispositifs de type factoriel avec 2 ou 3 répétitions :

— *Dispositif factoriel de type 2<sup>2</sup> : mesure de l'absorption d'O<sub>2</sub>* (expérience n° 2).

Deux groupes de facteurs ont été étudiés séparément : apport de cellulose et apport d'azote d'une part, apport de cellulose et apport de phosphate d'autre part.

— *Dispositif factoriel de type 2<sup>4</sup> : mesure du dégagement de CO<sub>2</sub>* (expérience n° 3).

On a étudié simultanément les 4 facteurs : apport de cellulose, apport d'azote, apport de phosphore, apport de CaCO<sub>3</sub>.

Les résultats de ces expériences factorielles n° 2 et n° 3 ont été analysés suivant la méthode simplifiée proposée par BECK *et al.* (1969).

## d) UNITÉS.

L'absorption d'oxygène est exprimée en ml d'oxygène absorbé en 10 jours par un poids de sol correspondant à 1 g de C du sol.

Le dégagement de CO<sub>2</sub> est exprimé en mg de CO<sub>2</sub> dégagé en 7 jours par 1 g de sol sec.

## e) PRINCIPE DE L'INTERPRÉTATION.

Nous négligeons l'intervention éventuelle d'un priming effect (effet d'activation) et nous admettons que l'accroissement d'activité respiratoire consécutif à l'enrichissement en cellulose (ou en CMC) est directement lié à l'activité cellulolytique (ou CMclytique) dans le sol considéré.

L'accroissement d'activité respiratoire dû à l'enrichissement en cellulose (donc à la cellulolyse) est défini par la différence :

$$R = DC - D$$

où DC représente l'activité respiratoire (absorption d'O<sub>2</sub> ou dégagement de CO<sub>2</sub>) des sols enrichis en cellulose et D l'activité respiratoire correspondante des sols témoins (non enrichis en cellulose).

On définit de même l'accroissement d'activité respiratoire dû à l'enrichissement en CMC (donc à la CMclyse) :

$$R' = DCMC - D$$

où DCMC représente l'activité respiratoire des sols enrichis en CMC et D l'activité respiratoire correspondante des sols témoins (non enrichis en CMC).

Dans le cas où l'activité respiratoire est mesurée par l'absorption d'O<sub>2</sub>, l'accroissement d'activité respiratoire est désigné par RO<sub>2</sub>; dans le cas du dégagement de CO<sub>2</sub>, on utilise la désignation RCO<sub>2</sub>.

### III. RÉSULTATS

#### A. OBSERVATIONS *IN SITU*.

La méthode des disques de papier filtre (pièges cellulotiques) appliquée à la tourbière acide du Hohneck montre que, quel que soit l'horizon considéré, les pertes en poids sont toujours inférieures à 10 % en neuf mois (tableau V). L'activité cellulolytique *in situ* est donc très faible.

TABLEAU V

Pertes en poids de disques de papier filtre mis en place dans la tourbière acide du Hohneck (Les pertes sont exprimées en pourcentage par rapport au poids initial)

Répétition	Horizon H <sub>1</sub> 15 cm	Horizon H <sub>2</sub> 50 cm	Horizon H <sub>3</sub> 100 cm
1 .....	4,05	9,30	9,30
2 .....	4,46	2,31	9,10
3 .....	5,65	6,85	11,00
4 .....	4,20	10,00	6,60
5 .....	8,95	1,60	1,45
Moyenne .....	5,46	6,00	9,36

#### B. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE.

##### 1. Expérience n° 1 : comparaison des activités cellulolytique et CMClitique dans les différents sols non enrichis en éléments minéraux (tableau VI).

Pour faciliter la comparaison entre chacun des types de sols, on a calculé le rapport suivant :

« accroissement de l'absorption d'O<sub>2</sub> dû à l'enrichissement en cellulose (RO<sub>2</sub>) : accroissement de l'absorption d'O<sub>2</sub> dû à l'enrichissement en CMC (R'O<sub>2</sub>) ».

Pour tous les sols ce rapport  $\frac{RO_2}{R'O_2}$  est inférieur à 1, ce qui veut dire que la dégradation de la CMC est toujours plus rapide que celle de la cellulose. D'autre part, l'on constate que les sols peuvent se classer en deux catégories :

- 1) ceux dont le rapport  $\frac{RO_2}{R'O_2}$  est supérieur à 0,50 : tourbes calciques et sol brun calcaire ;



- 2) ceux dont le rapport  $\frac{RO_2}{R'O_2}$  est inférieur à 0,50 : tourbes acides, mor de podzol.

TABLEAU VI

Comparaison des accroissements d'absorption d'O<sub>2</sub> dus à l'enrichissement en cellulose et CMC dans les différents sols

(Expérience n° 1)

	Types pédologiques	Référence	Accroissement de l'absorption d'O <sub>2</sub> dû à l'enrichissement en cellulose (RO <sub>2</sub> )	Accroissement de l'absorption d'O <sub>2</sub> dû à l'enrichissement en CMC (R'O <sub>2</sub> )	$\frac{RO_2}{R'O_2}$
Sols organiques	Tourbes acides	B <sub>1</sub>	1,34	4,95	0,27
		B <sub>2</sub>	0,10	1,80	0,06
		H <sub>1</sub>	1,45	7,40	0,20
		H <sub>2</sub>	0,85	7,20	0,12
	Tourbe calcique	G <sub>1</sub>	2,30	3,65	0,63
		G <sub>2</sub>	2,20	3,20	0,69
	Mor de podzol	MR	2,20	9,16	0,24
	Sol non organique	Sol brun calcaire	SBC	16,30	28,80

N.B. Les définitions de RO<sub>2</sub> et R'O<sub>2</sub> sont données dans le texte. Les sols n'ont reçu aucune adjonction de N, P ou CaCO<sub>3</sub>.

## 2. Expérience n° 2 : influence de l'adjonction de N ou P sur l'activité cellulosique mesurée par l'absorption d'O<sub>2</sub>.

Il ne nous a pas semblé nécessaire de reproduire ici le détail de l'analyse statistique des données dont les moyennes figurent au tableau VII (partie supérieure). En effet, cette expérience nous a semblé moins importante que la suivante car nous n'y avons pas étudié l'effet de CaCO<sub>3</sub> et nous considérons que les apports de cellulose ont été trop élevés (cf. *supra*). Les données converties en accroissements d'activité respiratoire ont été regroupées au tableau VIII (partie supérieure).

## 3. Expérience n° 3 : influence de l'adjonction de N, P et CaCO<sub>3</sub> sur l'activité cellulosique mesurée par le dégagement de CO<sub>2</sub>.

Les données dont les moyennes figurent au tableau VII (partie inférieure) ont fait l'objet de l'analyse statistique dont les résultats sont regroupés ci-

TABLEAU VII

Influence de l'adjonction de cellulose, N, P, CaCO<sub>3</sub> sur l'activité respiratoire des différents sols étudiés

	Apports de				Sols organiques			Sol non organique
	Cellulose	CaCO <sub>3</sub>	P	N	Tourbe acide (H <sub>1</sub> )	Tourbe calcique (G <sub>1</sub> )	Mor de podzol (MR)	Sol brun calcaire (SBC)
<i>Expérience n° 2</i> Nombre de ml d'O <sub>2</sub> absorbé en 10 jours par 1 g de C du sol.					7,57	4,15	13,35	—
				×	8,80	4,98	16,86	—
			×		9,85	5,27	15,31	—
	×				8,77	6,45	17,37	—
	×			×	18,12	6,92	25,01	—
		×		12,87	17,00	17,01	—	
<i>Expérience n° 3</i> Nombre de mg de CO <sub>2</sub> dégagé en 7 jours par 1 g de sol sec.					5,96	4,62	7,10	0,89
	×				5,97	5,13	7,49	1,45
		×			27,87	—	25,57	—
	×	×			44,88	—	32,11	—
			×		4,89	5,06	7,83	2,18
	×		×		10,17	7,70	9,12	5,90
		×	×		31,19	—	17,24	—
	×	×	×		34,17	—	15,38	—
				×	4,89	5,13	7,38	1,32
	×			×	5,86	7,55	7,21	11,68
		×		×	41,16	—	28,79	—
	×	×		×	43,71	—	31,32	—
			×	×	4,79	5,57	7,04	2,07
	×		×	×	5,18	12,32	7,94	13,52
	×	×	×	31,97	—	24,90	—	
×	×	×	×	49,18	—	26,59	—	

Les chiffres sont la moyenne de 2 répétitions (absorption d'O<sub>2</sub>) ou de 3 répétitions (dégagement de CO<sub>2</sub>).

Les signes — correspondent aux traitements non étudiés.

dessous. Seuls ont été retenus les résultats hautement significatifs ( $P = 0,01$ ). Rappelons que les chiffres figurant ci-dessous correspondent à des dégagements de  $\text{CO}_2$  exprimés en mg de  $\text{CO}_2$  dégagés en 7 j par 1 g de sol sec.

$\alpha$ ) *Tourbe acide du Hohneck* ( $\text{H}_1$ ).

		<i>Interaction « cellulose <math>\times</math> <math>\text{CaCO}_3</math> »</i>	
		Cellulose	
		pas d'apport	apport
$\text{CaCO}_3$	pas d'apport .....	5,13	6,80
	apport .....	33,05	42,99
		<i>Interaction « N <math>\times</math> <math>\text{CaCO}_3</math> »</i>	
		N	
		pas d'apport	apport
$\text{CaCO}_3$	pas d'apport .....	6,75	5,18
	apport .....	34,53	41,51

$\beta$ ) *Tourbe calcique de Saint-Gond* ( $\text{G}_1$ ).

		<i>Interaction « cellulose <math>\times</math> P »</i>	
		Cellulose	
		pas d'apport	apport
P	pas d'apport .....	4,88	6,34
	apport .....	5,32	10,01
		<i>Interaction « cellulose <math>\times</math> N »</i>	
		Cellulose	
		pas d'apport	apport
N	pas d'apport .....	4,84	6,42
	apport .....	5,35	9,94

$\gamma$ ) *Mor de podzol* (MR).

		<i>Interaction « P <math>\times</math> <math>\text{CaCO}_3</math> »</i>	
		P	
		pas d'apport	apport
$\text{CaCO}_3$	pas d'apport .....	7,30	7,98
	apport .....	29,45	21,03

*Interaction « N × CaCO<sub>3</sub> »*

		N	
		pas d'apport	apport
CaCO <sub>3</sub>	pas d'apport .....	7,89	7,39
	apport .....	22,58	27,90

δ) *Sol brun calcaire du Montet (SBC).*

*Interaction « cellulose × N »*

		Cellulose	
		pas d'apport	apport
N	pas d'apport .....	3,40	7,45
	apport .....	1,70	12,60

On constate qu'il n'existe aucun effet principal libre de toute interaction. Quant aux interactions elles-mêmes, nous avons seulement interprété celles où l'apport de cellulose intervenait.

Les données converties en accroissements d'activité respiratoire ont été regroupées au tableau VIII (partie inférieure).

TABLEAU VIII

**Influence de l'adjonction de N, P, CaCO<sub>3</sub> sur l'accroissement de l'absorption d'O<sub>2</sub> et sur l'accroissement du dégagement de CO<sub>2</sub> dus à l'enrichissement en cellulose**

	Sols organiques			Sol non organique
	Tourbe acide (H <sub>1</sub> )	Tourbe calcique (G <sub>1</sub> )	Mor de podzol (MR)	Sol brun calcaire (SBC)
<i>Expérience n° 2</i> Accroissement de l'absorption d'O <sub>2</sub> : RO <sub>2</sub> (ml d'O <sub>2</sub> absorbé en 10 jours par un poids de sol correspondant à 1 g de C organique).	sans N : 1,21 avec N : 9,33 sans P : 1,20 avec P : 3,78	sans P : 2,30 avec P : 11,72	sans N : 2,01 avec N : 4,08 sans P : 4,02 avec P : 1,71	sans N : 27,00 avec N : 156,00
<i>Expérience n° 3</i> Accroissement du dégagement de CO <sub>2</sub> : RCO <sub>2</sub> (mg de CO <sub>2</sub> dégagé en 7 jours par 1 g de sol sec).	sans CaCO <sub>3</sub> : 1,67 avec CaCO <sub>3</sub> : 9,94	sans N : 1,58 avec N : 4,59 sans P : 1,46 avec P : 4,69	NS	sans N : 4,05 avec N : 10,90

NS : NON SIGNIFICATIF

#### IV. DISCUSSION

##### 1. Limitation de la cellulolyse dans les sols organiques.

On a vu clairement qu'*in situ* la cellulolyse était pratiquement inexistante dans la tourbe acide (tableau V). Au laboratoire, cette limitation de la cellulolyse dans les sols organiques ressort également bien de l'expérience fondée sur la mesure de l'accroissement de l'absorption d'O<sub>2</sub> consécutive à l'enrichissement en cellulose (tableau VI). On constate en effet que l'accroissement d'absorption d'O<sub>2</sub> oscille entre 0,10 et 2,30 dans les sols organiques alors qu'il atteint 16,30 dans le sol non organique.

##### 2. Influence d'apports de N, P, CaCO<sub>3</sub> sur la cellulolyse dans les sols organiques (tableau VIII).

###### α) Tourbe acide.

L'expérience n° 2 met en évidence un effet très favorable de l'apport d'N minéral : l'adjonction d'azote à la tourbe acide fait passer l'accroissement de l'absorption d'O<sub>2</sub> de 1,21 à 9,33. L'effet de P est net, mais un peu moins marqué.

L'expérience n° 3 ne confirme pas ces résultats en ce qui concerne l'apport d'N ou P ; quant à l'apport de CaCO<sub>3</sub>, il fait passer l'accroissement du dégagement de CO<sub>2</sub> de 1,63 à 9,94.

###### β) Tourbe calcique.

Les expériences n° 2 et n° 3 montrent indiscutablement que, dans ce type de sol organique, *P minéral soluble est le facteur limitant majeur de la cellulolyse* ; ainsi, dans l'expérience n° 2, l'adjonction de P à la tourbe calcique fait passer l'accroissement de l'absorption d'O<sub>2</sub> de 2,30 à 11,72. L'expérience n° 3 confirme ces résultats et montre en outre que N pourrait aussi jouer un rôle favorable.

###### γ) Mor de podzol.

Les adjonctions de P et CaCO<sub>3</sub> sont pratiquement sans effet sur la cellulolyse dans ce type de sol organique. L'azote exerce *un certain effet favorable* dans le cas de l'expérience n° 2. L'effet de P est dépressif, ce que l'on pourrait expliquer par une immobilisation de l'azote.

#### V. CONCLUSIONS

1. *Toutes nos expériences montrent indiscutablement que la cellulolyse est fortement limitée dans les différents sols organiques étudiés ; la limitation de la cellulolyse intéresse essentiellement la première étape de dégradation de la cellulose (hydrolyse de la cellulose insoluble, ici cellulose en poudre), mais peut aussi intéresser la deuxième (hydrolyse de la cellulose soluble, ici CMC Blanose R 190).*

2. *La limitation de la cellulolyse dans la tourbe calcaïque est indiscutablement due à une carence en P minéral soluble.*

La carence en P peut s'expliquer :

- par une insolubilisation du P soluble par le calcium ;
- par un lessivage par les eaux de pluie (GARDINER, 1966) ;
- par une inactivation des enzymes (phosphatases) ou des microorganismes responsables de la minéralisation de P organique.

A côté de la carence en P, la tourbe calcaïque souffrirait aussi d'une carence en N. Cette carence en N minéral peut paraître *a priori* étonnante dans des sols qui renferment des quantités importantes d'N total (tableau I) ; mais cet azote est difficilement biodégradable en raison de processus de stabilisation par complexation (cf. DOMMERGUES et MANGENOT, 1970). Lorsque N est minéralisé sous forme ammoniacal, il peut aussi être bloqué par réversion, réaction de N ammoniacal sur la matière organique du sol (BROADBENT et NAKASHIMA, 1967).

3. *La limitation de la cellulolyse dans la tourbe acide* pourrait être imputée à une carence en N minéral et, accessoirement, en P minéral ; mais dans le cas de ce sol, on ne peut être aussi affirmatif que dans celui de la tourbe calcaïque, car les carences n'apparaissent que dans une de nos deux expériences, plus précisément dans l'expérience n° 2 dans laquelle la dose d'enrichissement en cellulose est très élevée (13,3 %). Des expériences de contrôle seront nécessaires. La cellulolyse est aussi limitée par l'absence de  $\text{CaCO}_3$ .

4. *La limitation de la cellulolyse dans le mor de podzol* peut être partiellement attribuée à une carence en N. Elle ne peut l'être à une carence en P ou à une acidité excessive. La théorie de l'inhibition de l'activité biologique par des composés antimicrobiens (BECK et al., 1969) pourrait être invoquée pour expliquer la limitation de la cellulolyse dans ce type de sol organique.

5. *Si l'on se cantonne aux sols de tourbière*, on est amené à admettre que, parmi les différentes hypothèses expliquant l'origine de la limitation de la cellulolyse, il faut réserver une place importante à l'hypothèse de la déficience de ces sols en N ou P sous forme minérale soluble. Il semble, en effet, que cette déficience entraîne l'apparition d'une compétition très vive entre les microorganismes cellulolytiques et les microorganismes moins exigeants sur le plan de la nutrition azotée et phosphorée. Des expériences en cours dans notre laboratoire permettront de vérifier cette hypothèse.

#### RÉSUMÉ

Des mesures effectuées *in situ* et des incubations au laboratoire montrent que l'activité cellulolytique dans les sols organiques (tourbes acides, tourbes calcaïques, mor) est très faible.

On peut supposer que cette limitation de la cellulolyse serait due, en particulier, à des carences en N minéral et P minéral soluble, et, dans le cas des sols acides, à un pH excessivement bas. Ces différentes hypothèses ont été testées, à l'aide de méthodes respirométriques classiques, sur des représentants typiques des

trois sols organiques suivants : une tourbe acide, une tourbe calcique, un mor ; à titre de comparaison, on a étudié un sol non organique : sol brun calcaire.

1. *Dans la tourbe calcique*, la limitation de la cellulolyse est indiscutablement la conséquence d'une carence en P minéral soluble.

2. *Dans la tourbe acide*, l'origine de la limitation de la cellulolyse est moins nette : elle pourrait être due - mais en partie seulement - à une carence en N minéral et, accessoirement, à une carence en P minéral soluble. En outre, l'acidité et l'absence des ions calcium semblent très défavorables à la cellulolyse.

3. *Dans le mor de podzol*, le ralentissement de la cellulolyse ne peut être attribué ni à une carence en P ni à une acidité excessive. Il pourrait l'être, dans une certaine mesure, à une carence en N et à l'intervention de substances antimicrobiennes ou inhibitrices des enzymes du sol.

Les déficiences en N minéral et P minéral soluble pourraient induire l'apparition d'interactions de nature compétitive entre les microorganismes cellulolytiques et d'autres microorganismes moins exigeants sur le plan de la nutrition minérale.

#### SUMMARY

*In situ* experiments and incubation in the laboratory show that the cellulolytic activity of organic soils is very low.

Deficiencies in mineral N, mineral soluble P and acidity have been suggested to explain the limitation of the cellulolytic activity. These hypothesis have been tested by classical respiratory methods in three typical organic soils: an acid *Sphagnum* peat, a calcic peat, a mor; moreover a non organic soil (sol brun calcaire) has been compared to the organic soils.

1. *In the calcic peat*, the limitation of cellulolysis clearly appears to be the consequence of the deficiency of soluble mineral P.

2. *In the acid peat*, the cause of the limitation of cellulolysis is not so evident: This limitation could be induced - but in part - by a mineral N deficiency, and, eventually, by a soluble mineral P deficiency. Moreover, acidity and absence of calcium ions seems to impede cellulolysis.

3. *In the mor of podzol*, neither P deficiency nor acidity can be implicated, but N deficiency and antimicrobial substances or substances inhibiting soil enzymes may be held responsible.

The deficiencies in mineral N and soluble mineral P could induce interactions of competitive nature between cellulolytic microorganisms and the other less exacting soil microorganisms.

#### BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDER (M.), 1965. — Biodegradation : problems of molecular recalcitrance and microbial fallibility. *Adv. in Appl. Microbiol.*, 7: 35-80.
- BARJAC (H. de), 1955. — Essai d'interprétation bactério-écologique de sols tourbeux acides. *Thèse Fac. Sci. Paris*, Sér. A, n° 2865, n° d'ordre 3736.

- BECK (G.), DOMMÈRGUES (Y.), VAN DEN DRIESSCHE (R.), 1969. — L'effet litière II. Étude expérimentale du pouvoir inhibiteur des composés hydrosolubles des feuilles et des litières forestières vis-à-vis de la microflore tellurique. *Oecol. Plant.*, **4**: 237-266.
- BÉNÉ (R.), GIRARD (Th.), BALDO (S.), 1968. — Aspect de la cellulolyse dans quelques types de sols « biologiquement pauvres ». *Annls Inst. Pasteur, Paris*, **115**: 538-541.
- BROADBENT (F. E.), NAKASHIMA (T.), 1967. — Reversion of fertilizer nitrogen in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **31**: 648-652.
- DOMMÈRGUES (Y.), 1960. — La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols. *Agron. trop.*, **15**: 54-60.
- DOMMÈRGUES (Y.), MANGENOT (F.), 1970. — *Écologie microbienne du sol*, Masson & C<sup>ie</sup>, Paris.
- DUCHAUFOUR (Ph.), 1965. — *Précis de Pédologie*, Masson & C<sup>ie</sup>, Paris.
- GARDINER (J. J.), 1966. — The nutrients status of irish peat bogs. *Ir. For.*, **23**: 5-13.
- HARRIS (P. J.), 1966. — An improved simple macrorespirometer. *J. appl. Bact.*, **29**: 399-400.
- KIFFER (E.), MANGENOT (F.), 1968. — Activités cellulolytiques de quelques sols forestiers. *Annls Inst. Pasteur, Paris*, **115**: 582-595.
- KÜSTER (E.), 1963. — Studies on irish peat bogs and their microbiology. *Microbiol. Espan.* **16**: 203-208.