

NOUVELLES POSSIBILITES D'ETUDE ET D'AMELIORATION
DE LA FERTILITE DES SOLS TROPICAUX
OFFERTES PAR LES TECHNIQUES MICROBIOLOGIQUES

par

Y. DOMMERMUES

Maître de Recherche au C.N.R.S.
Centre de Pédologie de Nancy

C. N. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 13715

La présente communication a pour but essentiel de signaler les acquisitions les plus importantes dans le domaine de la biologie des sols, acquisitions qui sont susceptibles d'être appliquées dans un avenir proche ou même très proche, à la mise en valeur des sols dans les régions tropicales et semi-arides.

Nous exposerons d'abord le principe de méthodes qui permettent de suivre de très près l'évolution in situ de la stabilité de la matière organique du sol et de l'activité globale. Nous indiquerons ensuite comment certaines techniques microbiologiques peuvent contribuer à améliorer la productivité végétale et nous évoquerons plus particulièrement les trois problèmes suivants :

- (1) Problème de la fixation symbiotique d'azote par les légumineuses.
- (2) Problème de l'amélioration de l'efficacité des engrais azotés.
- (3) Problème de l'enrichissement en azote et carbone organique des rizières par stimulation de la prolifération des Cyanophycées.

METHODES PERMETTANT D'EVALUER LE NIVEAU DE STABILITE
DE LA MATIERE ORGANIQUE ET D'ACTIVITE BIOLOGIQUE GLOBALE DU SOL.

Une des préoccupations majeures de l'agronome, notamment en région tropicale ou aride, est de maintenir ou d'accroître le stock de matière organique humifiée du sol. Il importe donc de disposer de méthodes sûres et pratiques permettant de suivre à la fois quantitativement et qualitativement l'évolution dans le temps de cette matière organique.

Nous n'évoquerons pas ici les méthodes chimiques qui ont été examinées par ailleurs, mais deux méthodes biologiques qui, bien que peu répandues encore, sont susceptibles de rendre service ; c'est d'une part la méthode respirométrique de détermination du coefficient de dégradation du carbone organique et d'autre part, la méthode enzymatique de détermination de l'indice d'activité déshydrogénasique.

- Détermination du coefficient de biodégradation du carbone organique
(ou coefficient de minéralisation du carbone organique)

Cette méthode classique qui a été décrite antérieurement (4), consiste simplement à mesurer le dégage-

gement de gaz carbonique du sol dans des conditions opératoires bien définies et à exprimer le résultat en fonction du carbone du sol. Le coefficient de biodégradation du carbone organique est représenté par le pourcentage :

$$CB = \frac{C \text{ du CO}_2 \text{ dégagé}}{C \text{ total du sol}} \times 100$$

Ce coefficient est d'autant plus élevé que la matière organique du sol renferme une proportion plus grande de fractions labiles, c'est-à-dire plus facilement biodégradables par la microflore tellurique

On peut distinguer, quelque peu arbitrairement d'ailleurs, 4 catégories de sols :

- les sols dont le CB est inférieur à 0,9 : sols dont la matière organique est très stable ;
- les sols dont le CB est compris entre 0,9 et 1,8 : sols dont la matière organique est moyennement stable ;
- les sols dont le CB est compris entre 1,8 et 2,7 : sols dont la matière organique est peu stable ;
- les sols dont le CB est supérieur à 2,7 : sols dont la matière organique est très peu stable.

- Détermination de l'indice d'activité déshydrogénasique
(activité déshydrogénasique exprimée par rapport au carbone total du sol)

L'activité déshydrogénasique du sol est le fait de processus enzymatiques qui catalysent le transfert d'hydrogène à partir des substrats oxydables du sol sur un accepteur d'hydrogène qui est l'oxygène dans un sol normalement aéré. Pour la mesurer, on incorpore à un échantillon de sol placé en anaérobiose un accepteur d'hydrogène artificiel (chlorure de 2,3,5 triphenyltetrazolium ou TTC) qui accepte l'hydrogène transféré par le complexe d'enzymes déshydrogénasiques du sol et est réduit à l'état de formazan (TPF), composé rouge, stable, extractible par l'acétone ou le méthanol et facile à doser par colorimétrie (3, 10, 12).

Alors que l'activité déshydrogénasique s'exprime en fonction du poids du sol, l'indice d'activité déshydrogénasique (IH) s'exprime en fonction du carbone du sol : l'unité correspondante est le μl d'hydrogène transféré par gamme de carbone total du sol.

La méthode de détermination de l'activité déshydrogénasique connaît actuellement un grand succès :

- (1) en raison de son excellente reproductibilité et de sa simplicité ;
- (2) en raison de sa sensibilité : elle est applicable à des sols dont l'activité biologique absolue (c'est-à-dire non rapportée à la teneur en carbone) est faible comme c'est le cas pour des sols ferrugineux tropicaux ;
- (3) en raison de son indépendance relative vis-à-vis des variations saisonnières (cf. tabl. I), cette qualité permettant la comparaison de sols prélevés sous différents climats à des saisons différentes.

La détermination de l'activité déshydrogénasique apparaît à l'heure actuelle comme l'une des méthodes les plus satisfaisantes d'appréciation de l'activité biologique globale, cette activité intégrant l'influence des différents facteurs écologiques de l'environnement tellurique : richesse en substrats énergétiques, facteurs physiques (structure par exemple), facteurs chimiques (pH, présence de substances inhibitrices d'origine végétale par exemple). Le fait que l'activité déshydrogénasique soit liée pour une bonne part à la richesse du sol en substrats énergétiques (substrats biodégradables) explique qu'il existe une certaine relation entre le coefficient de biodégradation du carbone organique (CB) et l'indice d'activité déshydrogénasique (IH). Mais cette relation n'est pas toujours aussi étroite qu'on l'a parfois supposé, de sorte que deux sols caractérisés par le même CB peuvent présenter des IH très différents et inversement, deux sols caractérisés par le même IH, de la même activité biologique, peuvent renfermer des matières organiques de stabilité très variable.

On peut distinguer, quelque peu arbitrairement d'ailleurs, comme dans le cas précédent : 4 catégories de sols :

- les sols dont l'IH est compris entre 0 et 750 : sols à faible activité biologique ;
- les sols dont l'IH est compris entre 750 et 1 500 : sols à activité biologique moyenne ;
- les sols dont l'IH est compris entre 1 500 et 2 250 : sols à activité biologique forte ;
- les sols dont l'IH est supérieur à 2 250 : sols à activité biologique très forte.

Application des méthodes préconisées à l'évaluation de la stabilité de la matière organique et de l'activité déshydrogénasique dans les sols

Sur le graphique joint, nous avons repéré, par rapport à deux axes de coordonnées, l'un correspondant au coefficient de biodégradation du carbone (CB), l'autre à l'indice d'activité déshydrogénasique (IH), différents sols tropicaux et arides ainsi que quelques sols tempérés typiques (les valeurs correspondantes figurent au tableau II). Bien que le nombre d'analyses dont nous disposons actuellement en ce qui concerne les sols tropicaux et arides, soit limité, il est possible d'affirmer que la stabilité de la matière organique des sols exondés (non hydromorphes) tend à s'accroître en allant des zones arides ou semi-arides, soit vers les zones tempérées, soit vers les zones tropicales humides. Cette tendance déjà signalée antérieurement (4) est bien illustrée ici par la comparaison du sierozem tunisien (CB > 2,4) et de l'ensemble des autres types pédologiques présentés ici.

Le graphique révèle d'autre part la parenté qui existe entre les caractéristiques des sols hydromorphes tempérés et tropicaux ainsi que celle qui existe entre les sols podzoliques ou podzoils et les sols ferrallitiques humifères.

Au premier abord, il semble que ces résultats présentent seulement un intérêt académique, dont les principaux bénéficiaires seraient les spécialistes de la classification des types d'humus dans le sol. En fait, il n'en est rien et l'expérience montre que les déterminations de ce type, peuvent rendre service aux agronomes et forestiers. Nous en donnons deux exemples :

Le premier concerne l'étude de l'influence de la végétation sur le sol. Il s'agit de l'influence de l'enrésinement de forêts feuillues de l'Est de la France, opération qui se traduit par un accroissement net de la stabilité de la matière organique et une diminution très marquée de l'activité biologique globale (voir flèches sur le graphique ci-joint).

Ce type d'étude peut intéresser l'agronome dans le cas où la comparaison porte non pas sur des espèces forestières mais sur des plantes cultivées, plantes de couverture ou engrais verts ; en effet, les déterminations des CN et IB peuvent lui permettre de suivre facilement l'influence des différents types de culture sur le sens de l'évolution de la matière organique du sol.

Le deuxième concerne l'étude de la comparaison de l'effet de différents amendements organiques en milieu tropical. De cette étude qui a fait l'objet d'une publication antérieure (4), il ressort que l'apport de compost s'avère beaucoup plus favorable à l'accumulation dans le sol d'une matière organique stable que le paillis ou le traitement mixte (tableau III).

INOCULATION DES LEGUMINEUSES EN ZONE TROPICALE

On sait que le développement de l'élevage dans les régions inter-tropicales est handicapé par la qualité souvent défectueuse des prairies naturelles.

Cette qualité peut être améliorée par l'introduction de légumineuses. Mais cette introduction est souvent elle-même vouée à l'échec si deux précautions essentielles ne sont pas prises : la première consiste dans l'apport d'une fumure - notamment de fumure phosphatée - convenable, et parfois aussi dans l'apport d'oligo-éléments (molybdène notamment). La deuxième consiste dans l'inoculation des légumineuses.

Si l'on admet universellement le principe de la nécessité de fumures convenables, on néglige encore fréquemment l'aspect microbiologique du problème, car l'on suppose que les sols renferment toujours des souches de Rhizobium efficaces. Or, bien souvent, les Rhizobium efficaces vis-à-vis de la légumineuse considérée, sont absents du sol :

- (1) soit que cette légumineuse n'ait jamais été cultivée antérieurement,

(2) soit que le sol renferme des Rhizobium peu ou pas efficaces vis-à-vis de la variété de légumineuse

La nécessité de l'inoculation est évidente lorsqu'il s'agit d'une légumineuse nouvellement introduite dans une région où elle n'existait pas : tel est le cas de la Minette (Medicago lupulina) sur les hauts plateaux malgaches. Cette nécessité se manifeste aussi dans le cas de sols normalement impropres à la culture de la légumineuse, mais qui ont été amendés et qui, de ce fait, peuvent convenir à cette culture ; un exemple classique, en région tempérée, est celui des sols acides chaulés en vue de l'établissement des luzernières (8). Il est enfin des types pédologiques où les Rhizobium se conservent mal ; c'est ainsi que MARSHALL (7), en Australie, BONNIER (1), dans la cuvette du Congo, ont noté la disparition de ce microorganisme dans des sols nus sous l'effet de la température qui, sous ces climats, peut s'élever facilement jusqu'à 50° C.

Sur le plan financier, l'inoculation est une opération peu coûteuse. Dans l'hypothèse la plus optimiste, le bénéfice qu'on peut en tirer correspond à un apport de l'ordre de 100 kg N/ha par saison de végétation. Les gains de l'ordre de 40 à 50 kg N/ha sont assez fréquents. A titre d'exemple, rappelons que nous avons obtenu, dans des alluvions récentes des hauts plateaux malgaches en deux mois, une fixation d'azote correspondant à l'apport de 40 kg N/ha (2).

L'inoculation est déjà une pratique courante dans quelques pays tropicaux ou subtropicaux où, bien entendu, elle est applicable aussi bien au cas des cultures pures de légumineuses qu'à celui des cultures en mélange avec des graminées. Des résultats très intéressants sont obtenus en zone tropicale humide avec Pueraria phaseoloides, Stylosanthes gracilis, Phaseolus lathyroides ; d'autres légumineuses semblent appelées à un bel avenir ; nous citerons en particulier : Lotononis bainesii et Dolichos lablab, Centrosema pubescens (en association avec Cyanodon plectostachyum).

Bien entendu, l'inoculation ne constitue pas à elle-seule le moyen infaillible de résoudre le problème de l'installation des légumineuses ; mais, conjuguée à une fertilisation convenable, elle est susceptible de contribuer efficacement à l'amélioration du ravitaillement en protéines des pays tropicaux.

AMELIORATION DE L'EFFICIENCE DES ENGRAIS AZOTES PAR ADJONCTION D'INHIBITEURS DE NITRIFICATION

Dans les sols agricoles neutres ou assez peu acides, la nitrification, qui est particulièrement active, présente deux inconvénients majeurs :

(1) elle favorise les pertes d'azote par lessivage : l'azote nitrique est très soluble alors que l'ion NH_4^+ est absorbé sur le sol et, sauf exception n'est pas entraîné.

(2) elle favorise les pertes d'azote par dénitrification biologique et aussi par réaction chimique

Pour éviter ces conséquences nuisibles de la nitrification, on en réduit l'intensité par l'application d'inhibiteurs appropriés. Parmi les produits dont l'emploi a été envisagé, nous en citerons deux : la dicyanodiamide et la 2-chloro-6 (tri-chloro-méthyl) pyridine qui ont été essayés avec un certain succès en zone tempérée.

Dicyanodiamide ou cyanoguanidine

Ce produit de polymérisation de la cyanamide appliqué à des doses représentant environ de 5 à 10 % de l'engrais azoté, retarde d'autant plus la nitrification que le pH du sol est plus élevé et que la température est basse. Il réduit effectivement les pertes d'azote et améliore l'efficacité des engrais. Les avantages de son emploi sont d'autant plus marqués que le sol est plus calcaire et plus exposé à un lessivage intense : (irrigation, précipitations brutales) (9 ; 11).

2-chloro-6 (trichlorométhyl) pyridine

Appliquée à des doses représentant de 0,5 à 2 % de l'azote ammoniacal apporté avec l'engrais, la 2-chloro 6 (trichlorométhyl) pyridine présente également la propriété de limiter la nitrification (5 ; 15 ; 16).

En région tropicale, de tels inhibiteurs présentent théoriquement un grand intérêt ; mais les composés qui ont donné des résultats encourageants en zone tempérée (dicyanodiamide et 2-chloro-6 (trichlorométhyl))

pyridine) s'avèrent inefficaces en raison de l'intensification de leur biodégradation, consécutive à une température moyenne élevée. Il n'en est pas moins nécessaire de signaler dès maintenant les possibilités offertes par de tels composés. Il est d'ailleurs à noter que certains pesticides - tel que le DD (mélange de 1,3 - dichloropropane et de 1,2 dichloropropane) Vapam (Sodium N-méthyl dithiocarbamate) exercent sur la microflore tellurique une action inhibitrice qui pourrait parfois s'avérer aussi utile que l'action des inhibiteurs de nitrification dont nous venons de souligner l'intérêt.

PARTICIPATION DES CYANOPHYCEES A L'ENRICHISSEMENT DES SOLS HYDROMORPHES EN AZOTE ET CARBONE ORGANIQUES

De très nombreuses espèces de Cyanophycées sont capables de fixer l'azote atmosphérique ; cette aptitude est même plus répandue dans ce groupe de microorganismes que chez les bactéries. C'est ce qui explique que les sols hydromorphes puissent conserver un potentiel productif élevé pendant de longues années s'ils sont favorables à la prolifération des Cyanophycées fixatrices d'azote ; il est à noter d'ailleurs que ce maintien de la fertilité ne résulte pas seulement de gains d'azote (qui compensent plus ou moins les exportations) mais aussi de l'enrichissement du sol en matière organique.

L'azote fixé par les algues retourne au sol soit avec les cellules algales mortes qui s'y décomposent, soit avec les composés azotés qu'excrètent les algues vivantes. On a démontré expérimentalement que l'azote ainsi fixé est parfaitement utilisé par les végétaux ; ainsi après deux mois, les plants de riz cultivés dans un milieu dépourvu d'azote, mais ensemencés en *Anabaena* pèsent 10 fois plus (poids sec) et renferment 20 fois plus d'azote que les plants témoins cultivés en l'absence d'algues.

Au champ, l'effet bénéfique des Cyanophycées a été prouvé lors d'expériences d'inoculation de sols de rizière avec des cultures de *Tolypothrix* par des chercheurs de l'école japonaise (17 ; 18) et de l'école indienne (13 ; 14). Les augmentations de rendement obtenues par ces expérimentateurs sont de l'ordre de 30 %. Les techniques d'inoculation des sols avec des cultures d'algues apportées à la dose de 5 g - poids sec - par ha, ne sont pas passées dans le domaine de l'application. Par contre, il est de pratique courante au Japon et aux Indes, de stimuler le développement des Cyanophycées dans les rizières par des apports convenables d'engrais phosphatés et parfois de molybdène et, si nécessaire, par des chaulages pour élever le pH, car ces algues sont neutrophiles ; dans ces conditions, l'apport d'engrais azotés peut même être inutile. On remarquera à ce propos que les algues n'exercent pas toujours un effet bénéfique sur le riz car les jeunes plants peuvent être étouffés si les formations algales sont trop abondantes (6).

BIBLIOGRAPHIE

- 1 BONNIER Ch 1960 «Symbiose Rhizobium légumineuses : aspects particuliers aux régions tropicales». Annales Inst Past, 98, 537-556
- 2 BOSSER J et DOMMERGUES Y. 1952. - «Un essai d'inoculation de la minette (Medicago lupulina) à Madagascar». Naturaliste malgache, 4, (2), 169-175
- 3 CASIDA L.E., KLEIN D.A. et SANTORO T. 1964. - «Soil deshydrogenase activity» Soil Science, 98 (6), 371-376.
- 4 DOMMERGUES Y. 1960. - «La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols» Agron trop., 15, 54-60
- 5 GORING (C.A.I.) 1952 - «Control of nitrification by 2 chloro-6 (trichloromethyl) pyridine». Soil Science, 93 (3), 211-218.
- 6 LUND (J.N.G.) 1967. «Soil algae» Soil Biology, Burges et Raw Edit., p. 129-147.
- 7 MARSHALL K.C. 1964. «Survival of root-nodule bacteria in dry soils exposed to high temperatures». Aust. J. Agric. Res., 15 (2), 273-281
- 8 OBATON M., et BLACHERE H. 1965 - «L inoculation de la luzerne II Résultats de l'expérimentation» Ann agron., 16 (1), 25-51.
- 9 REDDY G R., et DATTA N.P. 1965. - «Use of dicyandiamide in nitrogen fertilizers». J. Indian Soc. Soil Sci., 13, 135-139.
- 10 SCHAEFER R., 1963. - «L'activité déshydrogénasique comme mesure de l'activité biologique globale des sols». Ann. Inst Past, 105 (2), 326-331.
- 11 SOUBIES L., GADET R., et LENAIN M. 1962. - «Possibilité de contrôler dans le sol la transformation de l'azote ammoniacal en azote nitrique». C.R. Ac. Agric de France, 16, Séances des 21 et 28 Nov. 1962. 798-803
- 12 STEVENSON (I.L.) 1959. - «Deshydrogenase activity». Canad. Journ Microb, 5 229-235.
- 13 SUBRAHMANYAN R., RELWANI L.L. et MANNA G.B., 1964. - «Observations on the role of blue green algae on rice yield compared with that of conventional fertilizers». Curr. Sci., 33 (16), 485-486.
- 14 SUBRAHMANYAN R., et SAHAY M.N. 1964 - «Observations on nitrogen-fixation by some blue-green algae and remarks on its potentialities in rice culture» Proc. Indian Acad. Sci., 60 B, 145-154.

15. TURNER G.O., WARREN L.E., et ANDRIESEN F.G.,
1962. - «Effect of 2-chloro-6 (trichloromethyl) pyridine on the nitrification of ammonium fertilizers in field soils». Soil Science, 94 (4), 270-273.
16. VLASSAK K.,
1964. - «Effect of 2-chloro-6 (trichloromethyl) pyridine on nitrification in soil» Agric. Louvain, 12, 73-89.
17. WATANABE A., NISHIGAKI S., et KONISHI C.,
1951. - «Effect of nitrogen fixing blue green algae on the growth of rice plants». Nature Lond. 168, 748-749.
18. WATANABE A.,
1954. - «Nitrogen fixation by blue-green algae». News Letter, 12, 13-15.

Tableau I

VARIATIONS SAISONNIERES DE L'INDICE D'ACTIVITE DESHYDROGENASIQUE
DANS TROIS TYPES DE SOLS TEMPERES

Type pédologique	Sept. 66	Nov. 66	Janv. 67	Mars 67	Mai 67	Juil. 67
Rendzine forestière	2 115	2 066	2 104	1 975	1 941	1 644
Sol brun lessivé :						
Feuillus	1 528	1 681	2 152	1 797	1 624	1 661
Résineux	1 125	1 097	1 267	1 040	1 187	1 264
Podzol	263	245	276	197	262	249

Tableau III

INFLUENCE DE TROIS TYPES DE FUMURES ORGANIQUES SUR
LA STABILITE DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS UN SOL
HYDROMORPHE GUINEEN

	Stabilité de la matière organique mesurée par le coefficient de biodégradation du C organique (CB)
Paillage	1,7
Compostage	0,9
Paillage et compostage	1,2

Tableau II

EXEMPLES DE DETERMINATION DU NIVEAU DE L'ACTIVITE BIOLOGIQUE ET DE LA STABILITE DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS QUELQUES SOLS TROPICAUX ET TEMPERES

1634 -

	N°	Type pédologique	Origine	pH	Indice d'activité déshydrogénasique	Coefficient de biodé- gradation du C organique	Observations
Sols tropicaux	1	Sol ferrallitique humifère	Madagascar - Manankazo	5,0	623	0,27	
	2	a) Sierozem b)	Tunisie - Ksar Rheriss	8,0	1 611	2,44	taches infertiles
				7,9	2 734	2,66	taches fertiles
	3	Alluvions hydromorphes	Tunisie - Cherfech	8,4	1 336	1,32	
	4	Sol ferrugineux trop.	Sénégal - Dior - Bambey	5,3	2 058	0,99	
	5	Sol faiblement ferrallitique (beige)	Sénégal - Séfa	6,2	550	1,83	
6	Sol alluvial	Soudan	7,5				
Sols tempérés	7	Sol brun calc. cultivé	France - Montet	7,8	2 300	0,98	
	8	Rendzine forestière	id - Monvaux	7,0	2 467	1,22	
	9	Sol brun lessivé	id - Sivrite	5,4	1 787	1,20	feuillus résineux
				4,5	1 168	0,87	
	10	Sol lessivé podzolique	id - Bezanges	5,0	1 323	1,31	feuillus résineux
				4,4	280	0,94	
	11	Sol brun acide	id - Mt-Jacques	3,3	1 033	0,91	feuillus résineux
				3,1	144	0,58	
12	Hydromull	id - Ste-Hélène	6,5	1 072	1,49		
13	Hydromull	id - Bellefontaine	7,3	762	0,83		
14	Podzol	id - Taintrux	3,6	261	0,40		

PLACE DE QUELQUES SOLS TROPICAUX PAR RAPPORT
 A DES SOLS TEMPERES TYPQUES DONT L'ACTIVITE BIOLOGIQUE (IH)
 ET LA STABILITE DE LA MATIERE ORGANIQUE (CB) SONT BIEN ETABLIES

