

INFLUENCE D'APPORTS MINÉRAUX SUR L'ÉVOLUTION DES LIPIDES NATURELS DE SOLS ACIDES

P. JAMBU⁽¹⁾, P. BILONG⁽²⁾, A. AMBLES⁽³⁾,
B. NTSIKOUSSALABONGUI⁽³⁾ et E. FUSTEC⁽⁴⁾

RESUME

L'influence d'apports de Ca, P et N sur l'évolution des lipides naturels des sols a été testée. L'expérimentation a été réalisée à partir de sols acides où les lipides ont tendance à s'accumuler. Il apparaît que toute fertilisation qui n'accroît pas l'acidité du milieu accélère le turn-over des lipides. On peut ainsi éliminer du sol des substances souvent toxiques pour les microorganismes et susceptibles d'inhiber la croissance des plantes.

INTRODUCTION

Les lipides des sols sont pour l'essentiel d'origine végétale (JAMBU et al., 1978, MAGNOUX, 1982), les quantités dosées étant 2 à 5 fois plus élevées sous forêt que sous culture (MOUCAWI, 1981). Ces différences de taux ne sont pas liées à l'importance des apports en débris végétaux qui est sensiblement la même d'un milieu à l'autre (DOMMERGUES, 1963 ; HENIN et al., 1969) ; elles tiennent plutôt à la proportion de lipides de ces apports. En effet, sous culture, les déchets provenant des pailles de céréales ou de maïs contiennent de 1 à 2 % de lipides alors que sous forêt les litières de feuilles (châtaignier, hêtre, chêne) en ont de 4 à 5 % et celles d'aiguilles de pin de 10 à 15 % (MOUCAWI, 1981).

Les différences liées à la nature de la végétation s'accroissent car la minéralisation de la matière organique est beaucoup plus forte en milieu cultivé qu'en milieu forestier (BONNEAU et SOUCHIER, 1979). Cela tient à la température et à l'altération du milieu par les façons culturales (DIBBLE et BARTHA, 1979 a) et vraisemblablement aussi à la fertilisation : celle-ci courante en sol cultivé, est rarement pratiquée en milieu forestier.

Les études concernant l'influence de l'apport d'engrais sur l'évolution des lipides ont essentiellement porté sur la dépollution de sols soumis à un épandage accidentel ou volontaire de substances organiques hydrophobes xénobiotiques (hydrocarbures pétroliers). Parmi ces divers travaux, on peut citer ceux de JOBSON et al., 1974, RAYMOND et al., 1976, GROVE, 1978, DIBBLE et BARTHA, 1979 b, CARBONNEL et al., 1982. Il apparaît que la dégradation des hydrocarbures est maximum lorsque le pH du sol est compris entre 7,5 et 7,8 et lorsque l'on ajoute des engrais azotés et phosphatés en quantité suffisante.

MOTS CLEFS : Lipides des sols - Matière organique - Sols acides - Fertilisation.

KEY-WORDS : soil lipids - soil organic matter - acid soils - fertilization.

(1) Laboratoire de Pédologie. Université de Poitiers, U.A. 721 au CNRS. 40, Av. du Recteur Pineau, 86022 Poitiers Cédex.

(2) Faculté des Sciences. Université de Yaoundé, B.P. 812 (Cameroun).

(3) Laboratoire de Chimie XII. U.A. 489 au CNRS. 40, Av. du Recteur Pineau, 86022 Poitiers Cédex.

(4) Centre d'Ecologie des Ressources Renouvelables. 29, rue Jeanne Marvig, 31055 Toulouse Cédex.

A côté de cela, l'influence de la fertilisation sur l'évolution des lipides naturels du sol n'a pratiquement pas été étudiée. On peut citer toutefois les travaux de HEINEN et de VRIES (1966) montrant qu'une fertilisation azotée accélère la dégradation des lipides.

Nous nous proposons d'étudier ici l'influence d'apports de N, P ou Ca sur l'évolution du stock lipidique du sol. Le problème sera abordé à la fois à partir d'essais expérimentaux au laboratoire et à partir d'essais au champ.

I. - MATERIEL ET METHODES

Les divers essais ont été effectués à partir des horizons de surface de sols acides.

A) Essais au laboratoire

Ils ont été réalisés parallèlement sur deux milieux particulièrement bien pourvus en lipides :

- un anmoor acide (TA₁) développé sur sol humique à gley et sous lande humide du Plateau de Millevaches ;
- un horizon A₁₁ (PA₁₁) de podzol hydromorphe sous forêt de pins des Landes du Médoc.

Les caractéristiques de chaque échantillon sont données sur le tableau 1. Après tamisage (< 2mm), des portions de terre humide, correspondant à 100 g de sol sec à 105° C, ont été mises à incuber à 28° C (10 répétitions). L'humidité a été ajustée au 2/3 de la capacité de rétention et maintenue constante durant l'incubation. Divers additifs ont été incorporés au départ :

- calcium : 1,2 % à l'état de CaCO₃
- azote : 0,6 % à l'état de NH₄HCO₃, (NH₂)₂CO, ou NH₄NO₃
- phosphore 0,1 % à l'état de K₂HPO₄.

Tableau 1 : Caractérisation des sols utilisés pour l'expérimentation.

Some characteristics of soils used for experimentation.

	pH	Argile %	C.org. total %	Rapport C/N	$\frac{C. \text{ Lipides}}{C. \text{ total}} \times 100$
<u>Echantillons utilisés pour les essais au Laboratoire</u>					
T.A ₁	4.65	13.3	18.1	19.7	9.5
P.A ₁₁	3.9	1.9	6.6	34.7	18.7
<u>Sol de l'essai expérimental du Vieux Pin (Orne)</u>					
A ₁₁	5.7	19.7	5.6	10.3	1.9
A ₁₂	5.5	20.9	4.3	9.8	2.1
<u>Sol de l'essai expérimental de Pierroton (Gironde)</u>					
A ₁	4.1	1.4	3.9	27.6	7.6

Le CO₂ dégagé au cours de l'incubation a été piégé dans de la soude et dosé chaque semaine selon des conditions déjà définies (MOUCAWI et al., 1981). En présence d'additifs se décomposant avec libération de CO₂, il a fallu doser la fraction restée intacte pour déterminer par différence la quantité de CO₂ provenant réelle-

ment de la minéralisation de la matière organique du sol. Après incubation, la terre a été soumise à un traitement acide (10 g de terre pour 100 ml de HCl 0,1 N ; agitation 1 h) afin de libérer les lipides associés à la matière minérale. L'extraction des composés lipidiques a été réalisée au Soxhlet durant 24 h avec le mélange éther de pétrole (60-80° C)-acétate d'éthyle 3/1 v/v. Après évaporation du solvant, le résidu lipidique a été pesé et son carbone dosé par combustion. Par ailleurs, la numération des germes microbiens de chaque échantillon a été effectuée en ensemençant des milieux (collectif ou électif) par des suspensions-dilutions de terre (POCHON et TARDIEUX, 1962).

La minéralisation du carbone a été seule suivie sur les 10 répétitions. Tous les autres dosages ont été effectués à partir d'un échantillon moyen.

B) Essais au champ

Sur prairie permanente à la ferme expérimentale de l'INRA, Domaine du Vieux Pin (Orne).

L'essai a été installé sur un sol brun, légèrement hydromorphe et acide (tableau 1). Une fertilisation azotée sur prairie permanente y a été régulièrement pratiquée à partir de 1958. L'azote a été apporté à l'état de NH_4NO_3 ou de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Ce dernier a été ajouté seul ou avec addition de CaCO_3 à raison de 200 kg pour 28 unités d'azote afin d'éviter l'acidification du milieu. Les apports de N ont varié au cours du temps entre 80 et 320 unités $\text{Ha}^{-1} \text{an}^{-1}$; la production végétale correspondant à la dose maximum a été le double de celle du sol témoin (LAISSUS, 1981). Nous avons effectué 2 prélèvements par essai, en 1978. Ils correspondent à l'horizon A_1 (0-10 cm) où se concentrent les lipides. Ceux-ci ont été extraits au Soxhlet en utilisant le chloroforme, meilleur solvant des lipides complexes que le mélange éther de pétrole-acétate d'éthyle utilisé précédemment. Le dosage a été effectué comme pour les essais expérimentaux.

C) Essais sous forêt de pins maritimes à la station INRA de Pierroton (Gironde)

L'essai a été installé sur un podzol sableux hydromorphe très acide et particulièrement pauvre en argiles (tableau 1). La fertilisation a débuté en 1963. Certaines parcelles n'ont reçu que du phosphore : 200 unités tous les 10 ans à l'état de scories ou de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. D'autres ont reçu en plus 30 à 60 unités an^{-1} de K à l'état de K_2SO_4 et 60 unités an^{-1} d'N à l'état de $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ou de NH_4NO_3 (NTSIKOUSSALABONGUI, 1983). Les pins ont été plantés au début de l'essai. La fertilisation a nettement accéléré leur croissance, comme le montrent les valeurs moyennes des circonférences des fûts, mesurées en 1977 à 1,30 m du sol :

Témoin : 33,8 cm ; T+NPK : 52,6 cm ; T+P : 52,0 cm.

Chaque essai comporte 6 répétitions. Nous avons effectué un prélèvement moyen par essai en 1980.

L'extraction des lipides par le mélange éther de pétrole-acétate d'éthyle, déjà citée, a été réalisée en deux temps : une première extraction au Soxhlet, sans prétraitement, solubilise les lipides libres ; la seconde, effectuée après un prétraitement acide, permet d'extraire les lipides associés à la matrice organo-minérale. La chromatographie sur colonne de silice potassique conduit à isoler une fraction neutre, une fraction acide et une fraction polaire. La fraction neutre reprise sur colonne de silice se sépare en hydrocarbures, esters longs, esters courts, cétones, glycérides, alcools, stérols. Dans les mêmes conditions, à partir de la fraction acide préalablement méthylée, on isole les monoacides des autres acides plus complexes. Le protocole détaillé de l'extraction et du fractionnement des lipides sur colonne a déjà été décrit par FUSTEC et al., 1981.

Les quantités de lipides sont exprimées en mg.kg^{-1} de terre sèche originelle. Les pertes de masse inévitables en chromatographie sur silice sont corrigées, de même que l'augmentation de masse liée à l'estérification de certaines familles.

II. - RESULTATS ET DISCUSSIONS

A) Evolution expérimentale du stock lipidique d'un anmoor acide (TA1) et d'un podzol (PA11)

La simple incubation du sol provoque une légère évolution des lipides qui a déjà été mise en évidence (FUSTEC et al., 1981, AMBLES et al., 1985). Après 8 semaines d'incubation, les échantillons témoins présentent les caractéristiques données dans le tableau 2. Comme nous allons le voir, l'incorporation d'additifs au sol peut modifier profondément sa microflore et l'évolution de son stock organique (tableau 3).

Tableau 2 : Caractérisation des échantillons témoins incubés au laboratoire.
Characterization of controls after incubation in the laboratory.

Echant.	pH	microflore totale (1)	Champignons (1)	Coeff. minéral. du C.org.total ‰	Lipides mg.kg ⁻¹
Après 8 semaines d'incubation					
TA ₁	5.3	21.10 ⁶	32.10 ⁴	13.8	5840
TA ₁₁	3.95	0,3.10 ⁶	18.10 ⁴	6.1	11970
Après 16 semaines d'incubation					
TA ₁	5.2	23.10 ⁶	34.10 ⁴	26.3	5715
PA ₁₁	4.0	0,5.10 ⁶	10.10 ⁴	11.2	11710

Tableau 3 : Variations, en fonction des apports, du pH (exprimées en unités pH) du nombre de germes, du coefficient de minéralisation du carbone et du taux de lipides (exprimées en % des valeurs correspondantes obtenues à partir du témoin incubé dans les mêmes conditions).

Variations in relation with soil supplies of pH (in pH units), number of micro-organisms by g. of soil, carbon mineralization factor, and amount of lipids (in % with respect to the control values).

Additifs	Incubation 8 semaines					Incubation 16 semaines		
	ΔpH	germes totaux Δ %	Champignons Δ %	Coeff.minéral. du C.org.total Δ %	Lipides Δ %	ΔpH	Coeff.minéral. du C.org.total Δ %	Lipides Δ %
CaCO ₃	TA ₁							
	+3.0	-70	-91	+5	-40	+2.7	-18	-49
K ₂ HPO ₄	+1.1	+81	-84	+27	+5	+1.2	+39	-7
NH ₄ HCO ₃	+3.4	+1424	-95	+220	-26	nd	nd	nd
(NH ₂) ₂ CO	+2.8	+4543	-96	+344	-11	nd	nd	nd
NH ₄ NO ₃	-0.7	-84	-77	+10	+14	-0.4	-20	-15
NH ₄ NO ₃ + CaCO ₃	+2.4	nd	nd	+18	-23	nd	nd	nd
CaCO ₃	PA ₁₁							
	+4.5	+11425	-57	nd	-32	+4.0	nd	-38
K ₂ HPO ₄	+0.5	+747	+34	+12	-2	+0.6	-19	-4
NH ₄ NO ₃	-0.7	-96	-95	-14	+3	-0.7	-32	+2

nd = non déterminé.

1. Apport de carbonate de calcium

Dans le cas de l'anmor TA₁, la minéralisation du carbone organique total est d'abord légèrement stimulée, mais au bout de 16 semaines d'incubation, le coefficient de minéralisation est bien inférieur à celui du témoin. Le calcium apparaît comme un stabilisateur efficace de la matière organique du sol. Cette observation est en accord avec celles d'HERBAUTS (1974) et LE TACON (1976) qui notent un faible taux de minéralisation dans les mulls calcaires.

Malgré cette apparente stabilité de la matière organique, en 16 semaines le taux de lipides diminue de 49 % : leur dégradation rapide tient à plusieurs causes :

— le pH obtenu est très proche des valeurs optimales définies par DIBBLE et BARTHA (1979b) pour la dégradation des hydrocarbures. Notons cependant qu'un pH aussi élevé peut également stimuler les biosynthèses. Cela n'apparaît pas ici, mais il ne semble pas en être de même à des pH voisins après apport de $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ou de $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$.

— les ions calcium, initialement peu représentés dans le sol (1,7 meq. 100 g⁻¹ de terre sèche à 105° C) interviennent dans l'activation des lipases (PANCHOLY et LYND, 1973).

Comme le dégagement de CO_2 est inférieur à celui du témoin, la forte évolution du taux de lipides ne correspond pas essentiellement à une minéralisation. Il doit surtout se produire des biotransformations : oxydation ménagée, polymérisation ou utilisation pour de nouvelles synthèses.

Dans le cas de RA₁₁, l'addition de calcaire provoque également une évolution importante des lipides. Après 16 semaines d'incubation, la quantité extractible a diminué d'environ 4 500 mg.kg⁻¹ de sol. L'apport de carbonate de calcium apparaît donc comme un bon moyen pour éviter l'accumulation excessive de lipides qui se produit souvent dans les sols acides et/ou mal aérés.

2. Apport de phosphate acide de potassium

Son addition au sol provoque une élévation de pH avec évolution de la microflore : par rapport aux champignons, la proportion de bactéries augmente. De plus, la minéralisation du carbone organique est stimulée et le taux des lipides diminue lentement au cours de l'incubation. Cependant pour TA₁, on observe au départ une augmentation de ce taux qui doit être liée aux synthèses microbiennes associées à la forte stimulation initiale de la microflore. Or les lipides microbiens sont plutôt courts et la distribution des composés d'une même famille se répartit souvent selon une courbe de Gauss (TEJADA, 1985). A la suite des travaux de MAGNOUX (1982) et SEBYERA (1984), il apparaît que de tels composés sont facilement biodégradés par la microflore. C'est pourquoi, dans le cas de TA₁, le taux de lipides diminue rapidement entre 8 et 16 semaines d'incubation (— 12 %).

DIBBLE et BARTHA (1976), étudiant un milieu tout à fait différent, observent une évolution analogue : ils constatent que la dégradation d'huiles dispersées dans l'eau de mer est fortement accélérée par un apport de phosphates.

3. Apport de composés azotés

L'évolution induite dépend de l'action sur le pH du composé introduit.

Lorsque l'additif provoque une forte élévation de pH, ce qui est le cas avec NH_4HCO_3 et $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, on observe un grand développement des bactéries alors que les champignons diminuent fortement. Au sein de la matière organique, le taux de lipides décroît : l'évolution de cette fraction peut être associée à une minéralisation car le coefficient de minéralisation de la matière organique totale est multiplié par 3 ou 4.

Lorsque l'additif tend à acidifier au moins temporairement le milieu, ce qui est le cas avec NH_4NO_3 , on observe également une évolution de la microflore : pour TA₁ la proportion de champignons augmente nettement. Cette évolution influe sur la

production de lipides in situ. En effet, les champignons contiennent environ 2 fois plus de lipides que les bactéries (BRAIDS et MILLER, 1975). Aussi, au début de l'incubation, le taux de lipides de TA₁ augmente malgré un léger accroissement de l'activité minéralisatrice. Par la suite, le pH tend à remonter lentement avec l'augmentation du rapport NH₄/NO₃ et le taux de lipides diminue (AMBLES et al., 1981). Mais si, en plus de l'engrais azoté, on ajoute du carbonate de calcium pour neutraliser l'acidité, le taux de lipides diminue nettement mais moins vite qu'en présence de carbonate de calcium seul (pH d'équilibre moins élevé). D'autre part, le processus d'évolution des lipides doit être différent : l'addition simultanée d'azote et de calcium stimule la minéralisation de la matière organique (+ 18 % en 8 semaines), ce qui n'est globalement pas le cas après un apport de carbonate de calcium seul.

Pour PA₁, l'effet est plus complexe car le pH du sol est initialement très bas. Dans un premier temps, l'apport de NH₄NO₃ stimule la minéralisation du carbone qui est ensuite inhibée par la forte acidité du milieu. Finalement, le taux de lipides varie peu.

Au total, l'action des engrais azotés dépend beaucoup de leur effet sur le pH. L'action de certains d'entre eux demande à être précisée à partir d'essais au champ de longue durée.

B) Essais de fertilisation au champ

1. Apport d'engrais azotés sur prairie permanente au domaine expérimental du Vieux Pin (Orne)*

Dans cet essai, deux engrais azotés acidifiants ont été testés parallèlement avec ou sans neutralisation de l'acidité par CaCO₃ : le sulfate et le nitrate d'ammonium. Les résultats obtenus après vingt ans d'expérimentation sont portés sur le tableau 4.

Tableau 4 : Détermination du pH, du carbone organique total et des lipides dans divers essais de fertilisation azotée. Domaine du Vieux Pin (Orne). (moyennes de 2 dosages) (A₁₁ : 0-5 cm ; A₁₂ : 5-10 cm).

pH values, amounts of organic carbon and lipids in treatments of a field test. Domaine du Vieux Pin (Orne). (averages of 2 results).

④ Traitements (doses exprimées en unités de fertilisation)	Horizons	pH	carbone organique total %	Lipides		
				mg.kg ⁻¹	% de carbone organique total	Δ % de la teneur initiale
Témoin ON	A11	5.7	5.6	1571	1.9	
	A12	5.5	4.3	1314	2.1	
Témoin+NH ₄ NO ₃ 320 N	A11	5.7	5.8	1085	1.3	-31
	A12	5.6	4.4	1014	1.6	-23
Témoin +(NH ₄) ₂ SO ₄ 320 N	A11	4.8	9.4	4314	3.2	+174
	A12	4.7	3.7	1385	2.6	+ 5
Témoin+(NH ₄) ₂ SO ₄ 320 N + CaCO ₃	A11	5.9	5.6	886	1.1	-43
	A12	5.9	4.5	900	1.4	-31

* Nous remercions vivement MM. LAISSUS, SALETTE et MORLAT qui, par leur collaboration, nous ont permis d'exploiter cet essai.

Le nitrate d'ammonium a un effet acidifiant immédiat qui s'atténue puis disparaît avec l'utilisation des nitrates par les plantes et les microorganismes. Malgré la nette augmentation des apports en débris végétaux, liée à la stimulation de la végétation par l'engrais (LAISSUS, 1981), le taux de matière organique du sol ne varie pratiquement pas. Cela suppose qu'il y a accélération de la minéralisation. Par ailleurs, le taux de lipides diminue nettement (1/3 en moins en surface). En conséquence, la proportion de lipides au sein de la matière organique totale est bien moins importante que dans le témoin.

Avec le sulfate d'ammonium, il apparaît une forte acidification du milieu et un ralentissement de l'activité biologique, ce qui entraîne une nette accumulation de matière organique quelquefois peu transformée (formation d'un mat racinaire en surface). La lipidolyse semblant plus affectée que la minéralisation de l'humus par l'abaissement du pH, le taux de lipides augmente plus vite que le taux de matière organique totale. De ce fait, les lipides qui représentent 1,9 % du carbone organique dans le témoin correspondent à 3,2 % de ce même carbone dans le sol fertilisé.

Lorsque tout effet acidifiant a été neutralisé par un apport supplémentaire de carbonate de calcium, le taux de matière organique du sol reste très semblable à celui du témoin, ce qui suppose une minéralisation plus importante car les apports sont différents. Par ailleurs, il y a une très bonne évolution des lipides dont le taux est nettement inférieur à celui du témoin.

Au total, toute fertilisation azotée améliore l'évolution des lipides lorsqu'il n'y a pas acidification permanente du milieu.

2. Fertilisation en milieu forestier podzolisé (Landes de Gascogne)

L'apport de phosphates seul ou une fertilisation plus complète (apport de N, P, K) modifient l'évolution de la matière organique dont le taux et le rapport C/N diminuent (tableau 5). Le taux de lipides diminue également de manière significative, mais il est surprenant qu'une addition de NPK au sol ait moins d'effet qu'un simple apport de P sur l'évolution des lipides. L'analyse détaillée de ces composés peut apporter des éléments de réponse. La technique utilisée permet d'abord de distinguer :

- les lipides libres directement extractibles par les solvants organiques,
- les lipides associés aux colloïdes organominéraux qui ne deviennent extractibles qu'après un traitement acide.

L'évolution de ces deux fractions en relation avec la fertilisation est portée sur le tableau 6.

Tableau 5 : Evolution du pH, de la matière organique totale et des lipides en relation avec la fertilisation. Essai INRA de Pierroton (Landes de Gascogne).

pH values, amounts of organic carbon and lipids in treatments of the field test of Pierroton (Landes de Gascogne).

traitements	pH	C. org. total %	Rapport C/N	Lipides	
				mg.Kg ⁻¹	Δ %
Témoin	4.10	3.9	27.6	4564	
Témoin+NPK	4.15	2.6	22.2	3111	-32
Témoin+P	4.25	2.1	26.3	2071	-54

Tableau 6 : Répartition des lipides entre fractions libres et associées en fonction des traitements. Essai INRA de Pierroton (Landes de Gascogne).

Distribution of lipids between bound and unbound components in relation with treatments. INRA field tests of Pierroton (Landes de Gascogne).

Traitements	lipides libres mg.Kg ⁻¹	lipides associés mg.Kg ⁻¹	Libres/associés
Témoin	3200	1365	2.34
Témoin+NPK	2189	922	2.37
Témoin+P	1697	374	4.54

Il apparaît qu'avec une fertilisation NPK, la diminution du taux de lipides se répartit également entre les fractions libres et associées. Avec un simple apport de P, la baisse du taux de lipides associés est beaucoup plus importante que celle des lipides libres. Comme les lipides associés à la matrice organo-minérale sont moins accessibles à la biodégradation que les lipides libres (MAGNOUX, 1982), il est peu vraisemblable que l'apport de P seul favorise la dégradation préférentielle des lipides associés. Il doit plutôt y avoir transfert de la phase associée vers la phase libre. On peut alors se demander pourquoi ce transfert n'apparaît pas avec la même intensité lorsqu'il y a en plus de P apport de N et K au sol. Nous verrons, par ailleurs, que le phénomène est alors en partie masqué par des synthèses microbiennes au niveau de la matrice organo-minérale (AMBLES et al., à paraître).

Après passage sur colonne de silice, chaque lot lipidique est séparé en une fraction neutre, une fraction acide et une fraction polaire (tableau 7). Il apparaît qu'à la suite de la fertilisation, toutes les fractions diminuent, à une exception près. Les diminutions les plus fortes que l'on observe portent sur la fraction acide et plus particulièrement sur les lipides associés de cette fraction. Pour mieux comprendre l'évolution observée, nous avons isolé les différentes familles de chaque fraction, à l'exception de la fraction polaire qui est difficile à étudier car formée de lipides complexes (tableau 8).

Tableau 7 : Chromatographie sur colonne des lipides extraits d'un horizon A₁ du podzol fertilisé ou non. Essai INRA de Pierroton (Landes de Gascogne).

Chromatography on column of the lipids extracted from the A₁ horizon of a podzol with or without fertilization. INRA field test of Pierroton (Landes de Gascogne).

traitements	fraction	fraction neutre		fraction acide		fraction polaire	
		mg.kg ⁻¹	variation %	mg.kg ⁻¹	variation %	mg.kg ⁻¹	variation %
Témoin	libre	691		1664		845	
	associée	186		820		359	
Témoin+NPK	libre	482	-30	1086	-34	621	-26
	associée	136	-27	306	-62	480	+33
Témoin+P	libre	468	-32	674	-59	555	-34
	associée	115	-38	177	-78	82	-77

Tableau 8 : Différentes familles de lipides isolées d'un horizon A₁ de podzol fertilisé ou non. Essai INRA de Pierroton (Landes de Gascogne). Résultats exprimés en mg.kg⁻¹ de sol sec à 105° C.

Distribution of the families of lipids extracted from the A₁ horizon of a podzol with or without fertilization. INRA field test of Pierroton (Landes de Gascogne). Results expressed in mg.kg⁻¹ o.d. soil.

Familles	Témoin		Témoin + NPK		Témoin + P	
	libres	associés	libres	associés	libres	associés
Fraction neutre						
hydrocarbures	41	13	29	10	30	20
esters longs*	41	5	39	11	39	4
esters courts	60	4	53	8	28	4
cétones	53	9	19	2	33	3
Triglycérides	49	49	44	27	29	26
Diglycérides	33	4	20	17	51	31
Alcools	117	63	92	53	114	27
Stérols	-	8	10	5	23	-
Composés plus polaires	297	31	176	3	118	-
Fraction acide						
monoacides	216	28	159	56	101	24
autres acides plus polaires	1448	792	927	250	573	153

* Cérides + stérides

On remarque que la fertilisation provoque une forte diminution des produits les plus complexes des fractions neutres et acides (plus polaires que les stérols pour la fraction neutre et plus polaires que les monoacides pour la fraction acide). Une évolution de ces substances par condensation (CHURIN, 1986) et par incorporation aux substances humiques peut être envisagée. Comme ces composés représentent une part très importante de la fraction acide, on conçoit que celle-ci diminue nettement.

Dans l'ensemble, la plupart des familles de lipides voient leur importance pondérale décroître en milieu amendé où leur décomposition est plus rapide. L'augmentation du rapport diglycérides/triglycérides après apport d'engrais est un indice de cette accélération, la stimulation de l'activité lipidolytique induisant l'hydrolyse partielle des triglycérides en diglycérides qui sont, par ailleurs, des intermédiaires métaboliques importants dans la biosynthèse des premiers (WEETE, 1974). Les pertes peuvent être compensées dans certains cas par des apports venant des microorganismes et de la végétation. C'est ainsi, par exemple, qu'on peut expliquer les faibles variations du taux d'esters longs. L'augmentation des concentrations de stérols (substances relativement stables considérées comme des marqueurs biologiques), en milieu fertilisé, doit traduire l'accroissement des apports d'origine biologique ainsi qu'une hydrolyse enzymatique plus rapide des stérides dans les sols amendés.

CONCLUSION

D'une manière générale, on considère que la « fatigue du sol » correspond à une augmentation de son taux de lipides (STEVENSON, 1966). En effet, cela peut avoir des conséquences néfastes sur le développement des microorganismes et sur

celui des racines des plantes. Les lipides peuvent également inhiber la germination des graines et freiner les processus de nitrification (BRAIDS et MILLER, 1975). Il est donc important d'arriver à en limiter la teneur dans le sol ; et la fertilisation s'avère être un bon moyen d'y parvenir.

Le cas des engrais acidifiants mis à part, l'apport d'engrais au sol active le turn-over des lipides en élevant le pH, en compensant des carences et en stimulant l'activité biologique du milieu. A la suite de cela, le nombre de germes bactériens augmente alors que les champignons beaucoup plus riches en lipides diminuent. Dans le même temps, la croissance des plantes est activée. Il y a donc augmentation des apports en lipides végétaux au sol. Malgré cela, le taux de lipides du sol diminue car l'activité lipidolytique des microorganismes est fortement stimulée.

L'apport de CaCO_3 apparaît être un excellent remède pour éliminer l'excès de lipides des sols acides. Les pertes sont d'autant plus élevées et plus rapides que l'élévation de pH consécutive au traitement est plus importante. Parmi les mécanismes de l'évolution, les phénomènes de biotransformation semblent l'emporter sur ceux de minéralisation. L'intervention du calcium s'explique par le fait que celui-ci est nécessaire à l'activation des lipases et qu'il permet d'éliminer des toxicités. En effet, des acides gras à très longue chaîne, comme l'acide montanique, qui inhibent le développement de la microflore du sol, perdent leur toxicité et se dégradent relativement bien en milieu calcaire (MOUCAWI et al., 1981). Dans ces conditions, il est donc normal qu'il y ait très peu de lipides dans les sols calcaires comme l'ont constaté JAMBU et al. (1978), MOUCAWI (1981) et SEBYERA (1984).

Après un apport de K_2HPO_4 au milieu, il y a dans un premier temps stimulation des synthèses microbiennes et le taux de lipides du sol augmente. Mais NTSIKOUS-SALABONGUI (1983) a montré que les composés ainsi produits sont à chaîne courte et facilement biodégradables. De plus, les phospholipides qui peuvent apparaître, sont aisément utilisés par les microorganismes (BRAIDS et MILLER, 1975) et par les plantes pour lesquelles ils sont une source potentielle de phosphore (STEVENSON, 1982). Finalement, à long terme, on observe une diminution du taux de lipides et du taux de matière organique totale.

En ce qui concerne l'azote, les microorganismes en ont beaucoup besoin pour utiliser des composés carbonés tels que les lipides qui en sont pratiquement dépourvus. L'intervention de l'azote dépend beaucoup de l'état sous lequel celui-ci est introduit dans le sol. L'addition de sulfate d'ammonium à un milieu déjà acide ou non tamponné, freine l'évolution de la matière organique totale (minéralisation, humification) et fait augmenter la proportion de lipides au sein de cette matière organique. Par contre, les composés qui induisent une nette élévation du pH comme l'urée et le carbonate d'ammonium accélèrent fortement les processus de minéralisation de l'ensemble de la matière organique. Parallèlement, le taux de lipides diminue, mais moins vite que le taux de matière organique totale. De ce fait, la proportion de lipides de la matière organique augmente, ceci dans un premier temps au moins et manifestement en relation avec la stimulation des synthèses microbiennes par la fertilisation. Comme un apport de nitrate d'ammonium peut provoquer une acidification temporaire du milieu, l'action de cet engrais est plus complexe. Tout d'abord le taux de lipides augmente à la fois par stimulation des synthèses microbiennes et freinage de la biodégradation. Puis, lorsque le pH du sol remonte avec l'utilisation des nitrates, le taux de lipides diminue fortement.

Au total, toute fertilisation qui tend à élever le pH du milieu accélère le turn-over des lipides dont, par ailleurs, la composition évolue (AMBLES et al., à paraître). Déjà nous constatons ici que dans les fractions neutres et acides, les composés les plus complexes diminuent souvent de façon importante par rapport aux composés simples. La fraction poilaire diminue également à une exception près, sous l'influence des apports d'engrais. La dégradation des lipides plus ou moins complexes est peu vraisemblable. Il semble plus logique d'envisager leur transfert vers les substances humiques qui libèrent après hydrolyse, de nombreux composés aliphatiques à longue chaîne (CHURIN, 1986).

Reçu pour publication : Février 1987

Accepté pour publication : Juillet 1987

EFFECTS OF MINERAL FERTILIZERS ON THE EVOLUTION
OF NATURAL LIPIDS IN ACID SOILS

Effects of Ca, P and N supplies on lipid content of soils were tested. For experimentation, acid soils were selected, because in such soils a higher proportion of humus occurs as lipids (Tables 1 and 2). In a first experiment soil samples were incubated at 28°C for 4 months with or without addition of mineral compounds and the evolution of lipid amounts was determined (Table 3).

The highest decrease of lipid content was observed in soil samples supplemented with CaCO₃ because Ca activates lipases. The evolution induced is certainly a bio-transformation because the amount of evolved CO₂ is lower in treatment than in control.

After N-supplies and incubation, the biodegradation of lipids varied with soil pH (Table 3). These results observed in the laboratory were confirmed by a long experimentation in field test (Table 4).

With P-supplies, the evolution induced was more complex. At first, the synthesis of microbial lipids was strongly stimulated and consequently the amount of lipids increased. But these new compounds are easily degradable. So after 2 months of incubation, biodegradation was the dominant process.

The lipids extracted from forest soils regularly supplemented with NPK or P alone, during 20 years, were analyzed (Table 5 to 8). It appears comparatively with the control, that the importance of each family is reduced. The highest loss concerns very polar compounds which are the most complex and the most polymerized lipids. Their preferential biodegradation is not easily conceivable, but their incorporation into humic substances must be taken into account because such compounds are liberated during hydrolysis of humic acids.

BIBLIOGRAPHIE

- AMBLES A., JACQUESY R., NTSIKOUSSALABONGUI B., FUSTEC E. et JAMBU P., 1981. — C.R. Colloque « Humus et Azote », I, 32-36.
- AMBLES A., JACQUESY R., JAMBU P. et FUSTEC E., 1985. — *Agrochimica*, 29, 2-3, 4, 199-209.
- AMBLES A., JAMBU P., NTSIKOUSSALABONGUI B. et JACQUESY R. — *Catena* (à paraître).
- BONNEAU M. et SOUCHIER B., 1979. — *Pédologie*. 2 : Constituants et propriétés du Sol. Masson Ed. Paris, 460 p.
- BRAIDS O. et MILLER R., 1975. — *in Organic Components*. E. Gieseking ed. Springer-Verlag, New-York, 343-368.
- CARBONNEL J.P., FOURBET J.F., FUSTEC E., GATELLIER C. et JACQUESY R., 1982. — *Recycl. Int. : Recov. Energy Matter Residues Waste (Contrib. Int. Recycl. Cong. 433-438)*.
- CHURIN R., 1986. — *Matière organique des sols : Etude structurale de la fraction lipidique polaire*. Doctorat d'Université en chimie appliquée. Poitiers, 63 p.
- DIBBLE J. et BARTHA A., 1976. — *Appl. Environ. Microb.* 31, 544-550.
- DIBBLE J. et BARTHA R., 1979a. — *Soil Sciences* 128, 1, 56-60.
- DIBBLE J. et BARTHA R., 1979b. — *Appl. Environ. Microb.* 37, 4, 729-739.
- DOMMERGUES Y., 1963. — *Agrochimica* 7, 4, 335-340.
- FUSTEC E., JAMBU P., BILONG P., AMBLES A. et JACQUESY A., 1981. — C.R. Coll. Int. du CNRS n° 303. Migrations organo-minérales dans les sols tempérés, Nancy 1979, 215-225.
- GROVE G., 1978. — *Hydrocarbon Process* 57, 5, 138-140.
- HEINEN W. et de VRIES H., 1966. — *Arch. Microbiol.* 54, 4, 331-338.
- HENIN S., GRAS R. et MONNIER G., 1969. — *Profil cultural*. Masson Ed., Paris, 332 p.

- HERBAUTS J., 1974. — Evaluation de la disponibilité potentielle en azote minéral dans différents types forestiers lorrains. D.E.A. Pédologie, Univ. Nancy I, 35 p.
- JAMBU P., FUSTEC E. et JACQUESY R., 1978. — Science du sol, 4, 229-240.
- JOBSON A., Mac LAUGHLIN M., COOK F. et WESTLAKE D., 1974. — Appl. Microbiol. 27, 1, 166-171.
- LAISSUS R., 1981. — Acad. Agric. de France, 67, 7, 599-615.
- LE TACON F., 1976. — La présence de calcaire dans le sol : influence sur le comportement de l'épicéa et du pin noir d'Autriche. Thèse Doctorat ès Sciences, Univ. Nancy I, 214 p.
- MAGNOUX P., 1982. — Etude de l'influence d'apports d'argile sur la composition de la fraction lipidique d'un sol carencé. Doctorat de Spécialité. Poitiers, 115 p.
- MOUCAWI J., 1981. — Recherches sur l'évolution de la matière organique dans les plaines atlantiques. Doctorat ès Sciences Naturelles, 176 p.
- MOUCAWI J., FUSTEC E., JAMBU P. et JACQUESY R., 1981. — Soil Biol. Biochem. 13, 6, 461-468.
- NTSIKOUSSALABONGUI B., 1983. — Chimie du sol. Influence d'amendements azotés et phosphorés sur l'évolution de la matière organique. Doctorat de spécialité. Poitiers, 126 p.
- PANCHOLY S. et LYND J., 1973. — Soil Sci. Am. Proc. 37, 1, 51-52.
- POCHON J. et TARDIEUX P., 1962. — Techniques d'analyse en microbiologie du sol. Ed. La Tourelle Saint-Mandé, 108 p.
- RAYMOND R., HUDSON J. et JAMISON V., 1976. — Appl. Environ. Microbiol. 31, 4, 522-535.
- SEBYERA N., 1984. — Technique du Land-Farming. Evolution des produits pétroliers dans le sol. Doctorat de Spécialité. Poitiers, 95 p.
- STEVENSON F.J., 1966. — Amer. Oil Chem. Soc., 43, 4, 203-210.
- STEVENSON F.J., 1982. — Humus chemistry. John Wiley Ed., New-York, 443 p.
- TEJADA A., 1985. — Nature et origine des lipides mobiles du sol. Doctorat de Spécialité. Poitiers, 107 p.
- WEETE J., 1974. — Fungal lipid biochemistry. Plenum Press New-York, 393 p.