LA FORMATION DES PRODUITS HUMIQUES DANS LE SOL,

LEUR IMPORTANCE EN AGRICULTURE.

Conférence donnée par B. DABIN au Colloque sur la Matière Organique des Sols - Piracicaba (S.P.) 24 - 28 novembre 1976 (Brésil).

INTRODUCTION

Il y a encore beaucoup d'aspects inconnus dans la matière organique du sol, mais son étude a progressé rapidement ces dernières années tant sur le plan théorique que pratique.

Il y a plusieurs méthodes d'étude qui sont appliquées par différents auteurs, les uns comme SCHNITZER et son école (Canada) provoquent une oxydation et une hydrolyse ménagée de la matière organique et analysent en détail les produits extraits ; ils essaient ensuite à partir des composés obtenus de reconstituer d'une façon théorique la structure de la molécule humique en tenant compte de ses propriétés globales.

L'autre méthode consiste à réaliser la synthèse de produits humiques à partir de molécules de base comme des phénols et des acides aminés, et d'étudier leurs transformations chimiques au cours des phénomènes de polycondensation. Cette méthode appliquée par l'école allemande de W.FLAIG est poursuivie actuellement par de nombreux auteurs, en particulier en France par l'équipe de Nancy (ANDREUX, METCHE, JACQUIN et coll.).

D'autres techniques plus anciennes et plus classiques consistent en une étude directe de l'humus du sol et son fractionnement en acide humique, acide fulvique et humine, et tentent de déterminer les propriétés de ces différentes fractions (mobilité et poids moléculaire, liaison avec la matière minérale), leur formation à partir des matières végétales, leur évolution dans le temps et en fonction des types de sol et de la végétation, enfin leur action sur la fertilité ; dans ce dernier cas on étudie principalement les composés azotés, les fonctions spécifiques (CEC, etc) ou l'action sur la structure physique du sol (travaux ORSTOM) - (SWIFT et POSNER - Ecosse - Australie). Une variante consiste à étudier globalement le système humique sans le fractionner, en particulier en utilisant l'absorption spécifique en lumière visible des produits alcalino-solubles qui est en liaison directe avec l'humification ; cependant cette mesure globale est mise en corrélation avec d'autres techniques de fractionnement, en particulier des formes hydrolysables et non hydrolysables de l'azote (études de SALFELD et SOCHTIG). Les études plus étroitement en relation avec la fertilité des sols et la fertilisation sont réalisées soit aux champs (PICHOT - VELLY, TALINEAU), soit au laboratoire (DABIN), soit dans des petits pots en conditions contrôlées (de HAAN, SWIFT - POSNER). Ces essais sont réalisés sur du matériel marqué avec 14C et 15N, ou même non marqué. On étudie généralement la transformation de produits organiques ajoutés au sol (de la paille de céréale ou des fourrages ou d'autres matières) soit seuls soit additionnés de fertilisants azotés (urée, nitrates, etc). Ces essais dont la durée varie de 2 ans à 10 ans sont très étroitement contrôlés par de nombreuses analyses, ce qui permet de déceler l'évolution particulière des différentes fractions de l'humus et de l'azote en fonction du temps et la décomposition et aussi de tenter des essais de bilan sur la perte et la régénération de la matière organique du sol.

ORSTOM Fonds Documentaire
N° : 21 548
Cote : B 46 M
17 FEV. 1988

.../...

Dans cette brève conférence nous allons présenter certaines des conclusions les plus récentes de ces différentes méthodes d'étude.

1°) Etude analytique des matières humiques

SCHNITZER extrait les matières humiques du sol par la soude 0,5 N après un prétraitement à l'acide chlorhydrique.

Après purification des extraits par dialyse, résines échangeuses, il effectue une analyse élémentaire C,H,O,N,S, une titration des fonctions carboxyles (COOH), hydroxyles (OH), méthoxyles (OCH_3) et quinone (C = O), de même que l'absorption en lumière visible (rapport $\frac{400}{600}$ nm) ainsi que le spectre infrarouge. Sur une autre fraction, il opère une oxydation ménagée après méthylation par le permanganate alcalin (MnO_4K) ou par l'oxyde de cuivre CuO en présence de soude, puis il extrait les produits hydrolysés par un solvant organique, et effectue leur identification par spectrométrie de masse, spectrographie infrarouge, chromatographie en phase gazeuse.

L'attaque oxydante a pour conséquence l'élimination de produits peu résistants, les composés azotés sont particulièrement vulnérables, ils subissent une hydrolyse partielle, passent dans la phase liquide et ne sont pas extraits par les solvants organiques.

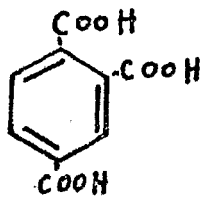
Tous les autres produits identifiés, environ une centaine, possèdent une remarquable homogénéité de composition, même si l'on analyse des humus de provenances très diverses (toundras, sols tempérés froids, sols subtropicaux et tropicaux).

Ces produits se réunissent en trois grands groupes : acides benzènes - polycarboxyliques, dérivés phénoliques, composés aliphatiques. Nous donnons ici quelques exemples simples :

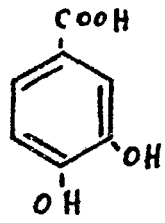
composé aliphatique

$CH_3\ (CH_2)_{14}\ COOH$

ac. benzène carboxilique



composé phénolique



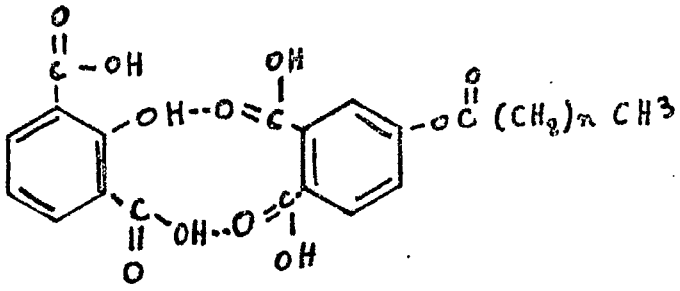
La composition moyenne d'un ac. Humique est la suivante :

C = 56,2 % H = 4,7 % N = 3,2 % S = 0,8 % O = 35 %

L'acide fulvique a une composition très voisine, mais il a 10 % de moins de C et 10 % de plus d'oxygène. Son acidité totale est 30 % supérieure et son acidité carboxylique est le double de celle d'un acide humique. En ce qui concerne la répartition des composés de base (aliphatique, benzène carboxylique et phénolique) ils représentent chacun environ 1/3 de la molécule, les ac. fulviques sont plus riches en produits phénoliques, mais l'aromaticité est la même dans les 2 produits A H et A F, environ 70 %. La principale différence réside dans le poids moléculaire plus important pour A H et qui se manifeste par une absorption supérieure dans le visible $\frac{E\,4}{E\,6}$ = 4,8 A H, et 9,6 A F.

Cependant les acides fulviques représentent un produit plus oxydé que les ac. Humiques.

La structure de la molécule humique est composée d'après SCHNITZER de "building blocks" ou blocs structuraux reliés par des liaisons relativement faibles et laches qui sont des liaisons hydrogènes ou des forces de VAN der WAALS. Au fur et à mesure que la molécule devient plus grosse, il se forme des liaisons plus fortes C - C et C - O.

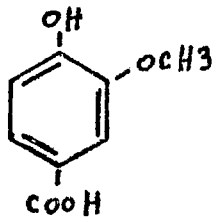


L'agrégation de l'humus à pH acide vient d'une attraction intermoléculaire, par les liaisons H, et la dispersion aux pH alcalins est due à une répulsion intermoléculaire due à l'ionisation croissante des groupes fonctionnels contenant O - . L'agrégation se produit également sous l'action de cations (Ca - Fe etc). L'humus est donc un hétéropolymère possédant une structure poreuse et ouverte, avec de nombreux sites favorisant l'absorption d'autres composés organiques. Il semblerait que les composés azotés viennent se fixer sur la charpente humique de base par l'intermédiaire de groupes fonctionnels ou de métaux.

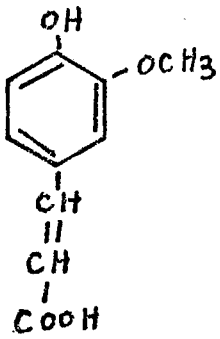
Il y aurait donc deux phases dans la macromolécule humique : une écorce comprenant des composés adsorbés en voie de transformation en humus stable, et un coeur ou noyau stable formé plus lentement et très voisin pour la plupart des sols, qui ne diffèreraient entre eux que par la nature de l'écorce dépendant des conditions de milieu.

2°) Etude synthétique

FLAIG et son école en étudiant la décomposition d'une paille de céréale pendant environ 240 jours, ont mis en évidence une disparition rapide des hydrates de carbone qui servent de source d'énergie aux microorganismes, et une décomposition partielle de la lignine qui subit une oxydation et donne des produits d'hydrolyse acide renfermant de nombreux produits benzéniques, comme l'acide vanilique ou l'acide ferulique.



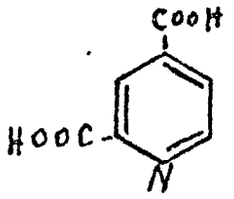
ac. Vanilique



ac. Ferulique

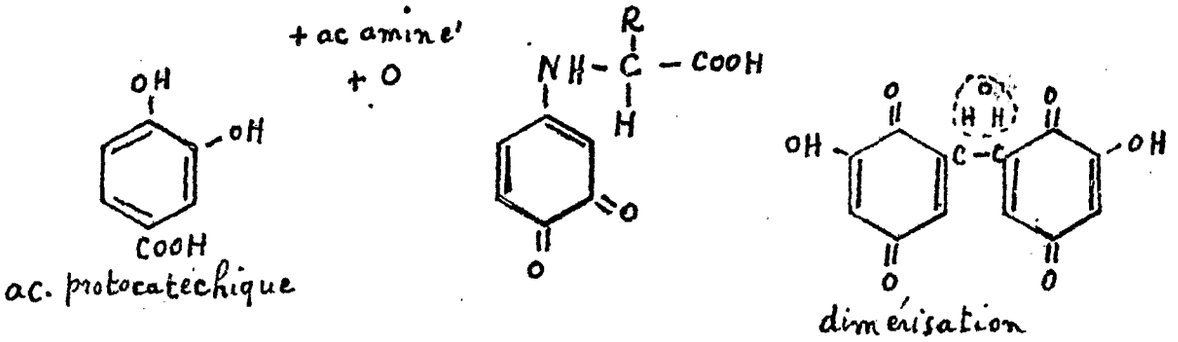
.../...

De même on trouve dans l'hydrolysat par HCl 6N de la paille décomposée des produits azotés α animés ; quand au résidu non hydrolysable de transformation de la lignine, sa teneur en azote a augmenté trois fois par rapport à l'origine (0,6 à 1,8 %) et FLAIG indique qu'il s'agit principalement de formes hétérocycliques de l'azote.



ac. 2-4 pyridine dicarboxylique

Inversement en partant d'acide ferulique sur lequel on fait agir des cultures de champignons, on obtient (par oxydation alcaline) d'abord une coupure des chaines latérales qui donne l'acide vanilique, puis une oxydation en quinone avec polymérisation donnant des produits peu colorés sans azote. L'oxydation provoque également une déméthylation conduisant à l'acide protocatéchique, et l'addition d'ammoniac ou d'acides aminés produit au cours de la polymérisation soit des composés d'addition "acides aminés catechol" soit des composés hétérocycliques après ouverture du noyau catéchol.



Ces molécules se condensent en polymères de poids moléculaire élevé, et donnent des produits fortement colorés dont les propriétés (précipitation - spectre I.R., etc) sont très voisines des substances naturelles humiques. Plus récemment, ANDREUX en étudiant la biodégradation des polymères catéchol-glycine (marqués au 14 C) a montré que la résistance des composés azotés à l'hydrolyse était due non seulement à la formation de produits hétérocycles, mais aussi à l'incorporation de l'azote dans des produits stables. L'activité biologique tend à épargner la fraction homogène hautement polymérisée des macromolécules.

Ces méthodes de synthèse ont permis de mieux comprendre la formation des composés humiques qui peut se faire rapidement en quelques mois ; cependant la plupart des auteurs différencient à présent ces substances jeunes dites "parahumiques" de l'humus total du sol dont une partie est ancienne et de formation lente.

.../...

3°) Etude de l'humus du sol et de son évolution sous culture.

a) Evolution à long terme

SOCHTIG et SALFELD étudient le degré d'humification d'une matière organique par l'extinction spécifique en lumière visible de l'extrait global obtenu par le mélange (pyrophosphate de soude 0,1 M + Soude 0,1 N) (méthode KONONOVA-BELCHIKOVA) en particulier à la longueur d'onde 500nm (pour 1mgC dans 10 ml de solution humique). Cette extinction est mise en relation avec le taux d'extraction de la matière humique soluble, avec le rapport $\frac{\text{ac. humique}}{\text{ac. fulvique}}$ et aussi le rapport $\frac{\text{azote non hydrolysé}}{\text{azote hydrolysé}}$ extrait par la méthode de BREMNER, par HCl 6 N. En comparant différents types de sols dont l'humification est généralement considérée comme croissante (podzol, sol brun, chernozem lessivé et chernozem calcaire), on mesure une extinction spécifique qui augmente du podzol au chernozem ; néanmoins pour chaque type de sol cette extinction est en raison inverse du taux de matière organique total (l'humification augmente avec la décomposition). Le taux d'extraction de l'humus soluble croît avec l'extinction (r = 0,80) de même $\frac{AH}{AF}$ croît du podzol au chernozem (r = 0,90). La meilleure corrélation positive est donnée pour le rapport $\frac{\text{N non hydrolysable}}{\text{N hydrolysable}}$ (r = 0,92), il s'agit là d'humification à long terme. Le rapport $\frac{\text{N amidé}}{\text{N } \alpha \text{ amine}}$ décroît lorsque croît l'humification, néanmoins les valeurs sont variables en fonction des types de sol et dépendent surtout de l'utilisation agricole.

b) Evolution à court terme

En ce qui concerne l'évolution de l'humus à court terme en fonction de la décomposition de produits végétaux, SWIFT (Ecosse) et POSNER (Australie) réalisent des essais en pots sur un sol pauvre en M.O. à l'origine, en additionnant 2 à 3 % de produits organiques : paille de blé (tiges ou racines) et fourrages (tiges ou racines) ; l'expérience dure deux ans avec quatre prélèvements la première année et deux prélèvements la seconde année.

L'humus est extrait séquentiellement par trois réactifs :

1°) Pyrophosphate à froid 0,1 M,
2°) Soude 0,5 M à 20 °,
3°) Soude 0,5 M à 60°.

Les acides humiques sont séparés par précipitation à pH = 1. La capacité d'échange de cations est mesurée par titration avec KOH à pH=7 et à pH=10.

On dose l'azote total par KJELDAHL et l'azote α aminé par la méthode BREMNER (colorimétrie à la ninhydrine sur l'hydrolysat par HCl 6 N), enfin on détermine les spectres I.R. des acides humiques purifiés et lyophilisés.

.../...

Dans tous les essais la C.E.C. croît fortement en fonction du temps, mais c'est l'extrait pyrophosphate qui montre la plus forte augmentation ; il présente un degré d'oxydation plus important que l'extrait à la soude à froid, lui-même supérieur à la soude à chaud, qui sont des produits moins oxydés (300 m.e. à pH =7 pour pyro, 200 m.e. pour soude). A pH = 10, l'augmentation est uniforme de 80 à 90 m.e. représentant les radicaux phénoliques, l'évolution est parallèle à la C.E.C. à pH = 7 représentant les radicaux carboxyles. Après trois mois on note une diminution de C.E.C. de l'extrait soude à froid qui est oxydé et transformé en humus pyro, alors que d'autres molécules de polymères moins oxydés se forment, l'extrait pyro lui-même s'oxyde en acide fulvique. Dans l'humification il y a donc d'abord production rapide de composés à haut poids moléculaire suivie d'oxydation lente avec le temps, qui donne les acides humiques pyro et les acides fulviques. Les spectres infrarouges montrent une diminution de l'absorption de la bande 2920 cm^{-1} (C - H aliphatique) avec dans l'ordre : soude à froid supérieure à soude à chaud supérieure à pyro. - c'est-à-dire avec l'oxydation croissante - à 1720cm^{-1} qui est la bande d'absorption des radicaux COOH et $C\begin{smallmatrix}O\\H\end{smallmatrix}$, il y a une augmentation importante avec le temps en raison de l'oxydation, la valeur d'absorption est cependant plus faible que dans les sols naturels, avec dans l'ordre : extrait pyro supérieur à extrait soude à froid > extrait soude à chaud. Le changement important se situe dans les trois premiers mois de l'humification, puis il devient plus lent. L'aromaticité peut être mesurée avec la bande 1510 cm^{-1}, l'absorption est dans l'ordre : soude à chaud > soude à froid > pyro, il y a décroissement avec le temps ; les produits les plus difficilement extractibles ont la plus forte aromaticité, cette aromaticité décroît avec l'oxydation, en même temps il y a décroissement du poids moléculaire.

En ce qui concerne l'azote, azote total et azote α aminé, montrent des évolutions parallèles avec le temps. Au cours des premiers mois l'extrait pyro montre une augmentation importante, suivie d'une diminution après cinq mois. La soude à froid montre au contraire une valeur très élevée au départ qui décroît rapidement puis d'une façon constante. Il y a un mouvement des composés azotés de la soude à froid vers l'extrait pyro ; la soude est un bon solvant des protéines, ce qui reflète la forte teneur en azote de l'extrait humique soude à froid aux premiers stades d'évolution ; la soude à chaud sort moins d'azote déjà extrait auparavant ; il y a un maximum d'azote entre trois et six mois correspondant à la formation de produits de hauts poids moléculaires, azotés, peu solubles, qui sont ensuite oxydés et migrent vers l'extrait soude à froid. Les produits α amines représentent 50 % de N total et ont une évolution parallèle. Les composés azotés se condensent d'abord dans les acides humiques extraits à la soude, puis par oxydation passent dans les acides humiques extraits au pyrophosphate.

B. DABIN qui pratique également des extractions séquentielles (acide phosphorique, pyrophosphate 0,1 M, soude 0,1 N) en séparant acides humiques et fulviques, a montré sur des essais de Côte d'Ivoire que les extraits à la soude, en particulier les acides fulviques, se forment plus précocement que les extraits au pyrophosphate (acides humiques et acides fulviques). Ces derniers augmentent en proportion lorsque le sol s'appauvrit par la culture, alors que les acides fulviques extraits à la soude diminuent. La décomposition des matières organiques produit donc d'abord les extraits soude qui se transforment ensuite en extraits pyro, donnant facilement des complexes avec des cations comme le calcium. Les acides fulviques libres extraits en milieu acide augmentent également avec l'appauvrissement du sol.

c) Variations en fonction de la nature des produits végétaux

Les expériences précédentes n'ont montré que peu de différence en fonction de la nature des produits végétaux apportés au sol. S. de HANN étudie 15 produits différents dont la teneur en lignine varie de 0 à 29 %, et la teneur en azote de 0 à 15 %. Certains produits comme le fumier sont relativement riches à la fois en azote et en lignine, d'autres, le soja, les protéines de pomme de terre, la poudre de sang, sont très riches en azote, les pailles de céréales sont assez pauvres en azote et riches en lignine, les graines et les fourrages ont des teneurs intermédiaires dans les deux composés.

Une quantité constante de M.O. est apportée chaque année pendant 10 ans. On compare un sol sableux acide avec un sol argileux à pH neutre - des répétitions de chaque essai sont analysées régulièrement .

L'humus formé après 10 ans est inférieur à 10 fois l'humus formé en un an, au taux annuel de formation a d'humus, se retranche un taux de décomposition annuel R.

En 10 ans on calcule le taux moyen de décomposition R qui est de 13 % en sol sableux et de 9 % en sol argileux. Ce taux est très supérieur à celui des vieux sols non traités qui est de 1,7 % à 2,2 %.

Il y a une corrélation très étroite entre la quantité d'humus formé et la teneur en lignine des produits (r = 0,91), néanmoins l'humus formé est plus important que la quantité de lignine introduite, il y a donc d'autres sources d'humus (résidus des microorganismes), par contre il y a peu de corrélation avec l'azote, (il faudrait étudier l'azote à lignine constante) l'augmentation de l'azote du sol est en relation avec la richesse en azote des produits, mais la perte d'azote au cours de l'expérience est considérable; avec la protéine de pomme de terre il y a 80 % d'azote perdu, il y a production de nitrates et forte diminution du pH et sans doute dénitrification.

Il y a une action sur les propriétés physiques du sol, augmentation des pF 4,2 et 3,4, mais non du pF 2. Il y a augmentation de volume et diminution de la densité apparente qui est supérieure dans les sols sableux par rapport aux sols argileux.

Dans les sols argileux il y a un effet de structure accentué.

Le sucre et la cellulose améliorent la structure. Les protéines agissent sur la structure en donnant des agrégats de grande taille. L'effet de la teneur en argile sur l'accumulation de l'humus est surtout un effet à long terme (formation lente de complexes argilo-humiques stables), l'effet à court terme est faible.

Des essais culturaux montrent pour un type de sol donné, une action de la matière organique totale sur les rendements r = 0,96, mais la corrélation est la même avec le taux d'azote total , et il semble bien que l'ont ait un effet azote.

La meilleure corrélation se produit avec la première récolte et est plus faible avec des récoltes successives en raison de l'épuisement de l'azote minéral.

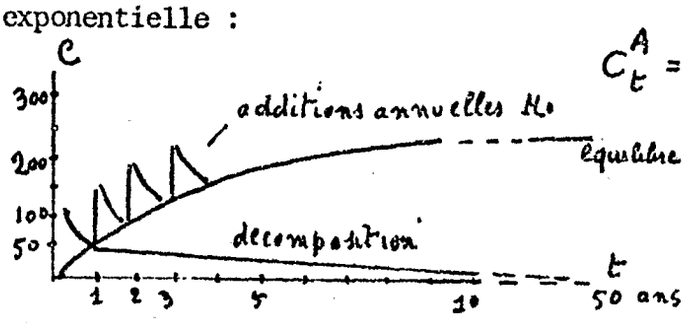
Dans des essais aux champs l'apport de matière organique améliore l'optimum du rendement obtenu avec des doses croissantes d'azote, le résultat est très positif avec des tubercules et plus faible avec des céréales.

.../...

BILAN A LONG TERME DE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL

SAUERBECK suit l'évolution de matière organique marquée au 14 C dans des cylindres enterrés contenant des sols de diverses origines, des essais sont faits en Allemagne, d'autres à Costa Rica (zone tropicale).

Sur la plupart de ces sols il note la première année une perte de 14 C qui varie de 50 à 75 % suivant les types de sol, ensuite la décomposition ralentit et le 14 C diminue de moitié, suivant une période qui varie de 4, 5 à 6 ans ; dans tous les sols le phénomène présente la même allure, avec une diminution constante après la première année. Cette diminution suit une courbe asymptotique : $C_t = Co\, e^{-rt}$, on calcule qu'au bout de 50 ans le C restant est 1 % du C d'origine. Avec une addition constante tous les ans (environ 2T ha de M.O.) on peut calculer théoriquement l'accumulation de M.O. jusqu'à un équilibre au bout de 50 ans.
On a une courbe exponentielle :



$$C_t^A = C_0 \sum_{t=1}^{N} e^{-rt}$$

La quantité finale de M.O. obtenue à l'équilibre (25 à 50 ans) ne dépasse guère que de 2,5 fois l'apport annuel de résidu (dans un sol lessivé). L'accumulation réelle mesurée dans les sols sur une période de 5 à 10 ans est légèrement inférieure à la quantité théorique calculée.

Si l'on applique la formule de décomposition à la matière organique totale des sols, on se rend compte que pour maintenir les taux de matière organique des sols à leur valeur d'origine, il faudrait des augmentations à l'équilibre 4 à 5 fois plus élevées que les valeurs obtenues avec les apports courants de matière organique réalisés habituellement en agriculture (dans le sol lessivé 2 T ha C par an de résidu donnent à l'équilibre 5 à 7 T ha C, alors que pour maintenir théoriquement 0,87 % de C dans le sol, la quantité nécessaire de C à l'équilibre est de 26 T ha).

La conclusion est que le sol contient deux phases de matière organique, une phase jeune et labile et une phase ancienne et stable. La phase stable formée lentement n'est que peu affectée par l'apport de fertilisants, le passage d'une forme à l'autre existe mais est assez lent. La majorité des processus de "Turn-over" se situent dans le pool labile qui ne représente qu'environ 1/3 du carbone total présent. Ceci met en relief le danger particulier de perte de matière organique ancienne par érosion et la difficulté de régénération.

.../...

ACTION DE LA MATIERE ORGANIQUE SUR LA PRODUCTION VEGETALE.

C'est un fait bien connu depuis longtemps que les sols riches en matière organique possèdent une fertilité élevée, et que la perte en matière organique correspond à une baisse de fertilité des sols.

Cependant il n'est pas aisé de mettre en évidence l'action propre de la matière organique, en dehors des éléments minéraux qu'elle libère par décomposition, en particulier l'azote, le phosphore, le soufre.

L'action sur les propriétés physiques du sol a pu être démontrée, on ne peut que résumer ici les principales conclusions de ces essais.

Une action rapide et efficace sur la stabilité structurale peut être due à l'action des matières végétales en décomposition, en particulier la production de polysaccharides qui se fixent sur les matières minérales. Cette amélioration disparait après biodégradation des produits formés - elle est donc assez fugace.

Une action plus lente et plus stable est due à la fraction non extractible de l'humus ou humine fortement fixée à la matière minérale. La stabilité de la structure est liée à la quantité d'humine. Lorsqu'il y a biodégradation de l'humine avec production d'acides fulviques, la stabilité de la structure diminue. La valeur de Is (HENIN) augmente lorsque le rapport $\frac{\text{Ac. Fulvique}}{\text{Humine}}$ croît dans un type de sol donné.

Une action très importante de l'humus sur la fertilité est son rôle de réserve d'éléments minéraux.

SOBULO en Nigeria a montré des relations très significatives dans de nombreux sols, entre carbone d'une part, et d'autre part : azote total, calcium et magnésium échangeable, capacité d'échange de cations.

DABIN a montré dans des sols d'Afrique occidentale une relation entre azote total et phosphore total et également avec les cations échangeables du sol, la relation $\frac{\text{Bases}}{\text{Azote}}$ augmentant avec le pH.

SOBULO a montré qu'il y avait une relation entre azote total et rendement du riz avec un seuil critique pour 0,085 % de N total. Cependant la meilleure corrélation avec les rendements est obtenue avec la teneur en NO_3 sur 0-60 cm en début de culture.

DABIN a indiqué également une relation entre rendements des cultures (coton - maïs - etc) et l'azote total à condition de tenir compte d'une part du pH du sol, d'autre part de la granulométrie. Pour un pH donné le rendement croît avec le taux d'azote total, pour un taux d'azote total donné le rendement augmente lorsque le pH croît de 4,5 à 8,5. Les valeurs doivent être comparées dans certaines limites de granulométrie et de rapport C/N.

De nombreux travaux récents concernent l'intéraction entre l'apport d'engrais azotés et l'apport de matières organiques.

.../...

SOCHTIG dans des essais en pots en utilisant l'urée marquée à l'15N et la paille de blé, montre qu'au bout de trois mois de décomposition avec addition de paille, les formes organiques de l'azote augmentent avec le temps.

En utilisant la méthode de fractionnement de BRENNER (hydrolyse par HCl 6N) on observe une augmentation du 15N α aminé et une diminution du rapport $\frac{\text{15N amidé}}{\text{15N α aminé}}$ - de même une augmentation de 15N dans les formes non hydrolysées et non identifiées - 15N augmente également dans les extraits alcalins d'acides humiques.

Sans apports de paille, 15N augmente dans N amidé et dans N minéral, mais il y a une forte perte de 15N total par rapport à l'urée 15N ajoutée, sans doute perte à l'état gazeux.

Dans des essais aux champs (sur 4ans) associés à des essais en pots avec 15N, PICHOT en Côte d'Ivoire et VELLY à Madagascar, ont montré que les deux premières années il y avait un effet important de l'azote minéral seul sur les rendements, l'apport de 10T ha de paille ou de compost ne se fait sentir qu'après la 2e année ; il y a alors soit diminution de l'effet d'azote et augmentation de l'effet de paille, soit effet simultané des deux apports sur les rendements. Sans apport de compost l'effet d'azote minéral demeure important du fait de l'appauvrissement du sol. Au point de vue évolution du sol, l'apport d'azote et de paille n'empêche pas un fort appauvrissement du sol en matières organiques les premières années, il y a ensuite une remontée très lente des teneurs en carbone. L'azote minéral abondant au début de l'expérience disparait ensuite après 3 ans.

Dans les essais en vases, on observe que la paille a surtout une action positive sur la quantité d'azote non hydrolysable, puis sur l'azote ammoniacal, l'azote α amine augmente plus lentement. Il semble que cette forme évolue rapidement dans les sols sous culture, donnant soit des formes minérales, soit des formes organiques stables.

Le compost par ailleurs permet le maintien dans le sol de la teneur en bases et en phosphore, mais n'empêche pas l'appauvrissement du sol en matière organique évoluée ; on rejoint ici les résultats précédents de SCHNITZER et SAUERBECK.

CONCLUSION

La note présente résume certaines des données actuellement connues concernant la formation de l'humus dans le sol, sa composition, ses propriétés, son action sur la fertilité.

Une notion importante à retenir est la forte perte de matière organique après la mise en culture d'un sol défriché, par ailleurs 10 T de matières végétales sèches par an et 200 Kg d'azote sous forme d'engrais ne reconstituent le stock qu'au taux relatif de 5 % par an ; cependant de telles pratiques peuvent maintenir des rendements de culture élevés.

Il semble donc que la matière organique ancienne et stable peut se détruire à la suite d'un changement d'équilibre ou par érosion, sa reconstitution par les fertilisants est très lente.

Ces expériences montrent l'importance de la protection du sol contre la perte de matière organique stable.

OUVRAGES CONSULTES

NEYROUD,Y.A. et SCHNITZER,M. (1976). - Sur la structure chimique des acides humiques et fulviques du sol. Colloque International sur les Etudes concernant les Matières Organiques des Sols. Brunswick. R.F.A. Sept. 1976. Public. provisoire IAEA - S.M. (211/73).

SCHNITZER,M. (1976). - Recent findings on the characterisation of Humic Substances Extracted from Soils from widely. Differency climatic zones. International Symposium on Soil Organic Matter Studies. Brunswick. R.F.A. Sept. 1976. Public. provisoire IAEA - 914 (211/7).

FLAIG,W. (1970)- Contribution à la connaissance de la constitution et de la synthèse des acides humiques. Science du Sol, n° 2, 1970. p. 39-72.

SALFELD,J. and SOCHTIG,H. (1976). - Composition of soil organic matter system independance of soil type and Land use. Colloque International. Brunswick. R.F.A. Sept. 1976. Public. provisoire. IAEA - SM (211-24).

SWIFT,R.S. and POSNER,A.M. (1976). - Humification of plant materials,properties of Humic Acid extracts. Colloque International. Brunswick. R.F.A. Sept. 1976. Public. provisoire. IAEA - SM (211-19).

HAAN,S.de (1976). - Humus, its formation, its relation with the mineral part of the soil, and ist significance for soil productivity. International Symposium on Soil Organic Matter Studies. Colloque International de Brunswick. R.F.A. Sept. 1976. Public. provisoire. IAEA - SM (211-12).

ANDREUX,F. et coll. (1976) - Caractérisation et transformation en milieu mull d'un modèle Humique Issu de l'Autooxydation du Systeme Catechol. Glycine et marqué sélectivement au ^{14}C. Colloque International de Brunswick. R.F.A. Sept. 1976. Public. provisoire. IAEA - SM (211-42).

SAVERBECK,O.R. (1976) - Field decomposition of ^{14}C Labelled plant residues in different soils of Germany and Costa Rica. Colloque International de Brunswick. R.F.A. Sept. 1976. Public. provisoire. IAEA - SM(211-18).

SOCHTIG,H. and SALFELD,Y. (1976).-Studies on the dynamics of organic forms of nitrogen, in the nitrogen cycle of soil. Colloque International de Brunswick. R.F.A. Sept. 1976. Public. provisoire. IAEA - SM (911-25).

SOBULO,R.A. and JAIYEOLA (1976). - The influence of soil organic Matter on plant nutrition in Western Nigeria. Colloque International de Brunswick. Sept. 1976. R.F.A. Public. provisoire IAEA - SM (211-15).

PICHOT,J. et Al ZAHAWE,F., CHABALIER,PF. (1976). - Etude de l'évolution d'un sol ferrallitique en Côte d'Ivoire après la mise en culture. Effet des apports d'engrais azotés et de compost. Colloque International de Brunswick. R.F.A. Sept. 1976. Public. provisoire. IAEA - SM (211-38)

VELLY,J. et LONGUEVAL,C. (1976). - Evolution d'un sol ferrallitique sur gneiss à Madagascar sous l'influence d'apports annuels de paille et d'azote. Colloque International de Brunswick. R.F.A. Sept. 1976. Public. provisoire. IAEA - SM - (211-37).

DABIN,B. (1976). - Méthode d'extraction et de fractionnement des matières humiques du sol. Application à quelques études pédologiques et agronomiques dans les sols tropicaux. Public. provisoire. Ronéo. ORSTOM- SSC - 93 Bondy - France.

DABIN,B. (1955). - Considération sur l'interprétation agronomique des analyses de sol en pays tropicaux. Cas particulier de l'azote et du phosphore. Congr. Int. Science du Sol. 5 - 1955 - Paris - Vol. D. pp. 403-409.

DABIN,B. (1951). - Les facteurs de fertilité des sols des régions tropicales en culture irriguée. Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Sol. Numéro spécial. pp. 108-130. AFES. CNRA - Route de St. Cyr. Versailles 78.

Publication Commune ORSTOM-BDPA (1970). - Pédologie et Développement. N°1. Techniques rurales en Afrique. p. 165-239.

NOTE : Le Colloque International sur les études concernant les matières organiques du sol a été organisé par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique - l'Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture en collaboration avec Agrochimica.

Brunswick. Rép. Fédérale d'Allemagne - 5-10 Sept. 1976.